

# FARECO

## LE GUIDE POLYNÉSISIEN de l'éco-construction



Secteur des bureaux





<b>AVANT-PROPOS .....</b>	<b>5</b>
<b>OUTILS MÉTHODOLOGIQUES.....</b>	<b>6</b>
<b>GESTION DE L'ÉNERGIE .....</b>	<b>9</b>
1 - Sobriété énergétique .....	10
2 - Efficacité énergétique par la conception du bâti.....	11
3 - Efficacité énergétique des systèmes.....	14
4 - Énergies renouvelables.....	20
5 - Comptage et coûts énergétiques.....	30
<b>MAÎTRISE DES APPORTS SOLAIRES .....</b>	<b>35</b>
1 - Facteur solaire .....	37
2 - Isolants.....	39
3 - Protection solaire de la toiture.....	40
4 - Protection solaire des baies.....	44
5 - Protection solaire des murs.....	50
6 - Protection solaire par le végétal.....	54
<b>RAFRAÎCHISSEMENT DES LOCAUX .....</b>	<b>59</b>
1 - Stratégie de confort.....	60
2 - Ventilation naturelle traversante .....	62
3 - Brasseur d'air .....	69
4 - Climatisation performante.....	71
5 - Ventilation hygiénique.....	74
<b>CONFORT ACOUSTIQUE ET VISUEL .....</b>	<b>77</b>
1 - Confort acoustique.....	78
2 - Éclairage naturel.....	82
3 - Éclairage artificiel.....	86
<b>ENTRETIEN ET MAINTENANCE.....</b>	<b>97</b>
1 - Conception du bâti pour un entretien et une maintenance simplifiés.....	98
2 - Entretien et maintenance du bâtiment en exploitation.....	104
3 - Maintenance des performances des systèmes.....	106
<b>MATÉRIAUX.....</b>	<b>113</b>
1 - Qualités hygrothermiques.....	114
2 - Entretien et durabilité .....	115
3 - Entretien et maintenance .....	117
4 - Impact environnemental.....	117
5 - Impact sanitaire.....	120
<b>GESTION DES DÉCHETS D'ACTIVITÉS.....</b>	<b>125</b>
1 - Déchets de chantier.....	126
2 - Stratégie de recyclage .....	130
3 - Stockage des déchets.....	131
4 - Optimisation des conditions d'hygiène.....	132
<b>ANNEXES.....</b>	<b>135</b>
<b>PRÉSENTATION DES AUTEURS.....</b>	<b>168</b>



La démarche FAREco, portée par le Service des Énergies et l'ADEME, consiste en une démarche pédagogique et incitative visant à accompagner les porteurs de projet, qu'ils soient Maîtres d'Ouvrage ou Maîtres d'Œuvre, vers le passage à l'acte d'éco-construire.

Le guide FAREco TOME 4 vise à orienter les maîtres d'ouvrage et concepteurs vers la réalisation de **bâtiments de bureaux** d'architecture néopolynésienne, adaptés aux enjeux énergétiques, économiques et environnementaux de la Polynésie française, basés sur les démarches existantes type Haute Qualité Environnementale ou Ecodom, tout en puisant dans l'expérience des pratiques locales et dans les racines de la culture polynésienne.

Pour une bonne appropriation du guide par les concepteurs, trois axes sont abordés dans chaque thématique :

- La base à visée informative
- Les principes constructifs à suivre
- Les outils opérationnels permettant l'évaluation des projets

Il s'agit à la fois d'un guide pédagogique visant à transmettre les concepts de base, d'une boîte à outils dans laquelle l'utilisateur pioche et d'un support fonctionnel permettant d'aborder et de caractériser les seuils quantitatifs aboutissant à une démarche d'écoconstruction maîtrisée. Pour orienter le lecteur, des exemples non exhaustifs de solutions types sont indiqués à chaque chapitre.

La hiérarchisation au sein des thématiques s'effectue dans le sens de la lecture, présentant au lecteur les aspects essentiels en premier, ce afin de visualiser les axes prioritaires d'approche pour le secteur des bureaux. Une grille d'analyse est reportée en annexe pour assister le lecteur dans la synthèse de l'ensemble des thématiques évoquées tout au long du guide. Elle pourra également servir de tableau de bord récapitulatif des différents niveaux

de performance attendus par thématique ou d'outil de suivi de projet en conception.

Toutefois ces indications ne visent pas à concevoir un projet fait de copier collé de solutions. La démarche de conception doit s'intégrer dans une réflexion globale qui, en fonction des besoins et contraintes, du parti architectural imaginé, des critères techniques et financiers, trouve son essence dans une synergie de ces solutions. Elles deviennent ainsi non pas des obstacles à franchir mais des sources de richesse architecturale.

En effet toute solution a ses répercussions : une bonne exposition au vent dominant rend en général plus prégnante la protection solaire sur les façades du levant et du couchant, la climatisation limite le renouvellement d'air, etc. Et cependant a contrario la protection peut non seulement contribuer au confort thermique, protéger le bâtiment des intempéries mais aussi créer une animation de façade qui renforce le parti architectural.

Bonne lecture et fructueuse quête de sens pour l'épanouissement et la sauvegarde des générations futures de Polynésie française.

Le système de management environnemental de l'opération (SMO) est un **outil de définition et d'évaluation de la Qualité Environnementale des Bâtiments (QEB)**.

Ce système doit être élaboré dès le démarrage du projet, car c'est l'**axe transversal** permettant d'**envisager**, de **suivre** puis de **capitaliser** sur la démarche environnementale menée par le maître d'ouvrage.

Il s'agit dans un premier temps de définir les **enjeux du maître d'ouvrage** et de les traduire en **mesures simples et concrètes**; puis de mettre en place le **pilotage de l'opération**, favorisant son organisation pour atteindre les niveaux de performances précédemment fixés.

L'évaluation de la qualité environnementale du bâtiment prend place aux quatre étapes clés du processus de projet et est organisée de la façon suivante :

## PROGRAMMATION

- Recueil des besoins et attentes des parties intéressées
- **Analyse du site**
- Identification des exigences légales et réglementaires
- **Hiérarchisation** des cibles
- Engagement de l'opération
- **Programme environnemental**

## CONCEPTION

- Choix des intervenants pour la conception
- **Suivi de la conception** de l'ouvrage

## RÉALISATION

- Choix des intervenants pour la réalisation
- **Suivi de la réalisation**
- Livraison

## EXPLOITATION

- Satisfaction du client et des usagers
- Bilan de l'opération
- **Analyse et capitalisation**

La réussite de la mise en place d'un système de management de l'opération nécessite :

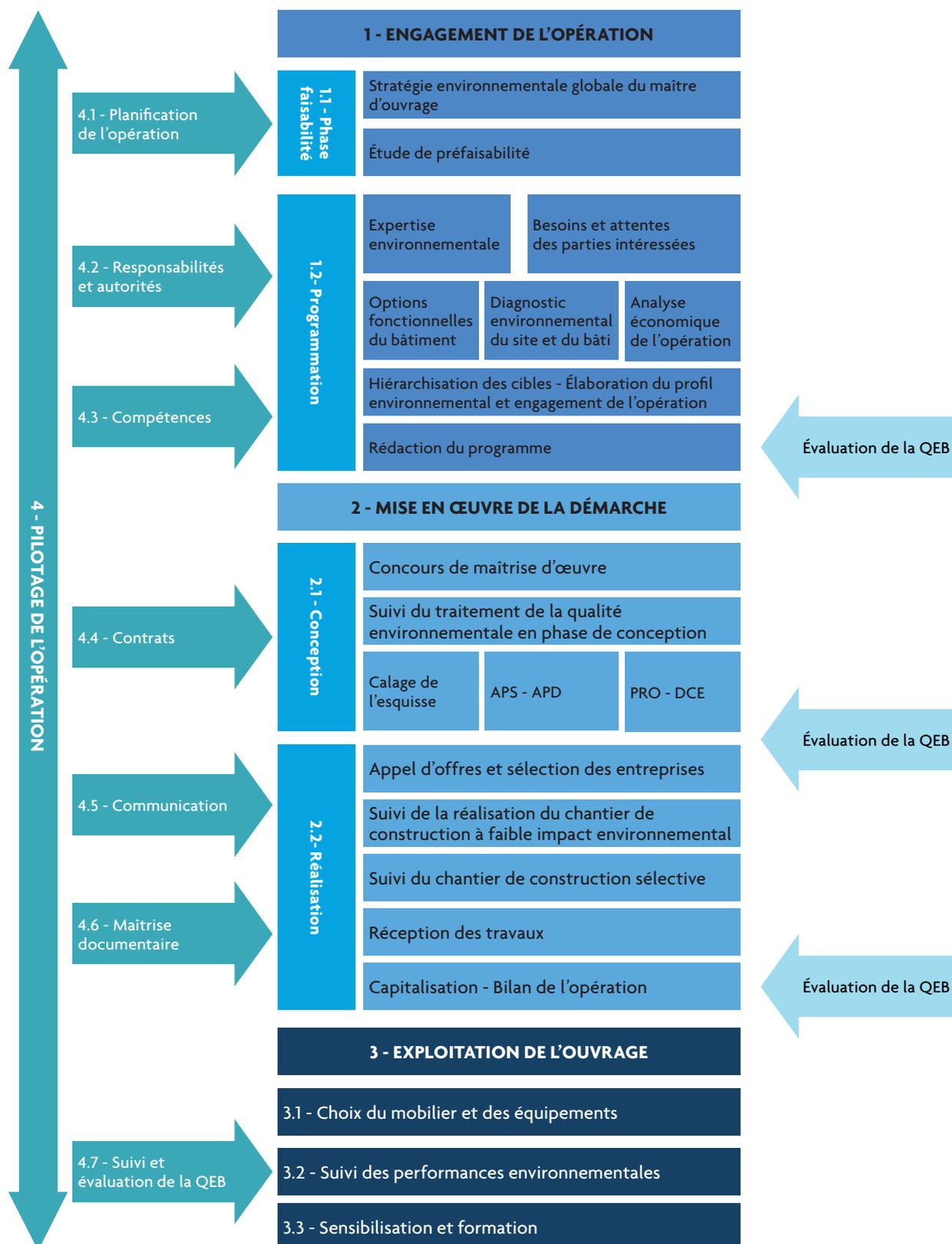
- L'engagement **du maître d'ouvrage** via la mise à disposition des moyens humains, techniques et financiers en adéquation avec les objectifs initiaux
- Un **dialogue très étroit entre le maître d'ouvrage et ses partenaires** (assistant en maîtrise d'ouvrage qualité environnementale des bâtiments, maîtrise d'œuvre, entreprises...) afin de répondre au plus près à l'attente exprimée en phase programmation
- Une **récurrence des actions d'évaluation** de la QEB et **le suivi** de l'orientation prise par le projet à chacune de ses étapes
- La **capitalisation des données** qualitatives et quantitatives permettant d'évaluer l'atteinte des cibles fixées au programme ou revues au cours du projet et de dresser un **bilan de l'opération**

### POUR ALLER PLUS LOIN

*Pour aller plus loin, on pourra se référer aux documents mis au point par l'association HQE ou au référentiel Certivea noté « Référentiel du système de management de l'opération - Bâtiments tertiaires et équipements sportifs - Version Millésime 2015 ».*



**PROCESSUS DE MANAGEMENT D'OPÉRATION HQE® TERTIAIRE**  
**sur la base du référentiel du Système de Management d'Opération (SMO)**  
**élaboré par CERTIVEA - août 2008**



Logigramme illustrant la démarche du SMO



# GESTION DE L'ÉNERGIE

# 1

<b>1 - Sobriété énergétique</b> .....	<b>10</b>
1.1 - Environnement immédiat.....	10
1.2 - Usages et activités.....	10
1.3 - Niveau de confort.....	11
<b>2 - Efficacité énergétique par la conception du bâti</b> .....	<b>11</b>
2.1 - Implantation et volumétrie.....	11
2.2 - Enveloppe.....	12
2.3 - Aménagement intérieur.....	12
<b>3 - Efficacité énergétique des systèmes</b> .....	<b>14</b>
3.1 - Les outils de régulation et de pilotage.....	14
3.2 - Rafraîchissement: climatisation et ventilation.....	15
3.3 - Eau chaude sanitaire.....	16
3.4 - Éclairage.....	17
<b>4 - Énergies renouvelables</b> .....	<b>20</b>
4.1 - Eau Chaude Sanitaire.....	20
4.2 - Solaire photovoltaïque.....	23
4.3 - Éolien.....	28
<b>5 - Comptage et coûts énergétiques</b> .....	<b>30</b>
5.1 - Comptabilité énergétique.....	30
5.2 - Approche en coût global.....	31
5.3 - Optimisation tarifaire de l'énergie.....	32

L'économie d'énergie et le recours aux énergies renouvelables visent à renforcer l'indépendance énergétique et à réduire les frais d'exploitation des bâtiments, elle s'inscrit dans une dimension environnementale globale: ne plus gaspiller les ressources énergétiques qui ne sont pas inépuisables et réduire les émissions de gaz à effet de serre.

L'amélioration de la thermique du bâtiment se décline classiquement entre optimisation de **l'enveloppe** et optimisation des **systèmes**, auxquelles s'ajoute une réflexion sur le type de source d'énergie en considérant ses répercussions sur l'environnement.

Pour les systèmes, il s'agit d'optimiser les performances de la production et de la distribution de froid, de la production d'ECS et des usages électriques spécifiques.

La gestion de l'énergie nécessite de considérer, par ordre de priorité:

- La **sobriété énergétique**, qui pousse à s'interroger sur les justes besoins à satisfaire, ni plus, ni moins. Il s'agit donc d'éviter les usages inutiles et d'ajuster les dispositions architecturales et techniques aux besoins en confort, en utilisation, etc.
- L'efficacité énergétique par la **conception du bâti**: le plan de masse (orientation des surfaces vitrées, végétation) et l'enveloppe (composition des parois, protections solaires) doivent être soigneusement étudiés
- L'efficacité énergétique par le **choix des systèmes**: optimisation de la ventilation, optimisation de la distribution et de la production d'ECS, réduction des besoins en éclairage artificiel et installation d'équipements basse consommation
- Les **énergies renouvelables**: il s'agit de proposer une offre de production alternative d'énergie en ayant pris en compte, au préalable, une véritable maîtrise de l'énergie

## 1 - SOBRIÉTÉ ÉNERGÉTIQUE

Le principe est simple: « l'énergie moins chère est celle qu'on ne consomme pas ».

Il s'agit donc d'évaluer de manière précise les besoins énergétiques du bâtiment.

Ces besoins se déclinent selon trois axes de réflexion:

- Environnement immédiat
- Usages / activités
- Niveau de confort

Une analyse globale permet de faire converger ces thèmes vers une caractérisation précise des besoins. Il est alors possible de définir les réponses architecturales (orientation, composition de l'enveloppe...) et techniques (systèmes...) qu'il conviendra d'apporter au projet pour permettre une réduction efficace des consommations énergétiques.

### 1.1 - ENVIRONNEMENT IMMÉDIAT

Il s'agit de réaliser une analyse précise du site sur lequel il est prévu d'implanter le projet. Cette étude synthétisera toutes les données et études techniques qui peuvent avoir une influence sur les besoins en énergie de l'opération:

- Milieu physique (topographie, réglementation applicable, etc.)

- Le climat (soleil, vent, températures, etc.)
- Les écosystèmes (paysage, végétation, zones humides, etc.)
- L'environnement bâti et humain (sites industriels, activités humaines, etc.)
- Les infrastructures
- Les réseaux
- Les ressources naturelles (énergie, eau, matériaux, etc.)

Toutes ces données ont un impact plus ou moins direct sur la stratégie de gestion énergétique du projet. Elles vont permettre d'orienter le concepteur sur des choix de volumétrie, d'implantation, de ventilation, de source d'approvisionnement énergétique, de choix d'équipements, etc.

### 1.2 - USAGES ET ACTIVITÉS

Il s'agit de caractériser le type d'usages et d'activités attendus et de prévoir leur évolution future.

Ainsi pour chaque type d'usage ou d'activité identifié, il convient de caractériser les aspects suivants:

- Type d'occupant (catégorie d'âge, sociale, fonction, etc.)
- Scénario d'occupation (intermittence, occupation prolongée, répétitivité de l'occupation, etc.)

- Activité physique (activité assise, debout, en mouvement, sportive, etc.)
- Type de d'usages (travail de bureau, accueil, détente, etc.)
- Etc.

Les usages et activités seront associés à des espaces, des zones ou des locaux qui seront traités différemment.

Dans le secteur des bureaux, on trouve plusieurs usages et activités :

- Espaces de travail
- Salles de réunion
- Espaces communs: circulations, accueil, espaces détente, etc.
- Technique
- Autres selon la spécificité du projet

### 1.3 - NIVEAU DE CONFORT

Il s'agit de fixer les seuils de confort attendus sur différents thèmes, comme par exemple :

- Eau chaude sanitaire
- Température ambiante
- Hygrométrie

- Éclairage
- Accès à la lumière naturelle
- Accès à des vues sur l'extérieur
- Acoustique
- Etc.

Certains paramètres de confort peuvent être définis directement par les contraintes réglementaires, la destination du projet ou l'usage qui est attendu. Néanmoins, pour chacun de ces thèmes, les questions suivantes doivent être posées :

- Est-ce qu'un niveau de confort a besoin d'être fixé ?
- Si oui, quel niveau est attendu ?
- Quels indicateurs chiffrés peuvent être définis ?
- Est-ce que des écarts peuvent être tolérés ?
- Si oui, lesquels et sur quelle durée ?

Par exemple, pour l'eau chaude sanitaire :

Dans le cas d'une installation solaire, il peut se poser la question de savoir si une baisse de température, voir une indisponibilité temporaire d'eau chaude générera une réelle contrainte. Dans le cas contraire, il est alors possible de dimensionner la production au plus juste en admettant une indisponibilité d'eau pendant une courte période qu'il est possible de définir.

## 2 - EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE PAR LA CONCEPTION DU BÂTI

Il s'agit d'améliorer l'aptitude de l'enveloppe pour limiter les besoins en rafraîchissement.

Pour cela, les solutions passives telles que l'orientation du bâtiment, la disposition des locaux, la mise en place de protections solaires ou encore la ventilation naturelle traversante assistée de brasseurs d'airs sont à privilégier.

Si la situation du bâtiment requiert le recours de la climatisation artificielle, celle-ci se devra d'être la plus économe en énergie possible.

La **conception bioclimatique** consiste donc à dérouler les étapes de réflexion architecturale en traitant les problématiques d'implantation et de volumétrie, d'enveloppe et, enfin, d'aménagements intérieurs.

### 2.1 - IMPLANTATION ET VOLUMÉTRIE

Pour atteindre des objectifs de confort élevés à un coût maîtrisé, **la connaissance, le choix et l'exploitation des atouts et contraintes d'un site sont essentiels** : exposition aux vents dominants, exposition au soleil, topographie, etc.

Dans une approche bioclimatique, le concepteur doit réfléchir à **deux principaux choix d'orientation** des bâtiments :

- Dans un objectif principal de **confort en ventilation naturelle** : orienter face aux vents dominants (Alizés à l'est) la façade la plus favorable à une ventilation traversante
- Dans un objectif principal de **climatisation performante** : privilégier une moindre surface de façade aux expositions est et ouest, les plus difficiles à protéger du soleil

La volumétrie du bâtiment prendra en compte à la fois toutes ces problématiques et celle de l'accès à **l'éclairage naturel**.

En milieu urbain, il y a une plus forte probabilité que la direction des vents soit parallèle aux façades. Cette contrainte devra être compensée par d'autres dispositions architecturales (augmentation de la porosité par exemple) ou techniques (brasseurs d'air, climatisation, etc.).

Les préconisations concernant cette thématique sont détaillées dans les chapitres « *Rafrâichissement des locaux* » et « *Maîtrise des apports solaires* ».

### 2.2 - ENVELOPPE

**Les problèmes d'inconfort thermique ou de surconsommation de climatisation sont principalement liés à l'absorption par les parois extérieures du rayonnement solaire.**

Par ordre de priorité, il faut protéger le bâtiment du rayonnement direct très énergétique: la **toiture** d'abord puis les **parois opaques** et les **baies** qui doivent disposer de protections solaires limitant le besoin en rafraîchissement. Cette disposition est vérifiée par le calcul du **facteur solaire**.

L'inertie thermique de l'enveloppe doit également être étudiée, les **2 principales stratégies** d'inertie sont:

- Une **forte inertie** dans les bâtiments ou locaux occupés principalement en journée
- Une **faible inertie** pour les bâtiments occupés le soir ou la nuit

**Les bâtiments de bureaux répondent à la première catégorie. On privilégiera donc une forte inertie pour les espaces de travail, qu'ils soient rafraîchis naturellement ou par climatisation.**

Pour des bâtiments climatisés, il conviendra de renforcer les dispositions de protection solaire et d'isolation de l'enveloppe, notamment des baies. La forte inertie thermique, conservée côté intérieur des locaux, permet également un effet de « parois froide » des murs qui améliore la sensation de confort.

À l'échelle du local climatisé, les portes et fenêtres doivent être peu perméables à l'air afin de limiter les déperditions thermiques.

**L'accès à la lumière naturelle dans les espaces de travail est un enjeu majeur sur ce type de projet.**

Le compromis entre confort hygrothermique, réduction des consommations de climatisation et confort visuel devra être traité avec une attention particulière, à tous les niveaux de conception.

Ces préconisations sont détaillées dans les chapitres « *Maîtrise des apports solaires* », « *Rafrâichissement des locaux* » et « *Matériaux* ».

### 2.3 - AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR

L'aménagement intérieur des bâtiments parachève le processus de conception bioclimatique passive par une **organisation** raisonnée des espaces en fonction des usages et des exigences en termes de confort.

L'enjeu consiste à **limiter les déperditions thermiques** depuis les espaces climatisés vers les espaces non climatisés. De manière générale, les espaces bénéficiant d'une stratégie de rafraîchissement identique doivent être regroupés pour assurer une **cohérence climatique** au bâtiment.

Il est donc pertinent de regrouper les espaces de travail, dans la mesure du possible, de manière compacte.

Une typologie courante de l'étage de bureaux est composée d'un couloir central desservant des bureaux individuels climatisés. Cette configuration pose différents problèmes:

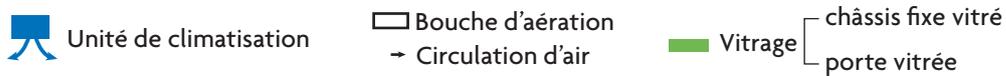
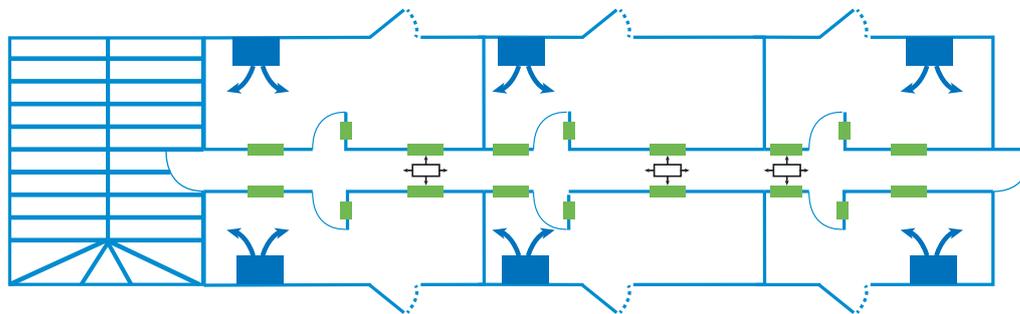
- Les portes des bureaux sont souvent ouvertes pour l'accessibilité occasionnant des transferts de froid vers le couloir.
- Le couloir est parfois ouvert sur des espaces fortement déperditifs: escaliers, circulation extérieure, etc.

Conséquence: les apports solaires des fenêtres poussent l'air frais vers le couloir qui l'évacue vers des espaces ouverts.

Il est alors recommandé:

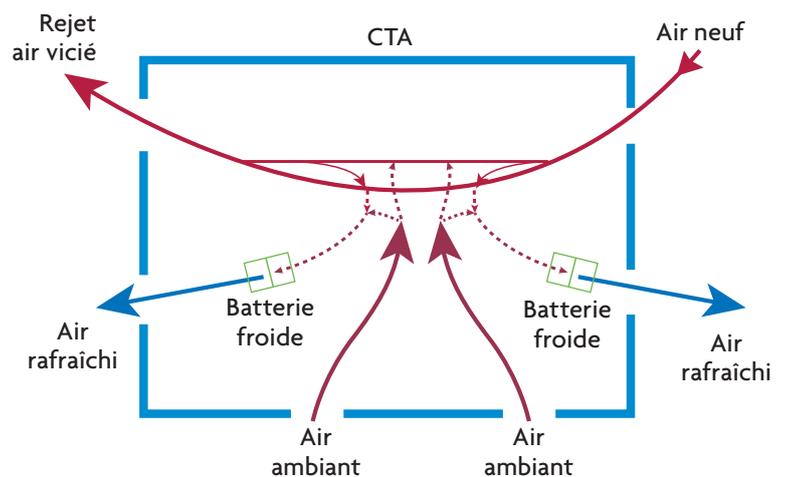
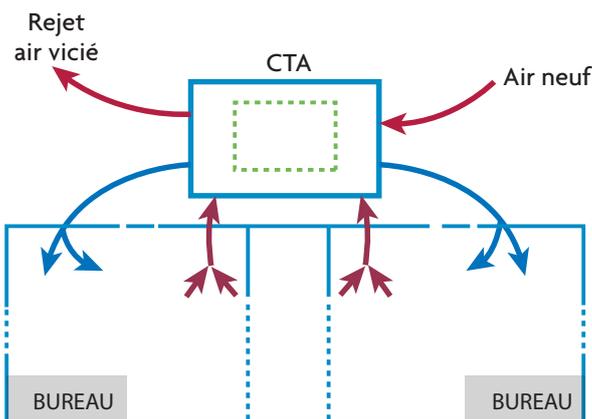
- De fermer le couloir par des portes étanches à l'air
- De maîtriser la circulation d'air

- Soit en mettant le couloir en légère « surpression », dans le cas classique d'une installation de climatisation de type système split ou multi-split.

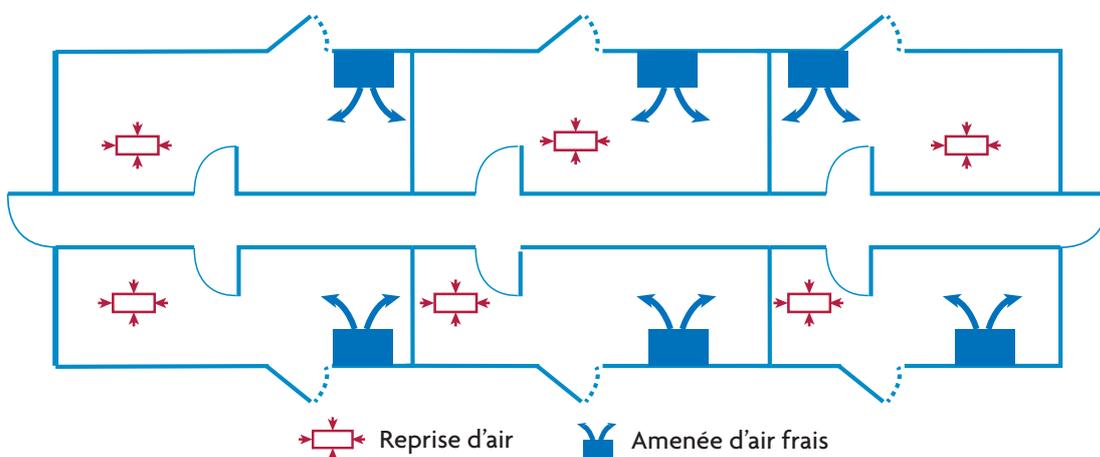


Exemple d'un cas de climatisation type split-system avec couloir en pression

- Soit en créant une circulation d'air par la mise en place d'une bouche d'amenée d'air frais et une bouche d'évacuation de l'air vicié dans chaque bureau. Ceci est possible avec la mise en place d'une centrale de traitement d'air avec récupération de chaleur.



- Soit:
- Mélange d'air neuf et d'air repris (% à définir)
  - Échangeur thermique air neuf / air repris



Exemple d'une configuration de ventilation double-flux avec centrale de traitement d'air

- De vitrer les cloisons (et/ou les portes) des bureaux vers le couloir pour rendre accessibles visuellement les bureaux sans avoir à ouvrir les portes. Cette solution permet également d'apporter de la lumière naturelle dans le couloir.

Voici encore quelques exemples généraux d'aménagements :

- Création d'espaces tampon (« SAS thermiques ») entre les zones climatisées et l'extérieur :
  - Au niveau des entrées, mise en œuvre d'un SAS avec deux portes qui limite les échanges thermiques avec l'extérieur
  - Contre les façades ou toitures exposées d'un bâtiment, implantation de locaux dans lesquels

les exigences de température ambiante sont faibles (sanitaires, salles de stockage, circulations non climatisées, etc.) et qu'il conviendra de ventiler correctement.

- Augmentation de la porosité intérieure dans les bâtiments naturellement ventilés :
  - Limiter les cloisons pour assurer une ventilation naturelle efficace
  - Créer des ouvertures dans les cloisons, vitrées ou poreuses pour laisser passer air et lumière
  - Éviter d'implanter les locaux fermés au milieu des « couloirs aérauliques » du bâtiment, formés entre deux façades équipées d'ouvertures car ils peuvent créer un obstacle à la ventilation naturelle.

### 3 - EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DES SYSTÈMES

L'objectif est de **limiter au maximum et maîtriser les consommations** d'énergie pour les systèmes, le rafraîchissement, l'eau chaude sanitaire et l'éclairage artificiel en utilisant des équipements performants et certifiés économes en électricité.

#### 3.1 - LES OUTILS DE RÉGULATION ET DE PILOTAGE

Un axe de réflexion majeur pour réaliser des économies d'énergie concerne les bonnes pratiques et la juste utilisation des équipements techniques par rapport aux besoins.

Il est indispensable d'accompagner l'utilisateur dans une démarche d'économie d'énergie par l'installation d'outils de pilotage et de régulation adaptés au profil d'utilisation.

Voici une présentation des outils de régulation les plus courants :

- Asservissement par **sonde de détection** :
  - Le détecteur de présence détecte le mouvement d'une personne dans une pièce et déclenche l'allumage de l'équipement asservi. Une temporisation paramétrable est appliquée et le système s'arrête lorsqu'il n'y a plus de mouvements et que la temporisation est épuisée. Il fonctionne en général à infrarouge ou ultrason.
  - Le détecteur d'absence fonctionne à l'inverse du détecteur de présence. Il doit être combiné avec un système de commande volontaire. Lorsqu'une personne entre dans le local,

elle doit activer manuellement l'équipement. Le détecteur ne coupera le système qu'après un délai réglable d'absence de la personne.

- Le détecteur par sonde de CO<sub>2</sub> détecte la quantité de dioxyde de carbone dans l'air extrait et adapte la puissance frigorifique et/ou le taux de renouvellement d'air en fonction du nombre de personnes présentes dans le local. À la différence des autres types de détection, celui-ci permet une régulation variable des équipements de climatisation et de ventilation mais nécessite un système d'extraction d'air propre au local.
- Asservissement à une **minuterie** : l'équipement est allumé manuellement et s'éteint après une temporisation préalablement définie.
- Pilotage par **horloge** : les équipements techniques sont allumés ou éteints selon une plage horaire paramétrable. Les outils les plus performants permettent même de faire varier, au cours du temps, les puissances de climatisation ou de vitesse de ventilation en fonction des besoins (nombre d'occupants, température extérieure théorique, etc.)
- Pilotage par un outil de **Gestion Technique du Bâtiment (GTB)** : cet outil permet de réguler à distance et de manière centralisée, par l'intermédiaire d'un poste informatique, les différents équipements installés. Il permet notamment de :
  - Superviser, paramétrer et piloter en temps réel les équipements selon qu'ils soient asservis ou non à une sonde de détection ou à une horloge
  - Suivre les consommations énergétiques et repérer les anomalies
  - Détecter les défauts de fonctionnement

Attention, cet outil nécessite une installation et un suivi spécialisé. Son utilité se révèle intéressante sur des bâtiments présentant à la fois une surface d'activité suffisante et une conception techniques

élaborée des systèmes de climatisation et ventilation. L'exploitation d'un tel outil doit être réalisée par des personnes ayant une formation spécifique et nécessite un suivi régulier.

### POUR ALLER PLUS LOIN

#### Dans quels cas mettre en place une sonde de CO<sub>2</sub> ?

La détection par sonde de CO<sub>2</sub> est particulièrement intéressante dans les espaces prévus pour être occupés par un nombre de personnes variable au cours du temps, que ce soit au cours de la journée, de la semaine, du mois ou même de l'année. En effet, le taux de dioxyde de carbone mesuré dans la pièce est proportionnel au nombre de personnes présentes.

Cette sonde peut également être installée sur des équipements à commande manuelle ou à horloge afin de gérer uniquement la variation de puissance.

Voici quelques types d'espace où l'installation d'une sonde de CO<sub>2</sub> est pertinente :

- Salle de réunion (commande et variation)
- Salle de conférences (variation)
- Espace d'accueil (commande et variation)

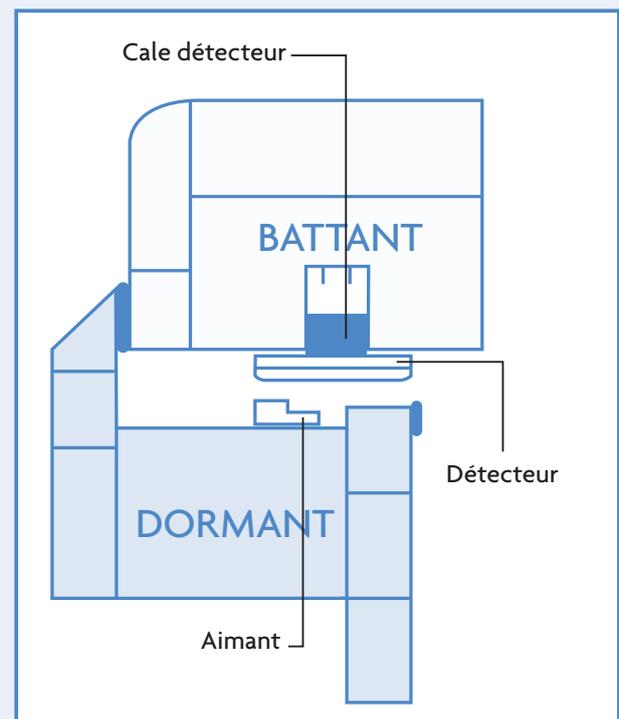
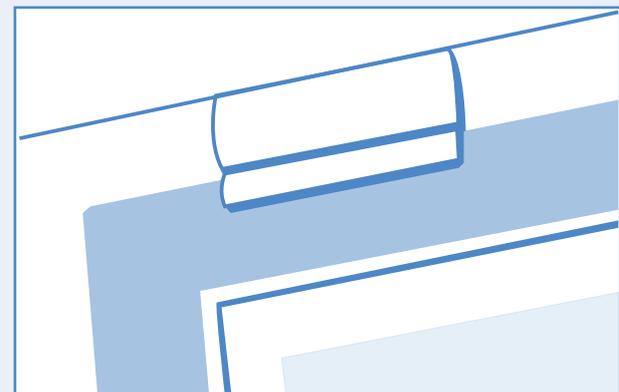
#### Asservissement de la climatisation à l'ouverture des fenêtres

Dans les espaces climatisés, on constate que les fenêtres sont souvent ouvertes durant la période d'occupation, que ce soit pour des besoins hygiéniques (renouvellement d'air mécanique non prévu) ou du confort (renouvellement d'air mécanique prévu).

C'est pourquoi il est intéressant de prévoir un asservissement des appareils de climatisation afin d'arrêter le traitement des espaces dès lors que les fenêtres sont ouvertes.

La plupart des équipements de climatisation ont cette possibilité. Il s'agit simplement d'installer des détecteurs d'ouverture sur les fenêtres qui seront reliés directement (ou par l'intermédiaire d'une GTB) aux terminaux.

Il existe des appareils de détection simples, fiables et peu onéreux ; en apparent ou invisible.



Détecteur d'ouverture (sources : capteur d'ouverture « OPTI-VEILLE » & [www.france-quincaillerie.fr](http://www.france-quincaillerie.fr))

## 3.2 - RAFRAÎCHISSEMENT : CLIMATISATION ET VENTILATION

### 3.2.1 - PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Les appareils de climatisation devront avoir, au minimum, une efficacité énergétique de **classe A certifiée EUROVENT** ou équivalent, c'est-à-dire présentant un :

- **ESEER ≥ 5,1** (individuel) / **ESEER ≥ 5,6** (centralisé)
- Ou
- **EER ≥ 3,2** (individuel) / **EER ≥ 3,7** (centralisé)

Par exemple, le remplacement d'un climatiseur avec EER = 2 par un autre avec EER = 3,2 permet, à service égal, d'économiser 37 % d'électricité !

Cependant la durabilité de ces performances, nécessite de s'assurer de la qualité des échangeurs du climatiseur (par une certification EUROVENT ou équivalent) mais aussi de réaliser un entretien régulier.

Les préconisations concernant la climatisation performante sont détaillées dans le chapitre « *Rafraîchissement des locaux* ».

### 3.2.2 - RÉGULATION

Le rafraîchissement et la ventilation des espaces de travail devront être pilotés par une **horloge**.

Les possibilités de **commande manuelle** seront limitées au choix de la température ( $\pm 1,5^\circ\text{C}$ ) et de la vitesse de ventilation. La température de consigne recommandée est de  $26^\circ\text{C}$ .

Si la surface de bâtiment à climatiser est suffisamment importante, une **Gestion Technique du Bâtiment (GTB)** pourra être mise en place, ce qui permettra une régulation plus fine que la simple horloge.

**Le rafraîchissement des espaces occupés de façon intermittente**, telles que les salles de réunion, **sera piloté par une sonde de détection** afin d'éteindre ou de réduire au minimum la consommation d'énergie des équipements de ces espaces lorsqu'ils sont inoccupés.

## 3.3 - EAU CHAUDE SANITAIRE

### 3.3.1 - COUVERTURE DES BESOINS

L'objectif principal est de favoriser l'utilisation des systèmes de production d'Eau Chaude Sanitaire à énergie renouvelable. Ces systèmes seront donc priorités avec un objectif de couverture maximale des besoins.

Parmi les systèmes à énergie fossile, les équipements les plus courants en Polynésie Française sont le chauffe-eau électrique et le chauffe-eau à gaz.

**L'installation de tels systèmes est proscrite** au profit d'une production issue d'une source d'énergie renouvelable.

En effet, les besoins en ECS et les exigences de confort (température) sont limités dans les bâtiments de bureaux car ils consistent essentiellement au lavage des mains et à l'utilisation de douches, installées en faible nombre.

Une dérogation est possible :

- S'il est démontré l'impossibilité d'installer une production d'ECS issue d'une source d'énergie renouvelable (solaire, thermodynamique...).

ET

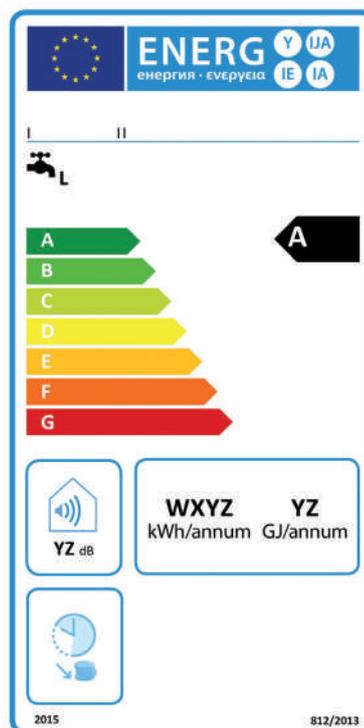
- Si des besoins en eau chaude sanitaire, autre que le lavage des mains, sont justifiés.

### 3.3.2 - PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

#### 3.3.2.1 - CHAUFFE-EAU ÉLECTRIQUE

Depuis le 26 septembre 2015, les chauffe-eau électriques bénéficient d'une étiquette énergie.

Il est demandé l'installation d'équipements de **classe A**.



#### 3.3.2.2 - CHAUFFE-EAU GAZ

L'équipement de production d'ECS devra démontrer un rendement gaz **supérieur à 93 %**.

### 3.3.3 - GESTION

Selon sa dimension et sa configuration (individuelle ou collective), l'installation d'eau chaude sanitaire pourra être équipée :

- D'un report lumineux en façade indiquant l'état de marche/arrêt
- D'un module complémentaire simple de temporisation pour mise en marche et arrêt automatique
- D'un module complémentaire multifonction : temporisation, mise en veille (en cas d'absence), programmation horaire, réglage de température, etc.

## 3.4 - ÉCLAIRAGE

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.

### 3.4.1 - PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Ici, l'exigence propre à l'éclairage s'exprime en puissance électrique (en Watt) d'éclairage rapportée au m<sup>2</sup>.

Il est demandé que la puissance de l'éclairage intérieur soit **inférieure à 4 W/m<sup>2</sup>**.

L'éclairage moyen des espaces extérieurs sera **limité à 20 lux** au niveau des circulations.

La puissance d'éclairage varie selon le type de luminaire utilisé. Pour un même degré d'éclairage (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 éclairage :

- Néon : **80 à 90 lumen/Watt**
- LED :
  - Spots : **70 lumen/Watt**
  - Panneaux : **90 lumen/Watt**
  - Tubes : **105 lumen/Watt**
- Lampe Basse Consommation : **50 à 60 lumen/Watt**
- Halogène : **20 lumen/Watt**
- Incandescent : **10 lumen/Watt**

### 3.4.2 - GESTION

L'objectif est l'installation d'un système d'asservissement adapté au type de locaux et au type d'occupation :

Type de locaux	Asservissement
Espaces de travail	Horloge et interrupteur manuel
Circulations	Détection de présence <b>OU</b> Interrupteur équipé d'une minuterie <i>Si les circulations sont autonomes en lumière du jour, ces systèmes seront associés à une horloge crépusculaire</i>
Sanitaires	Détection de présence associée à une horloge crépusculaire, <i>si les sanitaires sont autonomes en lumière du jour</i>
Extérieurs (ambiance)	Horloge crépusculaire
Extérieurs (circulations)	Détection de mouvement et horloge crépusculaire

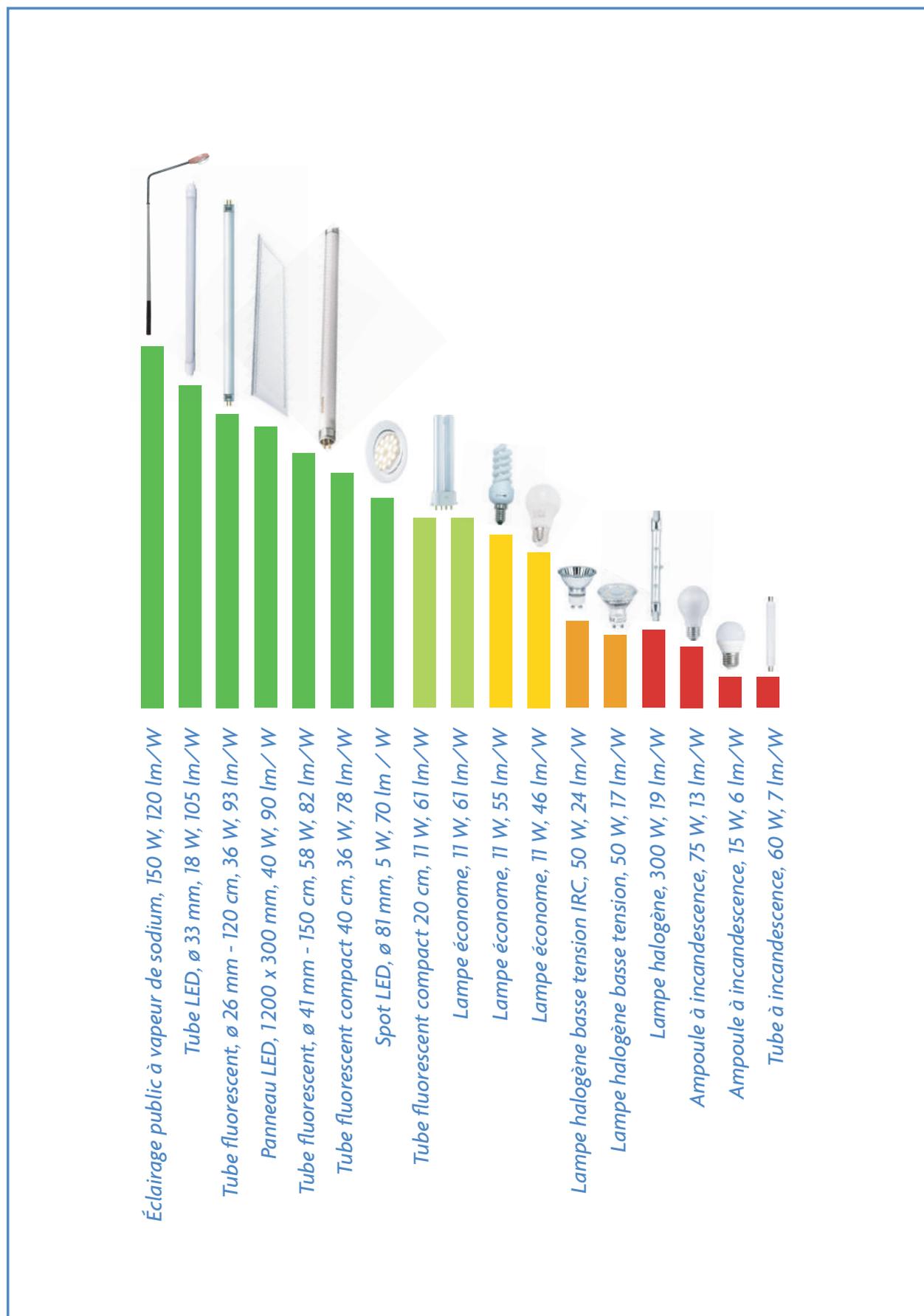
### 3.4.3 - IMPLANTATION ET SECTORISATION DE L'ÉCLAIRAGE

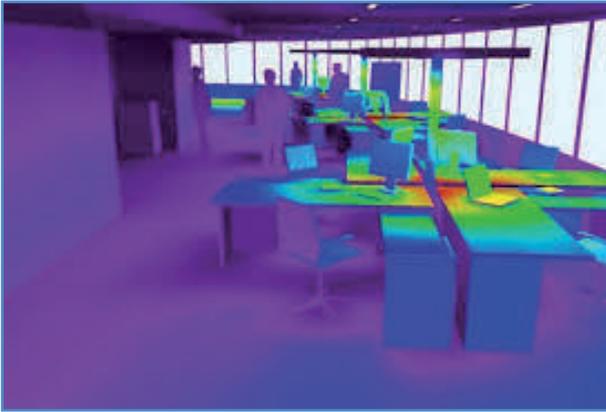
Avant d'implanter les luminaires, il est recommandé de réaliser une **étude d'éclairage artificiel** pour s'assurer à la fois :

- Du **confort d'éclairage** : uniformité et valeurs d'éclairage minimales

- De **l'optimisation énergétique** : limitation des valeurs d'éclairage au minimum requis, éviter la superposition des flux lumineux.

Le positionnement des sources lumineuses doit prendre en compte la **localisation** des espaces de travail. À ce titre, la mise en œuvre d'un faux-plafond modulaire (cf. chapitre « Matériaux »), permettant de déplacer facilement les sources lumineuses, est très utile lors de réaménagements ou changement d'occupant.





Exemple de calcul d'éclairage artificiel

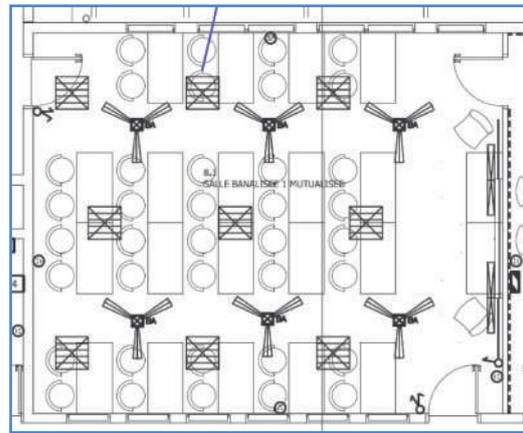
Il est également recommandé de multiplier les **circuits d'éclairage** afin d'offrir une modularité la plus large possible. Celle-ci apporte un confort supplémentaire aux occupants ainsi que des économies d'énergie.

Au minimum, il est demandé la **sectorisation de l'éclairage** suivant :

- Circulations

- Dans les espaces de travail :
  - Zone de premier rang : jusqu'à 5 m des façades
  - Zone de second rang : entre 5 et 10 m des façades
  - Zone de troisième rang : au-delà de 10 m des façades

Selon le cas, une attention particulière doit être apportée sur le calepinage de l'éclairage vis-à-vis des brasseurs d'air :



### POUR ALLER PLUS LOIN

La temporisation des luminaires asservis sur détecteur doit être adaptée au type d'équipement et au type d'espace (d'activité). En effet, une temporisation mal réglée peut soit rendre l'outil inutile (pas de coupure entre deux sollicitations du détecteur) soit provoquer l'inconfort des occupants voire leur mise en insécurité (par exemple : coupure de l'éclairage dans les escaliers).

Voici donc quelques recommandations :

- Circulation horizontale ou verticale (escalier) : **50 secondes**
- Sanitaire WC individuel : **1,5 minute**
- Sanitaire Commun : **2 minutes**

On constate parfois que l'éclairage artificiel est allumé en pleine journée alors que la luminosité extérieure est suffisante. Le réglage de l'horloge de fonctionnement peut être réalisé de manière astucieuse afin de sensibiliser l'utilisateur sur l'éventuelle inutilité de l'éclairage artificiel en journée.

Voici donc une proposition de réglage pour les espaces à occupation prolongée :

- Possibilité d'allumage au début de la période d'occupation seulement si celle-ci débute avant que la luminosité extérieure soit suffisante, sinon pas d'allumage. Les utilisateurs pourront allumer à leur arrivée si besoin.
- Extinction de l'éclairage en milieu de matinée. Les occupants ont la possibilité de rallumer si besoin.
- Extinction de l'éclairage pendant la période du déjeuner.
- Extinction de l'éclairage en milieu d'après-midi.
- Extinction de l'éclairage à la fin de la période d'occupation.
- Extinction de l'éclairage 2 heures après la période d'occupation puis toutes les 2 heures jusqu'à minuit.

Certains modèles de luminaires sont gradables et peuvent être équipés de détecteurs de luminosité. Ainsi positionnés sur des zones exposées en premier jour, ils adaptent leur puissance en fonction de la luminosité naturelle.

### POUR ALLER PLUS LOIN

Au sein des locaux, il est possible d'optimiser davantage l'éclairage en limitant la valeur d'éclairement plafonnier en dessous du seuil minimum (par exemple,

200 lux au lieu de 300 lux demandés) et de prévoir une source d'appoint au niveau de chaque plan de travail pour atteindre le seuil souhaité.

## 4 - ÉNERGIES RENOUVELABLES

De par son caractère insulaire, la gestion de l'énergie en Polynésie française est un enjeu de taille tant à l'échelle du territoire, qu'à l'échelle de la parcelle.

La réalisation d'une étude de potentiel en énergie renouvelable du projet doit permettre de définir les sources d'approvisionnement énergétique à exploiter en fonction du contexte.

### 4.1 - EAU CHAUDE SANITAIRE

Sous réserve que les besoins en ECS du bâtiment de bureaux soient avérés, l'eau chaude sanitaire (ECS) peut engendrer des dépenses énergétiques élevées. Il est donc important que les bâtiments soient équipés de systèmes de production d'ECS **efficaces, économes et durables**.

Le climat tropical rencontré en Polynésie française permet l'utilisation de chauffe-eau solaire qui présentent de nombreux avantages.

#### 4.1.1 - COUVERTURE DES BESOINS PAR LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Si le besoin est justifié, il est demandé d'installer un **système de production d'eau chaude solaire couvrant 100 %** des besoins (en considérant qu'un appoint n'est pas indispensable car les besoins peuvent être flexibles).

#### 4.1.2 - EAU CHAUDE SOLAIRE

##### 4.1.2.1 - DIMENSIONNEMENT

Le dimensionnement de l'installation doit être réalisé par un Bureau d'Études Technique spécialisé.

À titre indicatif, voici quelques données d'entrée pour dimensionner l'installation :

Besoins en ECS à 60 °C	
Bureaux	Étude spécifique des besoins selon le contexte

*Ratios des besoins en ECS*

<b>Débit</b>	60 l/h/m <sup>2</sup> de capteur
<b>Stockage</b>	50 l/m <sup>2</sup> de capteur
<b>Productivité moyenne</b>	2 kWh/jour/m <sup>2</sup> de capteur

*Ratios de dimensionnement des capteurs en Polynésie Française*

Pour toute installation de production d'eau chaude sanitaire solaire desservant une construction dont les besoins en eau chaude sanitaire peuvent être intermittents (congéés annuels, inoccupation le week-end, etc.), **une étude spécifique des besoins devra être réalisée afin de garantir la gestion des éventuelles surchauffes et de définir le profil des besoins sur l'année** (intermittence).

##### 4.1.2.2 - POSITIONNEMENT DES CAPTEURS

Pour optimiser le rendement énergétique, les panneaux solaires devront être :

- Orientés vers le **Nord** à ± 90°
- Inclinés d'un angle compris entre **10°** et **20°** avec l'horizontale.

En milieu urbain, il conviendra de prendre en compte les effets de masques des bâtiments voisins pouvant influencer sur le rendement des panneaux.

##### 4.1.2.3 - PERFORMANCES

La **productivité solaire utile minimale** de l'installation d'eau chaude sanitaire solaire complète demandée dépend de **l'intermittence** (rapport du nombre de jours de non utilisation de l'eau chaude sur 365) des besoins en ECS de celui-ci et fixée dans le tableau ci-dessous.

Intermittence	Productivité solaire utile minimale
Inférieure à 15 %	450 kWh/m <sup>2</sup> de capteur/an
Comprise entre 15 et 50 %	Selon formule
Supérieure à 50 %	225 kWh/m <sup>2</sup> de capteur/an

Pour une intermittence comprise entre 15 et 50 %, la formule est la suivante :

**Productivité utile =  $450 \times (365 - \text{nombre de jours de non-utilisation de l'ECS}) / 365$**

La productivité solaire utile est définie comme le ratio de la production solaire utile sur la surface utile de capteurs. Elle pourra par exemple être évaluée sur le logiciel gratuit en ligne SOLO ou via d'autres logiciels (SIMSOL, TRANSOL...).

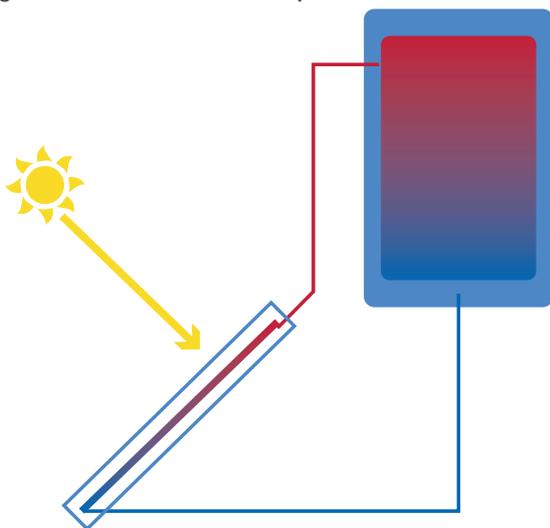
Exemple :

*Un bâtiment de bureaux dont les douches sont utilisées tout au long de l'année aura un certain besoin ECS pendant environ 247 jours.*

*L'intermittence est égale à  $(365 - 247) / 365 \times 100$  soit 32 %. La productivité solaire utile minimale de l'installation d'ECS solaire complète attendue est donc de 304 kWh /m<sup>2</sup> de capteur / an.*

#### 4.1.2.4 - CHOIX DU SYSTÈME

Au regard du contexte, nous recommandons l'installation d'un **chauffe-eau solaire individuel (CESI)**. C'est un système simple et fiable lorsqu'il est installé en configuration dite « thermosiphon », c'est-à-dire qu'il est exempt de pompe car le ballon est plus haut que les capteurs. Le ballon, découplé des capteurs, peut être caché dans les combles. Par contre à partir de deux étages, la longueur de canalisation est pénalisante pour le temps d'arrivée de l'eau chaude et la prévention des légionelles (volume de puisage limité réglementairement à 3 litres).



Équipements à éviter en Polynésie française :

- Les panneaux solaires de type « sous-vide » ou à « tubes » ne sont pas adaptés aux climats tropicaux et aux irradiations solaires intenses. Il y a un risque

avéré de surchauffe qui dégrade rapidement toute l'installation.

- Les installations équipées de panneaux hybrides (produisant à la fois de l'eau chaude et de l'électricité photovoltaïque) sont actuellement coûteuses et peu performantes. Il est plutôt conseillé d'installer deux équipements distincts solaire et photovoltaïque.
- Une installation CESI de type « auto-stockeur » regroupe à la fois un capteur solaire et un bac de stockage dans le même panneau. Ce type d'équipement présente deux inconvénients : un volume de stockage relativement faible et un risque de surchauffe du volume d'eau pouvant provoquer la détérioration des capteurs.

#### 4.1.2.5 - CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE

Les panneaux solaires doivent être équipés de **groupes de sécurité** : vannes de purge automatique asservie à une sonde de pression et de température. Il conviendra de s'assurer que l'eau purgée est évacuée dans un réseau d'évacuation supportant la chaleur (cuivre sur un linéaire suffisant avant rejet dans un réseau d'évacuation PVC)

Les dispositions au regard du risque vis-à-vis de la **légionelle** doivent être prises en compte.

Le matériel et les accessoires employés seront **homologués NF ou CE**, ou bénéficiant d'une certification équivalente.

Les tuyauteries, en cuivre ou inox, 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...).

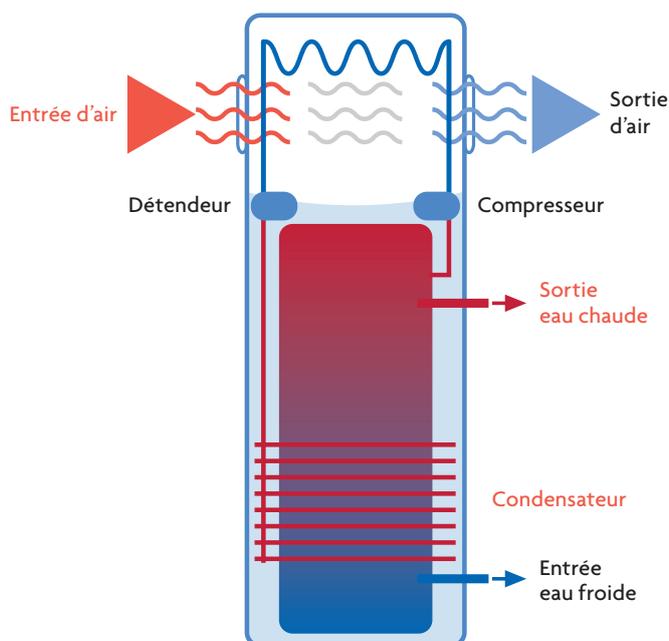
Le **DTU n° 65-12** et la norme **NF P50-601-1** devront être respectés, et les chauffe-eau solaires devront bénéficier d'un avis technique favorable du CSTB (ou équivalent européen) en cours de validité.

#### 4.1.3 - CHAUFFE-EAU THERMODYNAMIQUE

L'eau chaude sanitaire est produite à partir d'une **pompe à chaleur Air/Eau**. Le principe est de récupérer l'énergie thermique présente dans l'air et de la restituer à l'eau stockée dans le ballon.

La température extérieure de l'air étant relativement élevée toute l'année, cette installation présente un très bon coefficient de performance (COP).

**Dans le cas d'un bâtiment de bureau, ce type d'installation ne se justifie que pour alimenter la cuisine d'un restaurant, par exemple.**

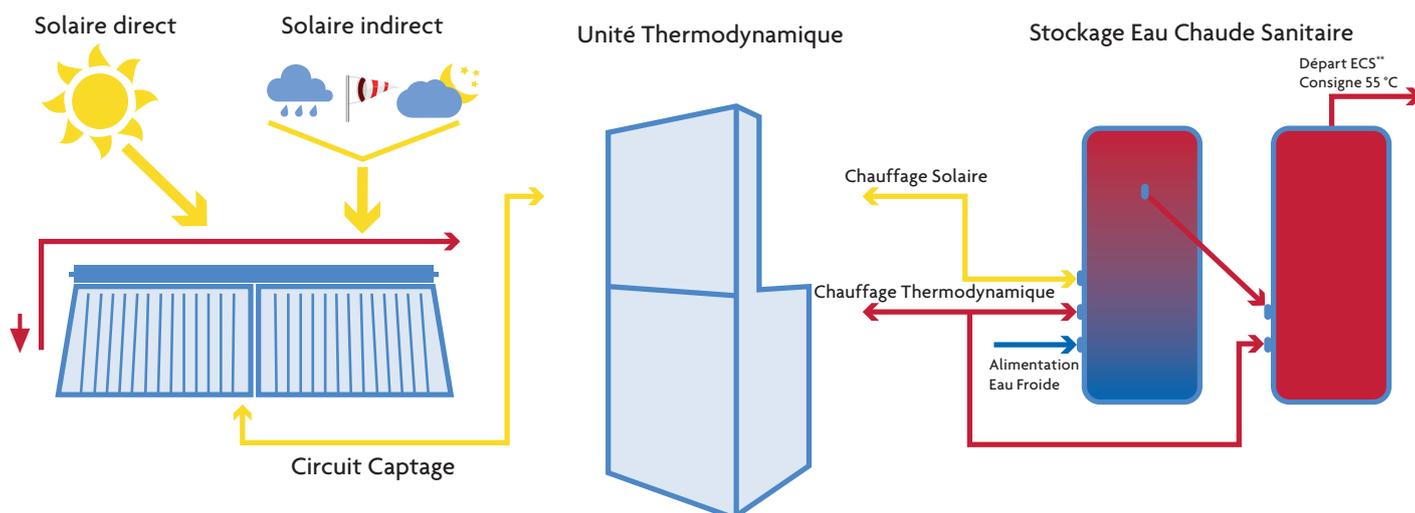


Exemple d'installation ECS thermodynamique simple

De plus, l'installation peut être équipée de panneaux qui, installés en toiture, peuvent à la fois capter les calories de l'air extérieur et également récupérer le rayonnement solaire. La performance de l'équipement est donc largement améliorée lorsque la météo est favorable.



Exemple d'installation thermodynamique avec capteur solaire en Guyane



Exemple d'installation ECS thermodynamique équipée de capteurs solaires.

Le dimensionnement de l'installation et notamment des capteurs, qu'ils soient solaires ou bien par récupération d'air, doit prendre en compte la quantité d'énergie récupérable et les besoins du bâtiment, ceci afin de limiter l'utilisation d'énergie électrique. Il sera réalisé par un bureau d'études spécialisé.

L'avantage de ce système est que les capteurs de chaleur dans l'air ambiant peuvent être installés dans n'importe quelle zone du bâtiment, pourvu que la température soit au moins aussi satisfaisante que la température extérieure: comble ventilé ou non ventilé, toiture, zone couverte, local technique, etc.

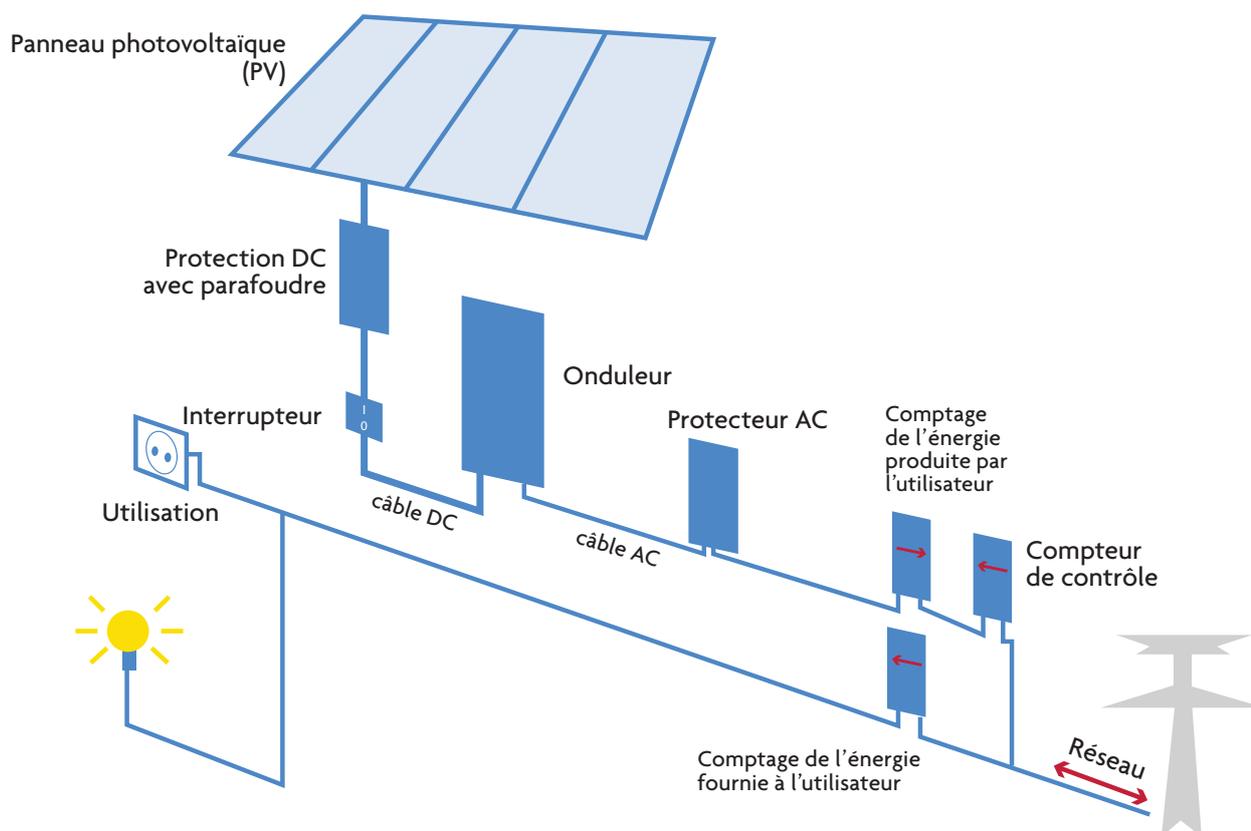
## 4.2 - SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

L'électricité produite par des panneaux photovoltaïques est une ressource énergétique très intéressante en Polynésie française du fait du potentiel solaire important à cette latitude.

Une étude de faisabilité pour la mise en place de panneaux photovoltaïques doit donc être réalisée au cours de l'élaboration du projet.

### 4.2.1 - ÉQUIPEMENT

Une installation photovoltaïque est composée de panneaux photovoltaïques (modules), de câbles, de coffrets de protection et d'un ou plusieurs onduleurs.



#### POUR ALLER PLUS LOIN

Le panneau photovoltaïque transforme le rayonnement solaire en courant continu (DC). Le câble transporte le courant continu vers l'onduleur. Le coffret DC sert de protection contre la foudre et les surintensités. L'onduleur transforme le courant continu en courant alternatif, c'est ce dernier qui alimente tous nos équipements électriques. Enfin le câble AC transporte le courant alternatif vers le point d'injection.

La puissance d'une installation photovoltaïque s'exprime en watt-crête [Wc] ou kilowatt-crête [kWc]. Le kilowatt-crête (ou kWc) est une unité de mesure utilisée pour évaluer la puissance électrique délivrée par ce même système dans des conditions standards

d'ensoleillement ( $1000 \text{ W/m}^2$ ), de température ( $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) et de standardisation du spectre de la lumière (AM 1,5).

La puissance électrique s'exprime en watt [W] ou kilowatt ( $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$ ). Pour un récepteur, elle correspond au besoin électrique d'un appareil pour fonctionner correctement.

Exemple : une ampoule de 10 W.

L'énergie s'exprime en wattheure (Wh) ou kilowattheure (kWh). Elle correspond à la puissance appelée multipliée par le temps pendant lequel elle est appelée.

Exemple : une ampoule de 10 W qui fonctionne pendant 24 heures consomme 240 Wh.



### 4.2.2 - OBJECTIF

Pour ce secteur, l'objectif est de satisfaire un **taux d'autoconsommation de 80 %**.

L'autoconsommation d'une installation photovoltaïque peut se définir comme la part de la production photovoltaïque qui est consommée dans le bâtiment :

Un taux d'autoconsommation de 100 % signifie que toute la production photovoltaïque est consommée sur place ou qu'aucune production photovoltaïque n'est injectée sur le réseau.

$$\text{Taux d'autoconsommation} = \frac{\text{Prod. PV consommée sur le site}}{\text{Prod. PV totale}}$$

### 4.2.3 - DIMENSIONNEMENT

Pour satisfaire l'objectif, le dimensionnement du champ solaire doit être réalisé en fonction de la puissance photovoltaïque produite au regard de la puissance consommée concomitamment par le bâtiment à équiper. À elle seule, la consommation énergétique mensuelle indiquée sur la facture d'électricité n'est pas suffisante pour dimensionner le générateur.

- **Étape 1: Définir le profil horaire de la puissance appelée:**

- Idéalement par une campagne de mesures (faite à l'aide d'un analyseur de réseau réglé au pas de temps le plus faible possible et sur plusieurs journées)
- A minima par un audit énergétique

Fort de ces éléments, une simulation sera réalisée sur l'année afin de s'assurer que la puissance maximale délivrée par l'installation photovoltaïque ne dépassera pas le profil des besoins définis à l'étape 1.

- **Étape 2: Quantifier l'énergie économisée à l'aide d'une simulation informatique** (utilisation d'un logiciel spécifique tel que PVSYST, Archelios, etc.)

Cette méthode a pour but de diminuer le temps de retour sur investissement de toute installation photovoltaïque. Elle permet également de diminuer la puissance injectée sur le réseau de distribution électrique et donc: de ne pas dégrader la qualité de ce dernier; de favoriser un meilleur foisonnement (meilleure répartition géographique des foyers de production) de minimiser les potentielles déconnexions du générateur.

**Pour les îles de la Société, la puissance maximum d'une installation orientée au Nord et inclinée de 17° sera égale à 1,2 fois la puissance moyenne appelée par le bâtiment entre 11 h et 14 h.**

À noter, l'installation d'une centrale photovoltaïque s'accompagne d'une démarche vertueuse:

- Optimisation des besoins en électricité et maîtrise des consommations par le choix d'équipements adaptés
- Optimisation de la courbe de la puissance consommée pour uniformiser les consommations au cours du temps.

$$1 \times P_{\text{moy entre 11 h et 14 h}} \leq P_{\text{max solaire}} \leq 1,2 \times P_{\text{moy entre 11 h et 14 h}}$$

L'étude de faisabilité, le dimensionnement et le projet de conception seront assurés par un Bureau d'Études Technique spécialisé.



## POUR ALLER PLUS LOIN

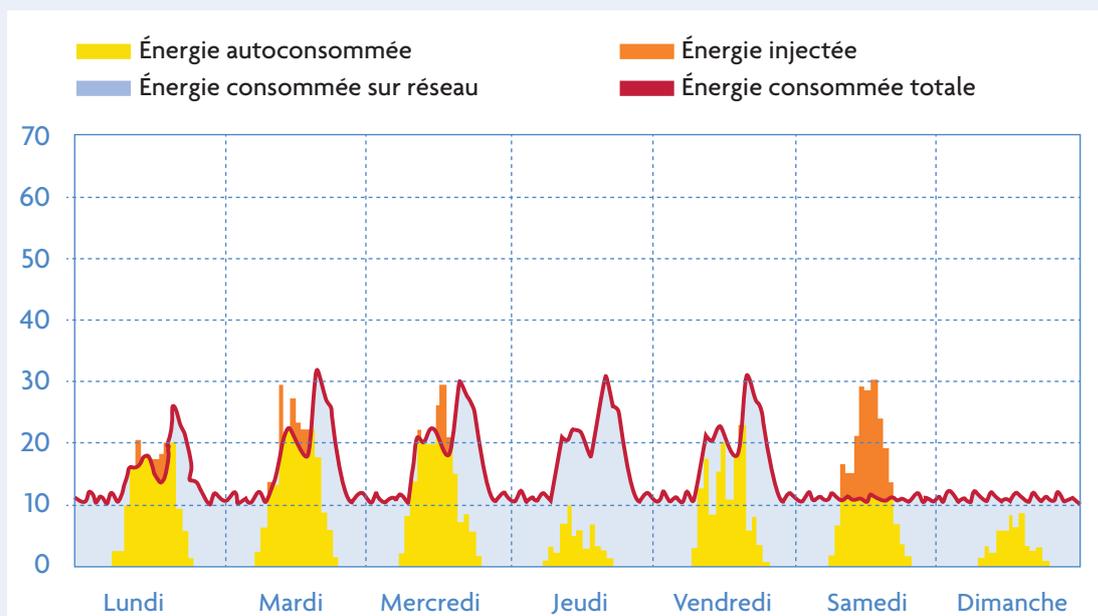
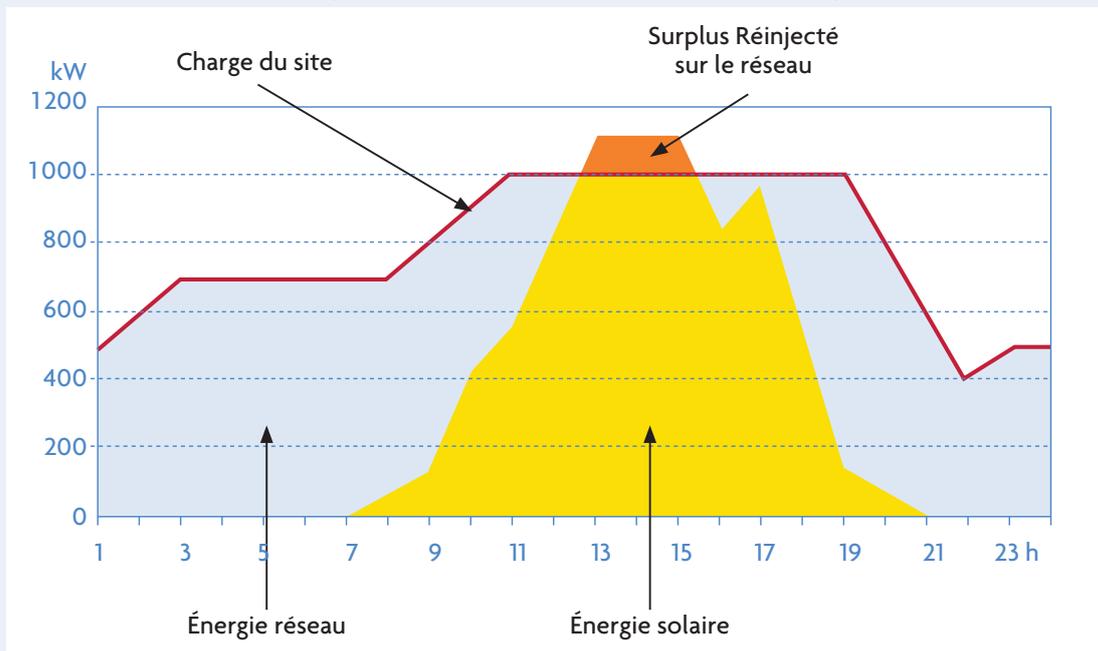
**Puissance appelée et production photovoltaïque**

Sur le graphique ci-contre, la courbe de charge représente la puissance électrique d'un bâtiment. Cette zone bleue correspond à la puissance fournie par le réseau. La zone jaune correspond à la puissance produite par une installation photovoltaïque par beau temps.

Compte tenu du profil de consommation, l'installation ne peut pas produire de l'électricité pour couvrir l'ensemble des besoins électriques du bâtiment.

Néanmoins, un bon dimensionnement permettra de maximiser la consommation issue de l'installation.

Sur le graphique ci-dessus, on constate qu'en cas de mauvaise journée (jeudi, dimanche), l'énergie produite est autoconsommée quelle que soit l'occupation du bâtiment (semaine ou week-end). À l'inverse au cours d'une belle journée (mardi, mercredi, samedi), une partie de l'énergie est réinjectée sur le réseau, que l'on soit en semaine ou en week-end. L'installation pourrait donc être encore optimisée.



**POUR ALLER PLUS LOIN**

Quelques données chiffrées

À Tahiti « Nord », le coût d'achat du kilowattheure (kWh) issu d'une installation photovoltaïque est de 15,98 francs. Pour un bâtiment raccordé en basse tension à usage professionnel, le coût du kilowattheure est de 43,5 francs (HT).

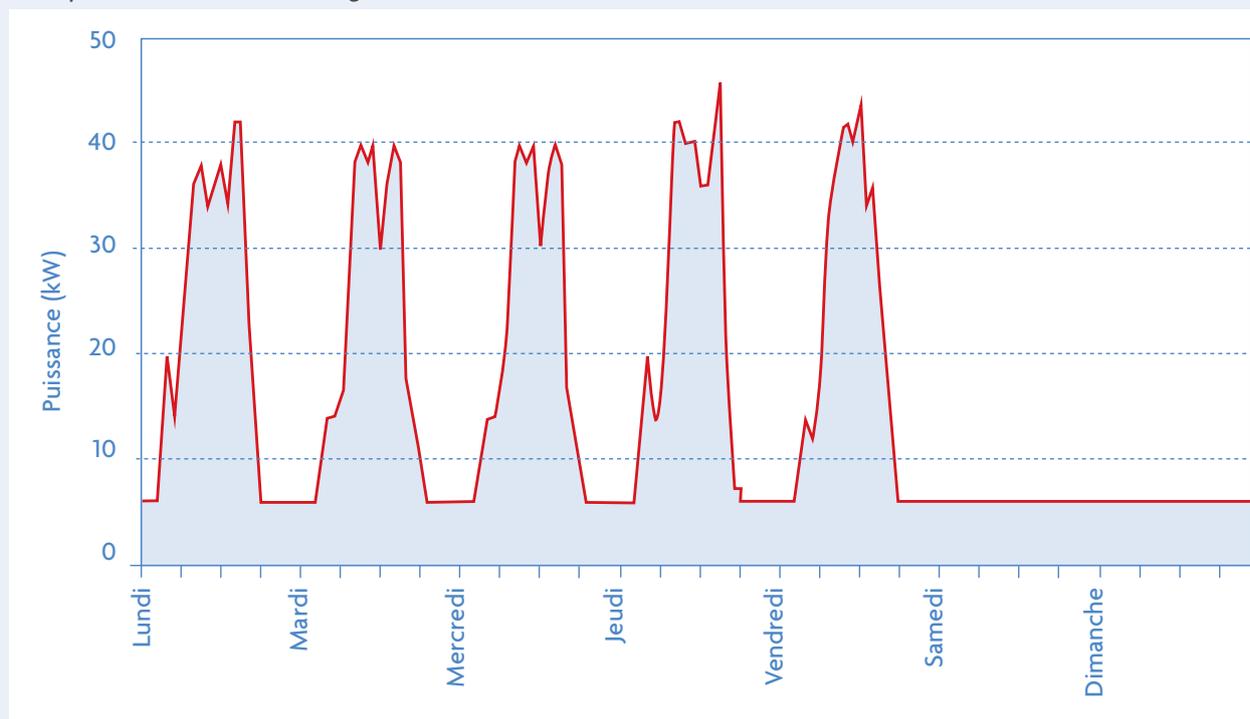
En considérant le coût d'installation du wattcrête à 250 francs et une production de 1350 kWh / kWc par an, les temps de retours sur investissements sont les suivants :

Autoconsommation	100 %	85 %	50 %	0 %
Valorisation du kWh solaire en F CFP	43,5	39,37	29,74	15,98
Coût d'installation en F CFP/Wc	250			
TRI en années	4,3	4,7	6,2	11,6

À noter que ces temps de retour sur investissement ne prennent pas en compte le coût du raccordement au réseau de distribution, le coût de la maintenance du générateur, le coût du remplacement du matériel (de l'onduleur notamment, généralement au bout de 10 ans), le coût de l'assurance, pas plus que les découplages pouvant survenir à la demande du distributeur pour maintenir la stabilité du réseau (ce qui induit une perte de production). Ainsi les TRI réels sont plus longs et l'écart s'accroît en défaveur des faibles taux d'autoconsommation.

Étude de cas

Exemple d'une courbe de charge d'un bâtiment de bureau :



La moyenne de la puissance appelée entre 11 h et 14 h de lundi à vendredi est 34 kW. L'installation devra donc avoir une puissance maximale de 40,8 kWc.

La facture d'électricité de ce bâtiment indique une consommation mensuelle de 11600 kWh. En suivant une logique énergétique (dimensionnement basé uniquement sur la facture comme précédemment déconseillé), il faudrait installer une centrale photovoltaïque de 103 kWc pour produire cette énergie (11 600 kWh x 12 mois / 1350 kWh/kWc = 103 kWc).



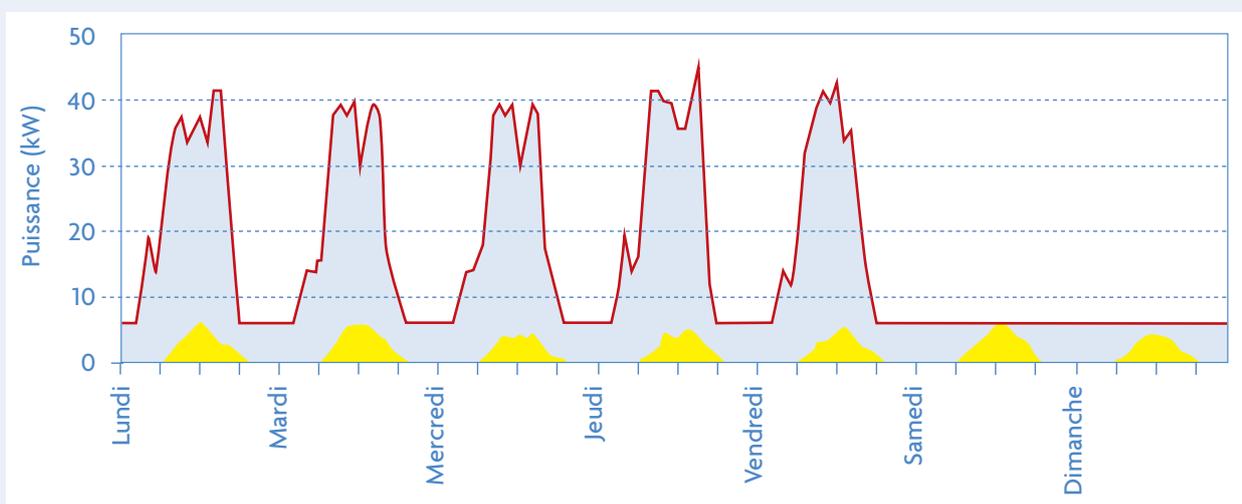
Puissance de l'installation PV	7 kWc	40,6 kWc	103 kWc
Coût de l'installation* (F CFP)	1 750 000	10 150 000	25 750 000
Taux d'autoconsommation	96 %	83 %	61 %
Temps de retour sur investissement**	4,2 ans	4,7 ans	5,6 ans

\*Hypothèse de 250 francs HT le Wc installé, hors coût de raccordement, de maintenance, du remplacement de matériel(s) sur l'installation, d'assurance, etc.

\*\*Coût de l'électricité considéré: 39,75 francs HT le kWh (tarif BT Pro) en achat à EDT)  
15,98 francs le kWh vendu à EDT

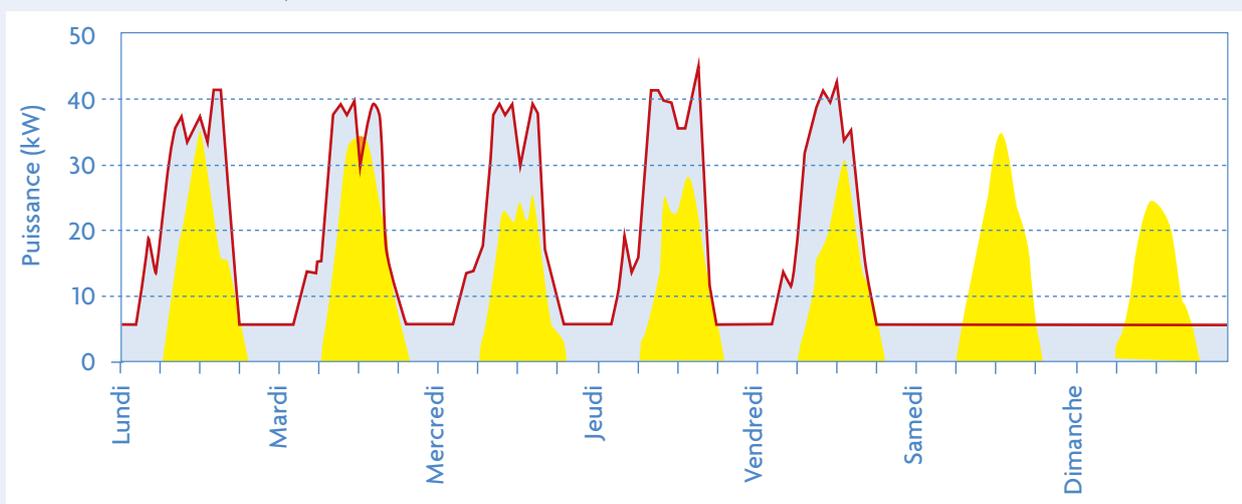
Ci-dessous, les graphiques représentant l'appel de puissance et la production photovoltaïque (auto-consommée et réinjectée sur le réseau) du bâtiment étudié ci-avant, pour les différentes installations :

- Installation de 7 kWc



On observe bien que la quasi-totalité de la production est consommée, quelle que soit la journée.

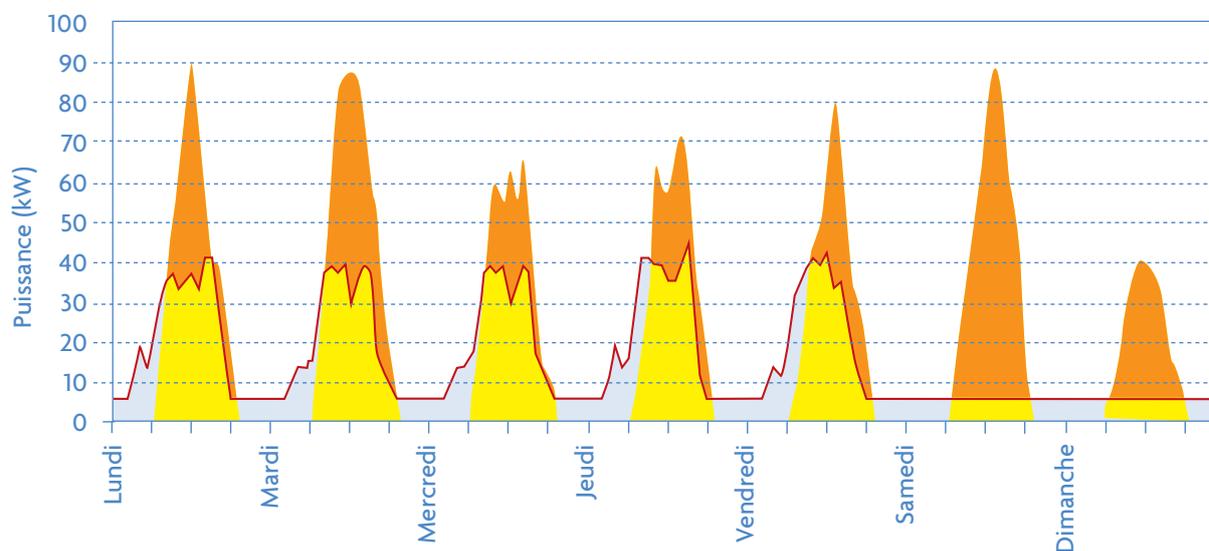
- Installation de 40,6 kWc



On observe que la production photovoltaïque est autoconsommée en semaine. Le week-end, la production est bien plus grande que l'appel de puissance du bâtiment.

## POUR ALLER PLUS LOIN

- Installation de 103 kWc



La production photovoltaïque est bien plus importante que les besoins.

### 4.3 - ÉOLIEN

Une éolienne est une machine qui convertit l'énergie du vent en énergie mécanique. Cette énergie mécanique peut être utilisée directement (par exemple, les moulins à vent) ou, dans la majorité des cas, transformée en énergie électrique via une génératrice.

La production éolienne est classée en 3 catégories :

- Le grand éolien : Puissance supérieure à 350 kW
- Le moyen éolien : Puissance entre 36 et 350 kW
- Le petit éolien : Puissance inférieure à 36 kW

**À l'échelle des projets de bâtiment, nous recherchons les solutions éoliennes de petites et moyennes puissances.**

Ce type de production est soumise, encore plus que le solaire, aux aléas du climat. En site isolé, il conviendra de diversifier les sources d'approvisionnement énergétique : photovoltaïque, hydraulique, groupe électrogène, etc.

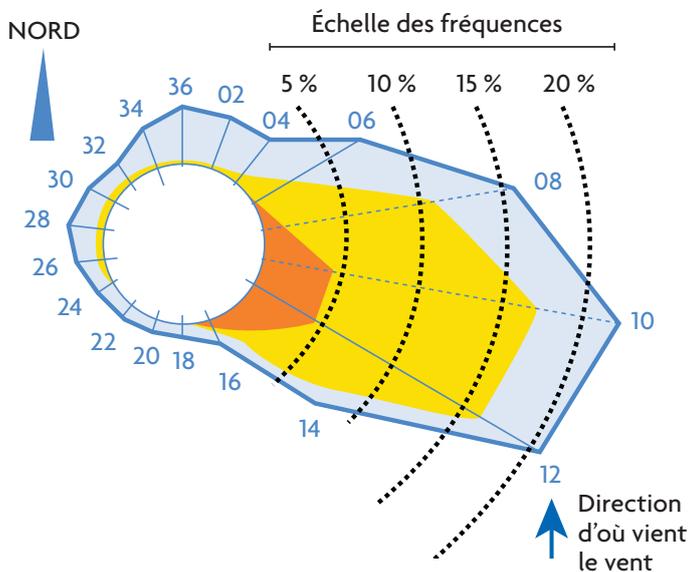
#### 4.3.1 - LE POTENTIEL ÉOLIEN

La force du vent, sa fréquence et sa régularité sont des éléments déterminants pour le choix de cette énergie. **Le principe de base de fonctionnement d'une éolienne nécessite des vitesses de vent comprises entre 10 et 90 km/h (soit entre 3 et 25 m/s).** Au-delà, elles sont arrêtées pour des questions de sécurité.

Au-delà de la localisation géographique, il faut également regarder la **topographie** du lieu, qui impacte le potentiel éolien. En effet, Les falaises ou les pentes supérieures à 45° peuvent occasionner des instabilités du pylône et des perturbations dans la diffusion de l'air.

Par ailleurs il peut exister des obstacles naturels ou artificiels, comme les arbres, les reliefs ou les maisons. Il est alors préférable de se placer en amont de ces derniers ou à distance suffisante pour limiter les effets néfastes.

Pour calculer son potentiel éolien, il faut étudier la « **Rose des vents** » propre au lieu d'implantation.



- Fréquence des vents inférieurs à 2 m/s
- Polygone des vents dont la vitesse est comprise entre 2 et 4 m/s
- Polygone des vents dont la vitesse est comprise entre 5 et 8 m/s
- Polygone des vents dont la vitesse est supérieure à 8 m/s

*Rose des vents en Polynésie française*  
(source : Atlas climatologique de la Polynésie française)

Actuellement, deux types de données sont accessibles, celles mesurées par les stations **Météo France** et celles des mats de mesure **EDT**.

Une étude de **simulation des vents** à l'aide d'un modèle informatique a été réalisée par l'Université de Polynésie Française dans le cadre du programme COBIOPOP. Cette étude est en cours de finalisation et ambitionne de pouvoir fournir aux professionnels des **modèles** de rose de vent pour n'importe quel site sur **l'ensemble du territoire** de la Polynésie Française.

Dans le rapport du programme COBIOPOP, l'étude présente un certain nombre de résultats concernant l'île de Tahiti. Ces résultats sont provisoires et l'échelle d'étude n'est pas suffisamment précise pour pouvoir caractériser définitivement le potentiel éolien. Néanmoins, les conclusions donnent les grandes lignes de la caractérisation des côtes maritimes de Tahiti au regard du potentiel éolien.

Zone géographique Tahiti	% vent > 5 m/s	Potentiel éolien
Côte Sud	57 %	Intéressant
Côte Nord & Est	75 %	Intéressant
Côte Ouest	14 %	Peu intéressant

*Caractérisation du potentiel éolien à grande échelle sur Tahiti à partir des conclusions de l'étude préliminaire du rapport COBIOPOP*

Enfin, bien qu'il manque un retour d'expérience précis sur les éoliennes installées en Polynésie Française, les équipements qui ont été posés sur des îles comme **Maupiti** (îles sous le vent) et **Manihi** (Tuamotu) semblent démontrer leur efficacité.

Sur des sites comme **les atolls des Tuamotu** avec peu de relief et un vent relativement constant, ce type d'équipement se positionne comme une **alternative crédible** pour la production d'énergie électrique. Dans un contexte d'autonomie énergétique en **site isolé**, elle trouve sa pertinence en tant que **source énergétique complémentaire** à du solaire photovoltaïque (par exemple).

#### Pour plus de renseignement sur le potentiel éolien :

- Les données issues du programme COBIOPOP sont téléchargeables sur le site [http://gepasud.upf.pf/outilclimatique/outil\\_climatique.html](http://gepasud.upf.pf/outilclimatique/outil_climatique.html) Elles fournissent des données statistiques de vent sur une maille de 1,33 km pour les îles de Tahiti et Moorea.
- Le site <http://globalwindatlas.com> fournit des informations sur le potentiel éolien des territoires du monde entier.

Pour pouvoir précisément caractériser le potentiel éolien d'un site, il est nécessaire de réaliser une **étude spécifique**, que ce soit par l'utilisation d'une simulation informatique à l'échelle de la parcelle, ou par une campagne de mesures.

### 4.3.2 - DIMENSIONNEMENT

Le fonctionnement nominal des éoliennes (puissance affichée par le fabricant) est, en général, calculé pour un vent d'environ 40 km/h (soit 11 m/s).

Pour considérer le fonctionnement d'une éolienne comme satisfaisant, il est conseillé de rechercher une **vitesse de vent moyenne minimum de 25 km/h (soit 7 m/s)**, équivalent au fonctionnement de l'équipement à environ 50 % de sa puissance nominale

(dépend du modèle d'éolienne). Pour que l'installation puisse être exploitée correctement, il faut également que le vent souffle de manière continue tout au long de l'année, **au moins 50 % du temps à sa vitesse moyenne**.

La conception de l'installation devra faire l'objet d'une étude spécifique réalisée par un Bureau d'études spécialisé. Son principe de dimensionnement reprendra celui des installations photovoltaïques en prenant en compte les courbes de charges du bâtiment.

## 5 - COMPTAGE ET TARIFICATION

Comme vu ci-dessus, l'optimisation énergétique usage par usage est indispensable. Cependant, la multiplicité des postes de consommation nécessite aussi d'avoir une vue d'ensemble de l'évolution des consommations globales par bâtiment et des conditions de tarification de l'énergie.

Il est malheureusement fréquent de constater très tardivement des **hausse de consommation** liées au dysfonctionnement d'un appareil, de son dispositif d'intermittence ou d'une intervention humaine inappropriée.

### 5.1 - COMPTABILITÉ ÉNERGÉTIQUE

Elle peut prendre la forme d'un suivi trimestriel sur tableur en croisant différents indicateurs comme la consommation au m<sup>2</sup> (climatisé ou non), la consommation par usager, etc.

Ainsi la mise en place d'un **circuit de facture** (la facture transite par le responsable technique avant d'être liquidée par le comptable) permet, par un double contrôle technique et financier, de détecter un problème.

#### Suivi des consommations d'énergie

■ à renseigner  
■ calcul automatique

#### Électricité

Période	Période du - au -	Consommations réelles	Consommations facturées	Régularisation				
<b>Consommations</b>								
Relevé compteur								
Consommation								
Prix du kWh (XPF)								
Coût consommation (XPF)								
<b>Prime abonnement</b>								
Abonnement (XPF)								
<b>Taxes et contributions</b>								
Taxes (XPF)								
Transport TEP (Tahiti) (XPF)								
<b>Facture totale</b>								
Total électricité hors TVA (XPF)								
TVA sur consommation (XPF)								
TVA sur abonnement (XPF)								
TOTAL TTC (XPF)								

Exemple de tableau de suivi des consommations d'énergie

En second lieu, la présence de **sous-comptages par bâtiment ou par usages** très consommateurs (exemple : groupe de climatisation) permet des comparaisons et d'identifier les dérives (dues au vieillissement des appareils ou à des interrupteurs défectueux par exemple).

En cas de bâtiment **multi-occupants**, une stratégie de sous-comptage pour chaque occupant permet de facturer les coûts énergétiques proportionnellement à la consommation de chacun.

C'est un point de départ vers la **responsabilisation énergétique** des occupants et vers un processus pédagogique de réduction des consommations.

## 5.2 - APPROCHE EN COÛT GLOBAL

La durée de vie d'un bâtiment se décompose en plusieurs étapes, depuis sa conception jusqu'à sa fin de vie (déconstruction), en passant par sa réalisation et son utilisation.

Dans la très grande majorité des cas, **un ouvrage coûte, sur sa durée de vie, plusieurs fois le montant total des travaux**. C'est pourquoi, le coût financier global d'un bâtiment doit être évalué sur l'ensemble

de son cycle de vie et pas seulement lors de sa phase d'investissement initial.

En effet, 80 % des coûts d'exploitation, de maintenance et de remplacement sont déterminés dès les premiers 20 % du processus de conception dudit bâtiment.

Une analyse en coût global selon la norme ISO 15686-5 couvre les phases suivantes :

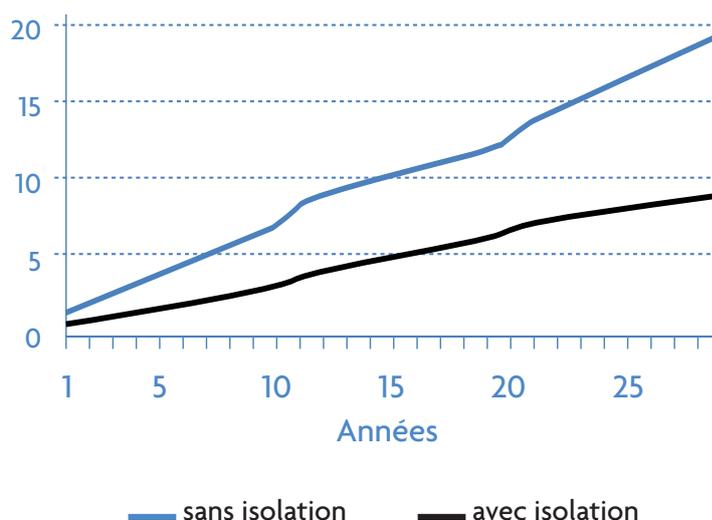
- Construction
- Fonctionnement (usages)
- Maintenance (préventif, curatif, remplacement, nettoyage incluant le coût du personnel)
- Fin de vie (déconstruction, recyclage, etc.)

**Il est recommandé la réalisation d'une étude simplifiée de coût global**, dès la phase de conception du bâtiment, prenant en compte les aspects suivants :

- Coûts de construction
- Coûts énergétiques
- Coût de la maintenance technique
- Durée de vie des équipements : fréquence de remplacement des gros équipements.

Voici un exemple simplifié de prise en compte du coût global pour l'aide à la décision au choix de mise en œuvre de l'isolation de toiture :

Coût global de la climatisation sur 30 ans en millions de F CFP



### Hypothèses :

Année type; Toiture sans isolation:  $S = 12\%$ ; Toiture avec isolation:  $S = 1,5\%$ ; Murs:  $S = 7\%$ ; Local fermé de  $100\text{ m}^2$ ;  $EER = 3$ ; Climatisation la moitié du temps; Durée de vie climatisation: 10 ans; Puissance climatisation:  $10\text{ kWf}$  sans isolation /  $5\text{ kWf}$  avec; Coût climatisation:  $400\ 000\text{ F CFP}$  /  $200\ 000\text{ F CFP}$ ; Coût isolation:  $300\ 000\text{ F CFP}$ ; Sur la base du tarif basse tension usage professionnel de l'électricité à Tahiti (2019); Sur 30 ans, sans actualisation du prix de l'électricité, hors coût d'entretien.

La différence de coût global sur 30 ans est de **12,1 millions F CFP** soit une économie financière de 56 % par rapport au cas de base. L'investissement financier pour la mise en œuvre de l'isolation (300 000 CFP) est remboursé **dès la première année**.

### 5.3 - OPTIMISATION TARIFAIRE DE L'ÉNERGIE

Les besoins en énergie d'un bâtiment sont variables :

- Selon les horaires d'activité, d'ouverture, etc.
- Selon les périodes dans l'année (périodes de congés par exemple)

De plus ils évoluent au fil des années (souvent à la hausse).

Cependant, la prime de l'abonnement EDT étant calculée selon la puissance maximum souscrite, il est préférable de **limiter les pics de puissance**.

Ainsi plusieurs solutions techniques peuvent être envisagées pour optimiser la **courbe de charge** du bâtiment et donc sa tarification électrique :

- Choix de **systèmes alternatifs** ou peu consommateurs en électricité (exemple : cuisson au gaz)
- **Décalage** de certaines consommations électriques non indispensables aux heures de pointe de consommation (emploi d'horloges ou optimiseur de puissance)
- Emploi de **stockage** de chaleur (ballons d'eau chaude à accumulation) ou de froid (stockage de chaleur latente)
- Emploi de solutions alternatives de **production** (groupe électrogène de délestage, champ solaire en autoconsommation, stockage sur batterie, etc.).

Une étude spécifique doit être réalisée par un Bureau d'Études Technique spécialisé pour définir la meilleure stratégie tarifaire.

## EN RÉSUMÉ



La trame de conception d'un bâtiment économe en énergie est jalonnée de 4 grandes étapes.

**1- Analyser et optimiser les futurs usages du bâtiment pour garantir la sobriété énergétique, avant même d'avoir démarré la conception du projet :**

- Caractérisation du contexte et de l'environnement immédiat
- Définition des usages et activités
- Évaluation des niveaux de confort attendus

**2- Travailler sur le plan masse, l'enveloppe et la volumétrie pour limiter les besoins énergétiques de manière passive :**

- Priorité au rafraîchissement naturel
- Maîtrise des apports solaires
- Optimisation de l'accès à l'éclairage naturel

**3- Concevoir, dimensionner et choisir les équipements dans un objectif d'efficacité et de réduction des consommations :**

- Mise en place d'outils de régulation, d'asservissement et de pilotage
- Solutions techniques adaptées aux besoins et au contexte
- Choix d'équipements efficaces et performants

**4- Utiliser et dimensionner de manière efficace et rentable les énergies renouvelables disponibles :**

- L'eau chaude sanitaire solaire doit couvrir un maximum des besoins.
- L'électricité photovoltaïque produite doit être consommée, le plus possible, sur site. Les besoins en électricité élevés en journée rencontrent la période de production d'électricité solaire. Ainsi, un champ solaire correctement dimensionné se trouve aisément rentable.
- L'éolien et la climatisation marine sont des sources d'énergie peu développées sur le territoire mais restent intéressantes à étudier sur des projets de grande ampleur.



# MAÎTRISE DES APPORTS SOLAIRES

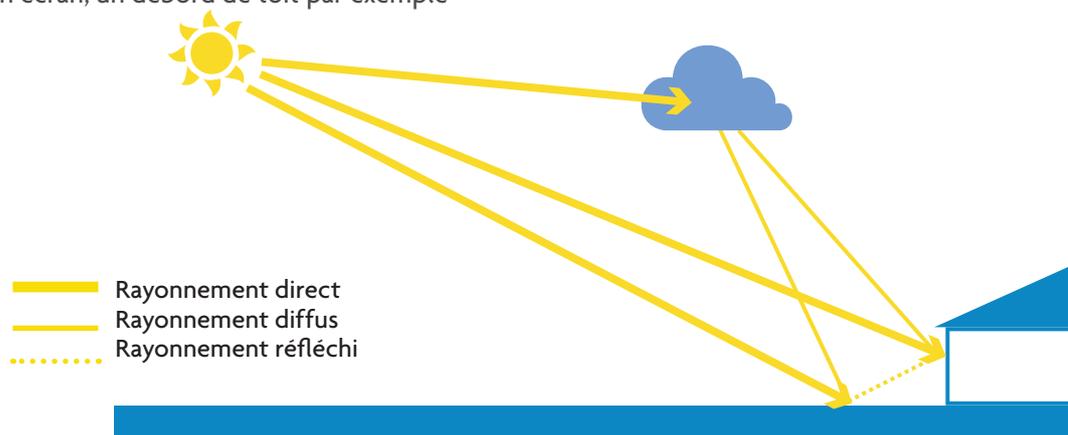
## 2

<b>1 - Facteur solaire .....</b>	<b>37</b>
1.1 - Toiture et murs.....	37
1.2 - Baies.....	39
<b>2 - Isolants.....</b>	<b>39</b>
<b>3 - Protection solaire de la toiture .....</b>	<b>40</b>
3.1 - Types de solutions envisageables .....	41
3.2 - Impact environnemental.....	43
<b>4 - Protection solaire des baies.....</b>	<b>44</b>
4.1 - Types de solutions envisageables.....	45
4.2 - Impact environnemental.....	49
<b>5 - Protection solaire des murs.....</b>	<b>50</b>
5.1 - Types de solutions envisageables.....	51
5.2 - Impact environnemental.....	54
<b>6 - Protection solaire par le végétal.....</b>	<b>54</b>
6.1 - Végétalisation des abords.....	55
6.2 - Toiture végétalisée .....	56
6.3 - Protection solaire végétale des façades.....	56

Les problèmes d'inconfort thermique ou de surconsommation de climatisation sont principalement liés à l'absorption par les parois extérieures du rayonnement solaire. Celui-ci prend deux formes :

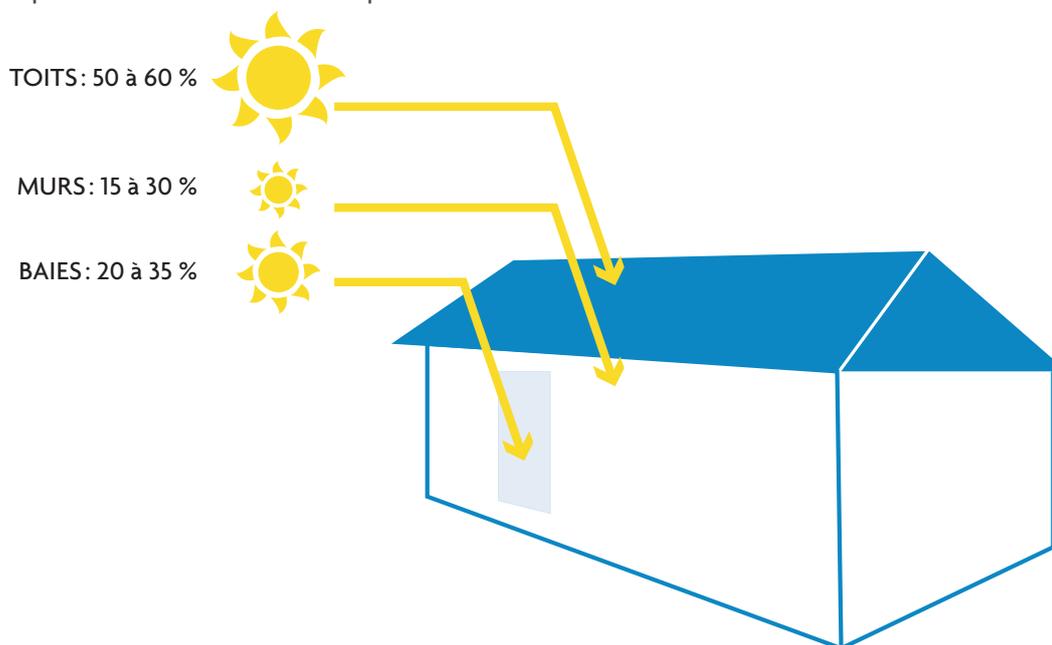
- **Le rayonnement direct** qui dépend de la position du soleil et dont on peut facilement se protéger par un écran, un débord de toit par exemple

- **Le rayonnement diffus** (et éventuellement réfléchi) qui se propage dans toutes les directions, apporte la lumière naturelle mais aussi parfois une part non négligeable de la chaleur, notamment par temps nuageux (ou si des surfaces claires environnent le bâtiment).



*Illustration des trois formes du rayonnement solaire*

Par ordre de priorité, il faut protéger le bâtiment du rayonnement direct très énergétique, en premier lieu la toiture qui peut recevoir jusqu'à 2/3 des apports solaires mais aussi selon les cas les parois Est et Ouest plus exposées que celles au nord et sud compte tenu de la course du soleil.



*Apports solaires selon les parois*

Mais des astuces sont également possibles : par exemple le concepteur éclairé peut placer à l'ouest des espaces plutôt occupés le matin ou en début d'après-midi, ainsi la période de plus forts apports solaires ne coïncidera pas avec l'occupation.

Également des espaces tampons tels que des escaliers, des garages, des vestiaires, etc. peuvent être

employés pour la protection solaire des locaux principaux.

De plus, le concepteur doit réfléchir à deux principaux choix d'orientation des bâtiments :

- Dans un objectif principal de **confort en ventilation naturelle**, soit orienter aux vents dominants (Alizés à l'est) la façade la plus favorable à

une ventilation traversante, par exemple pour les espaces d'agrément (salons, restaurants, etc.)

- Dans un objectif principal de **climatisation performante** et d'éclairage naturel, soit privilégier une moindre surface de façades aux expositions est et ouest, les plus difficiles à protéger du soleil, tandis que les façades nord et sud sont par contre favorables à un éclairage naturel, pour les chambres par exemple.

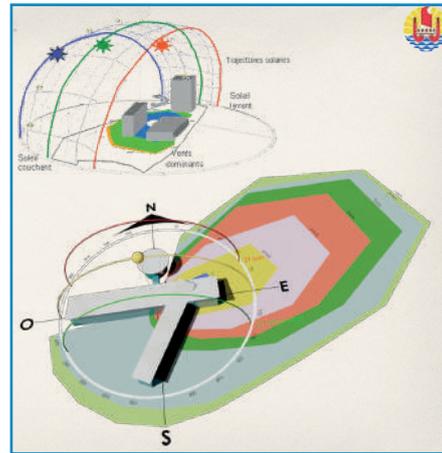


Illustration de l'implantation des bâtiments fonction de la rose des vents et de la course solaire

Dans tous les cas, il faut bâtir une protection solaire robuste et en adéquation avec les autres besoins du bâtiment tels que :

- Éclairage naturel et vues extérieures
- Ventilation naturelle
- Au meilleur coût global et environnemental.

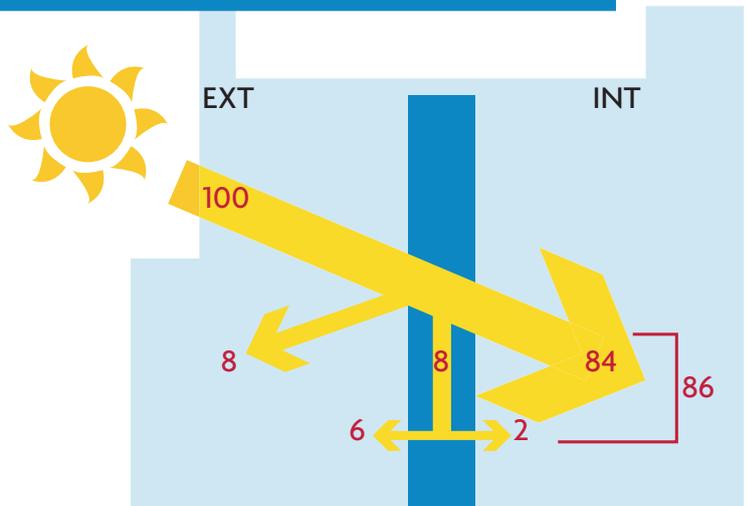
## 1- FACTEUR SOLAIRE

Le Facteur de transmission solaire (S), 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.

Il caractérise la performance thermique globale de la paroi et dépend de :

- Sa résistance thermique
- Sa teinte (une paroi plus foncée absorbe davantage de chaleur)
- Sa protection solaire

Plus le facteur solaire d'une paroi est faible, moins celle-ci transmet la chaleur.



Facteur de transmission solaire

### 1.1 - TOITURE ET MURS

Le facteur solaire d'une paroi est défini par :

$$S = 0,07 \cdot \alpha \cdot f \cdot K_{corr} \cdot C_m / (R_t + 0,2)$$

Avec :

- $\alpha$  = Coefficient d'absorption de la paroi dont la valeur dépend de la teinte
- $R_t$  = Résistance thermique de la paroi (1 ou plusieurs matériaux) en  $m^2 \cdot K/W$
- $0,2$  = Résistance superficielle totale de la paroi
- $0,07$  = Résistance d'échange superficiel extérieure
- $f$  = Facteur de masque lointain (relief)
- $K_{corr}$  = Facteur de correction à appliquer pour un écran ventilé
- $C_m$  = Coefficient d'effet de masque (débord de toiture, etc.), donné en annexe

Les valeurs du coefficient d'absorption de la paroi sont définies dans le tableau ci-dessous.

CATÉGORIES DE TEINTES	COULEURS	VALEURS DE $\alpha$ À UTILISER
<b>Claire</b>	Blanc, jaune, orange, beige, crème, rouge clair	0,4
<b>Moyenne</b>	Rouge sombre, vert clair, bleu clair, gris clair	0,6
<b>Sombre</b>	Brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen, bleu sombre	0,8
<b>Noire</b>	Gris foncé, brun sombre, bleu sombre noir	1

En conséquence une protection solaire sera d'autant plus efficace qu'elle sera claire.

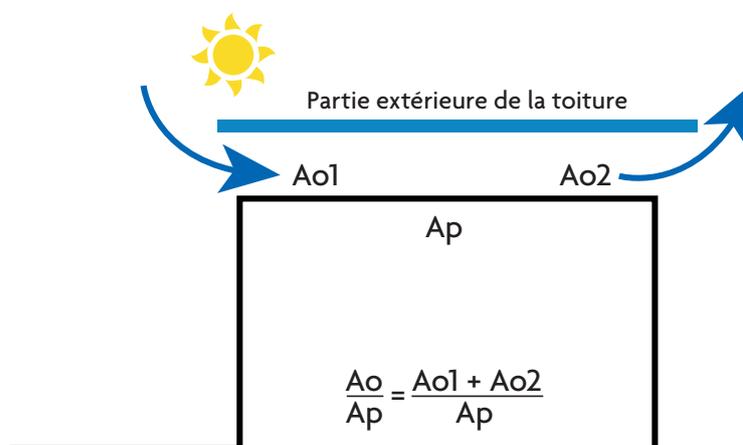
Ainsi, quelles que soient les parois, **une démarche FAREco est incompatible avec une teinte noire**. D'autre part, compte tenu des champignons (cryptogames notamment) qui assombrissent les toitures, le coefficient  $\alpha$  **ne pourra être inférieur à 0,6 dans le cas de toitures**.

La présence d'une lame d'air ventilée (par exemple un comble ventilé) permet d'évacuer vers l'extérieur une partie de la charge solaire reçue par la paroi.

Le coefficient correctif  $K_{corr}$  pour une toiture est donné dans le tableau ci-dessous en fonction de :

- $A_o$  la surface d'ouverture totale en  $m^2$
- $A_p$  la surface totale de la toiture (du plafond)
- $R$  la résistance thermique de la surtoiture

Rapport $A_o/A_p$ (%)	Surtoiture $R < 0,05$	Surtoiture $0,05 < R < 0,10$	Surtoiture $0,1 < R < 1$	Surtoiture $R > 1$
0	1	1	1	1
2	0,76	0,69	0,6	0,49
4	0,55	0,47	0,38	0,3
6	0,46	0,39	0,32	0,24
8	0,41	0,35	0,28	0,22
10	0,39	0,33	0,26	0,2
20	0,34	0,28	0,22	0,17
30	0,32	0,26	0,21	0,16
40	0,3	0,25	0,2	0,15



Le coefficient correctif  $K_{corr}$  pour un mur est donné dans le tableau ci-dessous en fonction de l'épaisseur de la lame d'air et de la teinte du bardage ventilé.

Épaisseur de la lame en cm	$\alpha = 0.4$	$\alpha = 0.8$
0	1	1
5	0.70	0.65
10	0.65	0.60
50	0.60	0.55

### 1.2 - BAIES

Le facteur solaire d'un ouvrant est défini par :

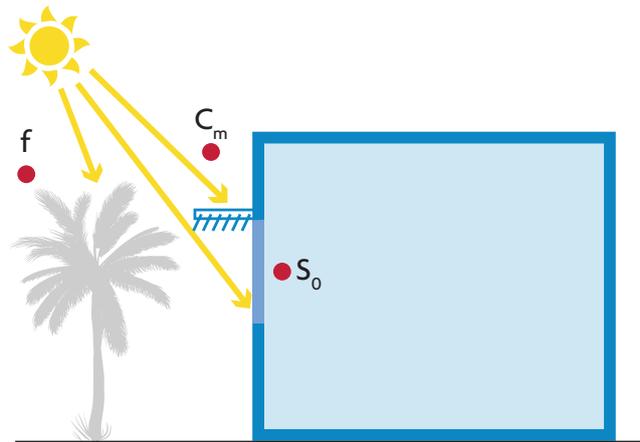
$$S = S_o \cdot C_m \cdot f$$

Avec :

- $S_o$  = Facteur solaire propre de la baie (porte ou fenêtre)

- $C_m$  = Coefficient d'effet de masque (pare-soleil, auvent, etc.), donné en annexe
- $f$  = Facteur de masque lointain

- Ces trois valeurs sont égales à 1, par défaut, lorsque :
- La fenêtre est une ouverture simple (sans protection solaire):  $S_o = 1$
  - Il n'y a pas de masque proche:  $C_m = 1$
  - Il n'y a pas de masque lointain:  $f = 1$



## 2 - ISOLANTS

Pour réduire le facteur solaire, il faut donc choisir une teinte la plus claire possible, et une paroi composée de matériaux offrant au global une résistance thermique élevée. Pour cela, l'isolation est une solution performante et facile à mettre en œuvre dans la plupart des situations.

L'isolation thermique peut être rapportée sur une des faces de la paroi ou intégrée à la fabrication dans les matériaux mis en œuvre.

Il n'y a, à ce jour, aucune réglementation relative aux matériaux isolants en Polynésie Française. Il existe cependant une certification ACERMI des produits 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 (impermeabilité, 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

**CERTIFICAT ACERMI**

ISOLANT THERMIQUE MANUFACTURE DU BATIMENT

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

I	S	O	L	E	R =	m <sup>2</sup> K / W
---	---	---	---	---	-----	----------------------

Chacune de ces caractéristiques est notée de 1 à 5, selon son niveau de qualité. Plus la note est élevée, plus le produit isolant est performant et permet de juger de son adéquation à l'emploi. Par exemple la pose dans un comble ne requiert pas d'exigence particulière contrairement à une pose en toiture-terrasse qui nécessite résistance à la compression et stabilité dimensionnelle.

Il faut souligner que la garantie de performance d'un isolant réside dans son épaisseur (associée à une très faible conductivité). Cependant sont parfois proposés des produits de type **Isolant Mince Réfléchissant (IMR)** dont les performances reposent sur le respect

d'une épaisseur de lame d'air associée et d'un état de surface réfléchissant de l'IMR, ce qui n'est bien souvent plus le cas après quelques années d'empoussièrément ou de condensations. Aussi **ces produits ne peuvent être considérés comme des isolants**. On peut néanmoins les employer par défaut comme complément de protection solaire; par exemple en cas de manque de place pour intercaler un isolant ou de contraintes fortes sur le transport lors d'un chantier en site isolé.

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 extérieure, qui va surtout influencer d'un point de vue thermique sur le complexe. De fait, les fuites d'air doivent être inférieures à 1500 mm<sup>2</sup> 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 la face intérieure avec la mise en place d'un parement (faux-plafond, Placoplatre). En complément d'un isolant classique, les IMR peuvent faire office de pare-vapeur, mais ne doivent jamais être posés entre l'isolant et le côté intérieur (risque de condensation dans l'isolant).

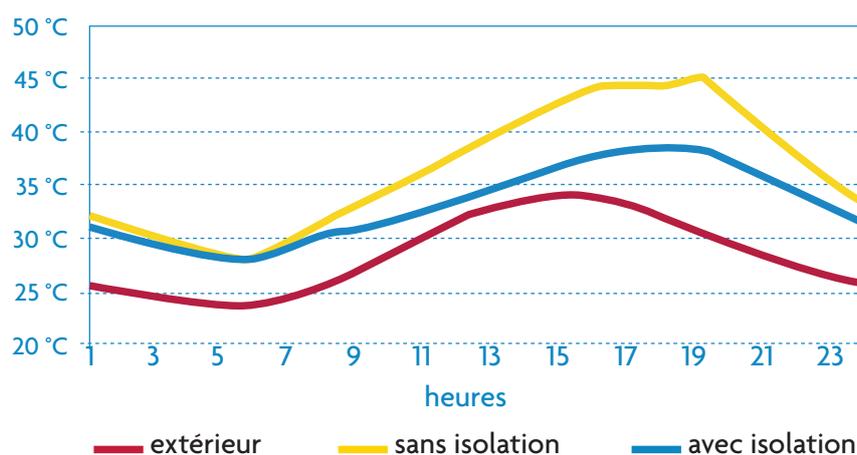
### 3 - PROTECTION SOLAIRE DE LA TOITURE

**Le niveau de performance des toitures est fixé dans le référentiel FAREco à  $S < S_{max}$  avec  $S_{max} = 0,015$ .**

Du fait de la course du soleil, **une protection solaire de toiture est très « rentable »** que ce soit en confort thermique ou en réduction (voire en suppression) des consommations de la climatisation.

Sur le graphique ci-dessous la différence de température intérieure d'un local avec une toiture isolée est de 3 °C en moyenne et 7 °C sur les maximums par rapport à une toiture non isolée.

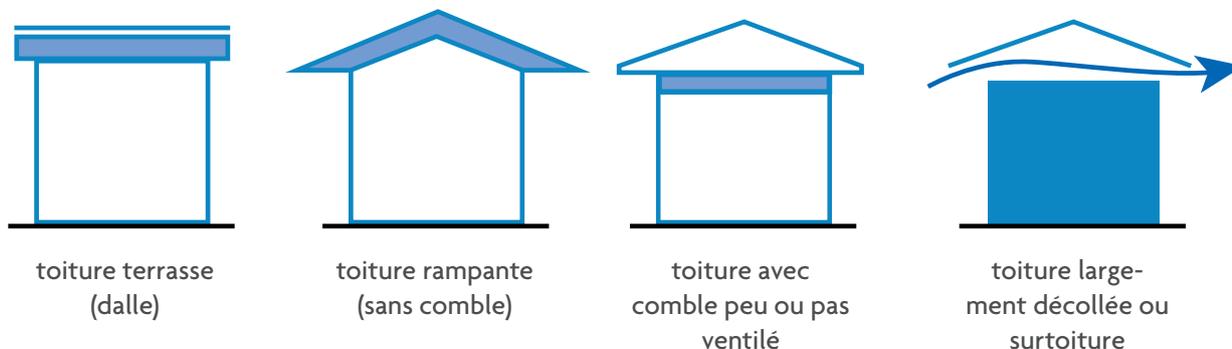
Évolution journalière des températures d'un local en ventilation naturelle



Hypothèses: Journée type de janvier; Toiture sans isolation:  $S = 10\%$ ; Toiture avec isolation:  $S = 1,5\%$ ; Murs:  $S = 7\%$ ; Fenêtres FS = 40%; porosité de 25%; flux d'air = 0,25 m/s

### 3.1 - TYPES DE SOLUTIONS ENVISAGEABLES

On distingue 4 types de toitures :



Les niveaux d'isolation requis pour atteindre un facteur solaire inférieur à 1,5 %, selon différents types d'isolant courants en Polynésie française, sont présentés ci-dessous.

#### 3.1.1 - TOITURE-TERRASSE

Cette toiture est généralement constituée par une dalle béton plane de 15 à 20 cm, avec un enduit en face interne et une étanchéité de type bitumineuse en revêtement extérieur qui est difficile à maintenir compte tenu du climat de la Polynésie française.

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  
-> Facteur solaire = 14,7 %
- Dalle haute (15 cm) avec 5 cm de perlite  
-> Facteur solaire = 3,7 %

La résistance thermique d'une dalle béton (0,086 m<sup>2</sup>.K/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.

Une solution non isolée n'est donc pas satisfaisante.

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

Type d'isolant* / Teinte de toiture	Claire/ Moyen	Sombre
Polyuréthane ou polystyrène extrudé	8	11
Polystyrène expansé ou panneau de laine de verre ou de roche	10	14
Perlite	15	21

\*Voir la banque de données des matériaux en annexe

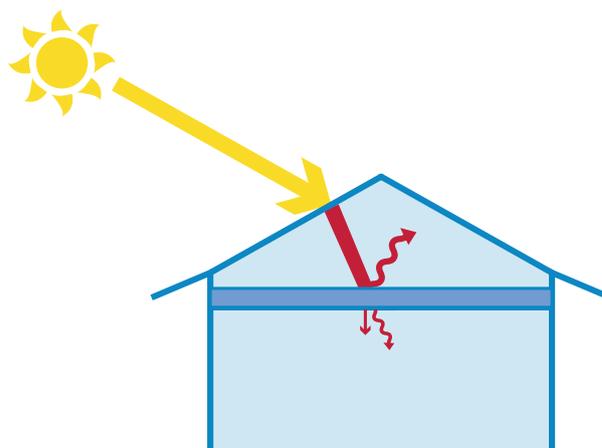
L'isolant peut être intercalé entre la dalle béton et l'étanchéité sous réserve d'un classement ISOLE compatible. Il peut aussi être placé en sous face de dalle, d'une épaisseur sensiblement inférieure s'il est revêtu d'un placo avec ou sans lame d'air. La pose d'un faux-plafond suspendu permet également de réduire l'épaisseur d'isolant.

Type d'isolant* / Teinte de toiture	Claire/ Moyen	Sombre
Polystyrène expansé posé en sous face de dalle avec lame d'air de 2 cm et placo	9	13
Polystyrène expansé ou laine de verre posée sous étanchéité + faux-plafond suspendu (dalle de laine minérale de 3 cm à 30 cm sous dalle)	6	10

### 3.1.2 - TOITURE RAMPANTE OU AVEC COMBLE PEU OU PAS VENTILÉ

Ces toitures (avec ou sans faux-plafond) peuvent être réalisées en tôle ou bac acier (acier, zinc-aluminium) mais aussi en bardeaux bitumineux (shingle) ou bardeaux de bois (en pins douglas ou pins caraïbes par exemple).

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

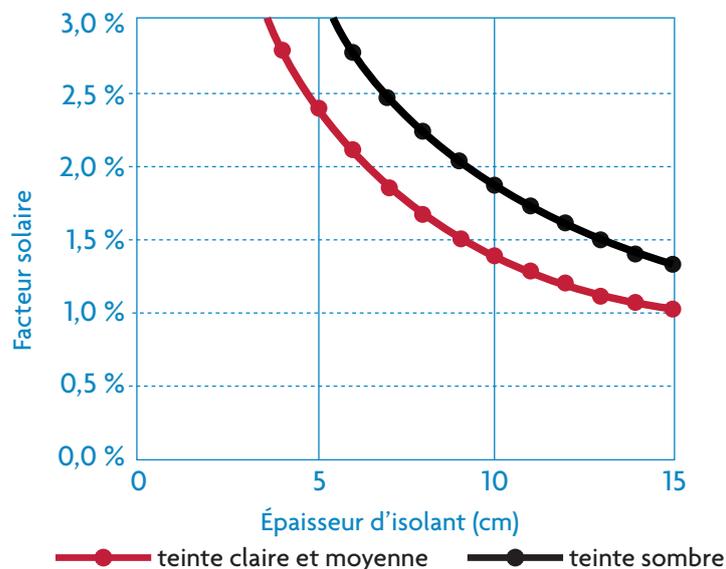


Type d'isolant* / de toiture	Métallique Clair / Moyen	Métallique Sombre	Bardeaux bitumineux Clair / Moyen	Bardeaux de bois Moyen / Sombre
Polyuréthane ou polystyrène extrudé	7	10	7	7
Polystyrène expansé ou laine de verre/ de roche	10	14	9	10

\*Voir la banque de données des matériaux en annexe

Le bardeau de bois est pénalisé par sa teinte qui bien que claire au début devient moyen à sombre selon son orientation et son exposition. Il bénéficie cependant d'un bon bilan environnemental.

#### Toiture métallique avec faux-plafond non ventilé



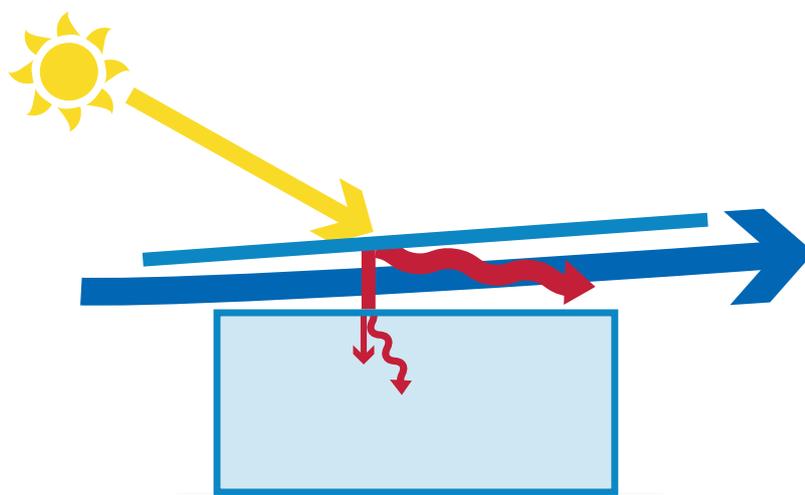
Une solution standard est donc par exemple la pose d'un isolant de 10 cm d'épaisseur en excluant le choix de teintes sombres.

Cette isolation peut être posée sur le plancher du comble par de la laine minérale en rouleau; cette solution a l'avantage de combiner qualité acoustique et thermique. Attention, pour maintenir les performances sur le long terme, un film pare-vapeur doit être placé au-dessus des isolants dans les cas de laines minérales.

### 3.1.3 - TOITURE LARGEMENT DÉCOLLÉE OU SURTOITURE

Ce type de toiture nécessite une surface d'ouvertures  $A_o$  au moins égale à 15 % de la surface totale de la toiture (du plafond)  $A_p$ . Ainsi, une toiture avec une ouverture de type « chien assis » ne peut être considérée comme suffisamment ventilée.

De plus ce type de conception en surtoiture n'est pas sans inconvénients : elle est plus vulnérable aux vents violents ; elle peut présenter un risque d'entrée de pluie ; elle peut héberger des volatiles ou autres avec les nuisances associées.



Les épaisseurs minimales (en cm) d'isolant à mettre en place (calculées pour  $A_o/A_p = 20\%$ ), avec une surtoiture, sont définies dans le tableau suivant :

Type d'isolant* / de surtoiture	Métallique Clair / Moyen	Métallique Sombre	Bardeaux bitumineux Clair / Moyen	Bardeaux de bois Moyen / Sombre
Polyuréthane ou polystyrène extrudé	2	3	1	1
Polystyrène expansé ou laine de verre/ de roche	2	3	1	2
Perlite	3	5	1	2

\*Voir la banque de données des matériaux en annexe

**Une solution type pour une surtoiture en bac acier est donc par exemple la pose d'un isolant de 2 cm d'épaisseur, en excluant le choix de teintes sombres, en sous-face de plafond avec lame d'air et revêtu d'un placo.**

### 3.2 - 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 ou couverture	Énergie grise (kWh/m <sup>3</sup> )*	Tenue dans le temps	Impact sanitaire
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	1000	Bonne	Dégagement d'amines, issus du chlore
Perlite	250	Bonne	Neutre
Acier	250	Apparition de mousses	Neutre
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 CO <sub>2</sub> (800 à 1100 kg/m <sup>3</sup> )
Tuile	1400	Apparition de mousses	Neutre
Végétalisation	Très faible	Bonne	Régulation de l'humidité et solution aux problèmes de gestion des eaux pluviales Réduction locale de la pollution de l'air

\* données générales pour la France métropolitaine

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

## 4 - PROTECTION SOLAIRE DES BAIES

Les apports de chaleur par les baies représentent généralement 60 % des apports solaires des parois verticales, c'est-à-dire les apports « hors toiture ».

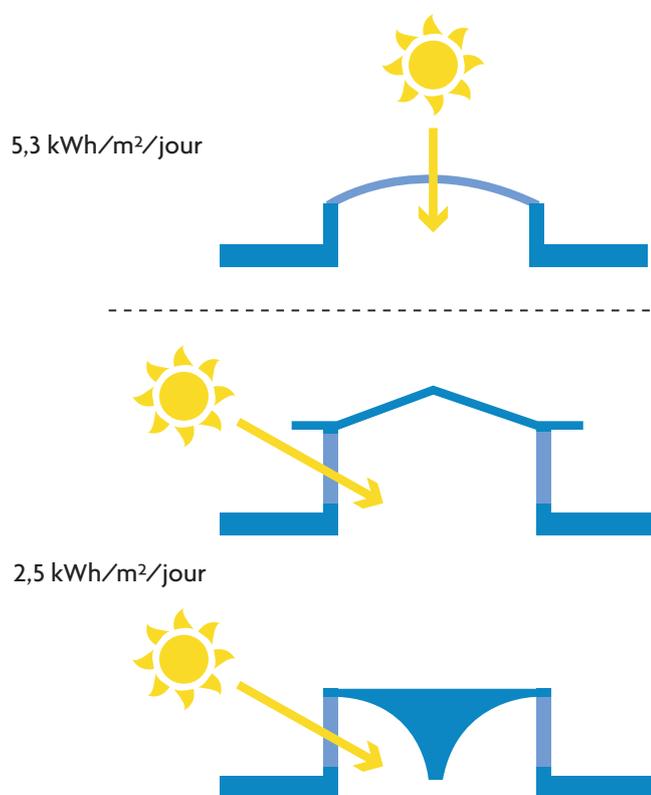
Ils sont liés à l'énergie emmagasinée par les ouvertures d'une maison, qu'il s'agisse d'une fenêtre par « effet de serre » ou d'une porte, car elles sont généralement moins « étanches » à la chaleur que des matériaux plus lourds qui constituent les murs.

**Le niveau de performance des baies est fixé dans le référentiel FARECO à  $S < S_{max}$ ,  $S_{max}$  dépendant de l'orientation de la baie et du type de traitement d'air du local concerné.**

Orientation	S <sub>max</sub>	
	Non climatisé	Climatisé
Nord	0,60	0,40
Nord-Est	0,50	0,30
Est	0,40	0,30
Sud-Est	0,50	0,30

Orientation	$S_{max}$	
	Non climatisé	Climatisé
Sud	0,60	0,40
Sud-Ouest	0,50	0,30
Ouest	0,40	0,30
Nord-Ouest	0,50	0,30

Concernant les baies horizontales, définies ainsi car dans le même plan que la toiture, ils ne sont pas compatibles avec le référentiel FAREco compte tenu des apports importants de chaleur qu'ils peuvent engendrer.



Il existe d'autres moyens envisageables pour générer des éclairages zénithaux. Le chien-assis ou les lanterneaux constituent des réponses appropriées s'ils sont situés au Nord ou au Sud (apport solaire moyen de 2,2 kWh/m<sup>2</sup>/jour contre 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/jour). Leur traitement en termes de protection solaire correspond à celui d'un vitrage vertical.

Toutefois, dans certaines configurations nécessitant un apport lumineux important (milieu urbain dense, linéaire de façade insuffisant, etc.), un éclairage zénithal pourra être toléré dans les espaces de circulation non climatisés dès lors que le vitrage dispose d'une protection solaire adéquate. La solution technique devra être étudiée par un bureau d'étude spécialisé. Un facteur solaire de  $S_{max} = 0,15$  pourra être retenu.

## 4.1 - TYPES DE SOLUTIONS ENVISAGEABLES

Il existe une pléthore de solutions de protections solaires des baies; parmi les solutions courantes, on peut citer :

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

### 4.1.1 - PROTECTIONS HORIZONTALES

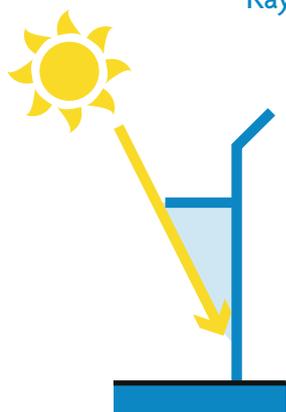
Cette catégorie de solution intègre toutes les protections extérieures qui se situent au-dessus des baies, qu'elles soient positionnées au droit de la fenêtre ou à distance. On y trouve ainsi les débords de toiture et les auvents (ou casquettes). Ces types de protection peuvent avoir la double fonction de protection solaire des baies 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).

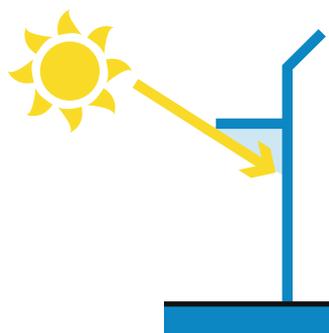
Par ailleurs, elles peuvent être plus efficaces en termes d'apport de lumière naturelle, mais sont déconseillées hors des façades Sud et Nord, en raison des dimensions importantes que leur efficacité implique :

- **Façades Sud et Nord** : bonne protection
- **Façades Ouest et Est** : peu efficace
- **Rayonnement diffus** : protection moyenne
- **Rayonnement réfléchi** : protection en partie haute seulement

Rayonnement direct

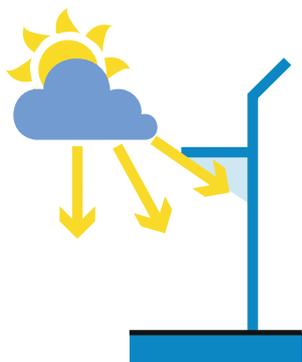


Façades Sud et Nord  
Bonne protection

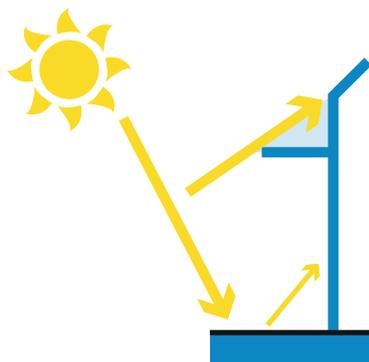


Façades Ouest et Est  
Peu recommandé

Rayonnement indirect



Rayonnement diffus  
Protection moyenne



Rayonnement réfléchi  
Protection en partie  
haute seulement

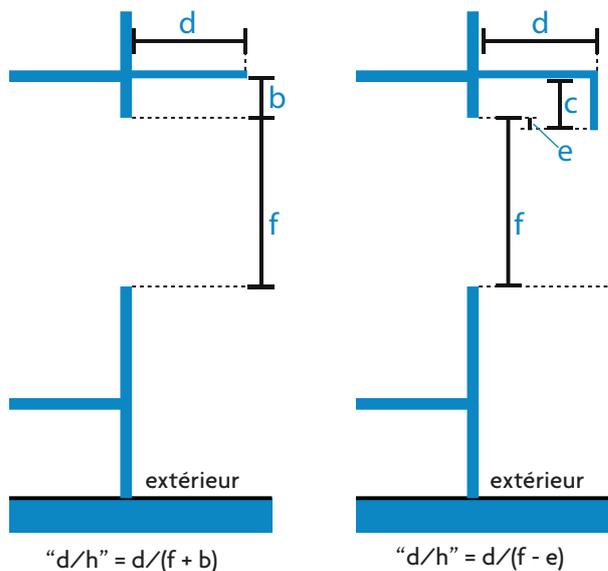
La valeur qui va ici servir de référence pour évaluer les dimensions minimales des auvents à respecter est celle de «  $d/h$  », qui est définie à partir :

- De la profondeur du débord :  $d$
- De la hauteur de la baie :  $f$
- De la distance verticale entre le haut de la baie et le débord de l'auvent

Il y a 2 cas de «  $d/h$  » pour les baies :

- $d / (f + b)$
- $d / (f - e)$

Les équivalents de «  $d/h$  », selon le type de structure, sont donnés dans le tableau ci-dessous : Pour satisfaire aux seuils de la démarche, 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.



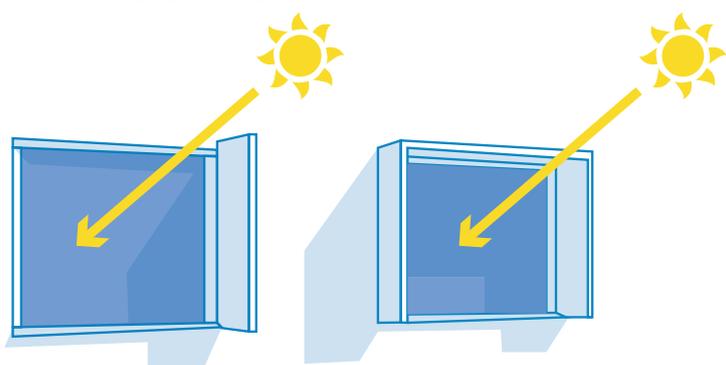
«  $d/h$  » =  $d / (f + b)$

«  $d/h$  » =  $d / (f - e)$

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.

#### 4.1.2 - PROTECTIONS LATÉRALES

Ces protections sont moins efficaces que les précédentes mais elles peuvent représenter un complément intéressant. Elles ne pourront constituer à elles seules une protection suffisante, et ce quelle que soit l'orientation.



#### 4.1.3 - PROTECTIONS VERTICALES INTÉGRÉES

Ce terme regroupe l'ensemble des solutions architecturales intégrées à une paroi, de type brise-soleil ou volet. Elles sont généralement nécessaires pour les baies exposées à l'Est ou à l'Ouest.

##### 4.1.3.1 - BRISE-SOLEIL

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

Les brise-soleil à lames peuvent être à lames 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.

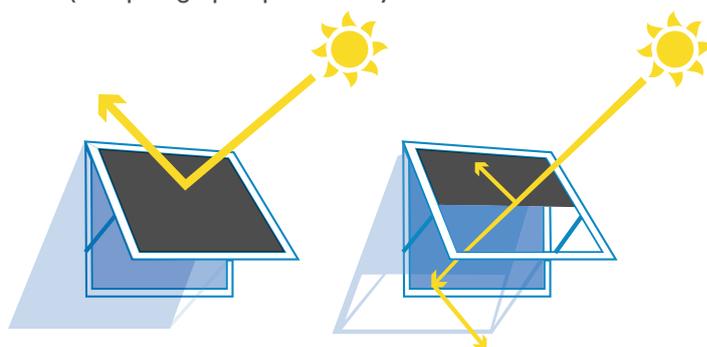
Pour qu'il soit efficace quelle que soit son orientation, **un brise-soleil se doit d'être de couleur claire ou moyenne et ventilé.** On dit qu'un brise-soleil est ventilé quand, en tout point de la baie, la distance

« d » qui le sépare du pare-soleil est a minima égale à 3 % de la hauteur totale de l'ouvrant. Si la protection solaire est de teinte sombre, alors la paroi ou l'ouvrant devra respecter une résistance thermique supérieure à  $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ .

L'efficacité d'un brise-soleil correspond à l'effet de masque qu'il apporte. Les valeurs des coefficients de masques  $C_m$  sont données en annexe.

##### 4.1.3.2 - VOLETS OU STORES

Les volets, quant 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 en annexe.

##### 4.1.4 - PROTECTIONS VERTICALES RAPPORTÉES

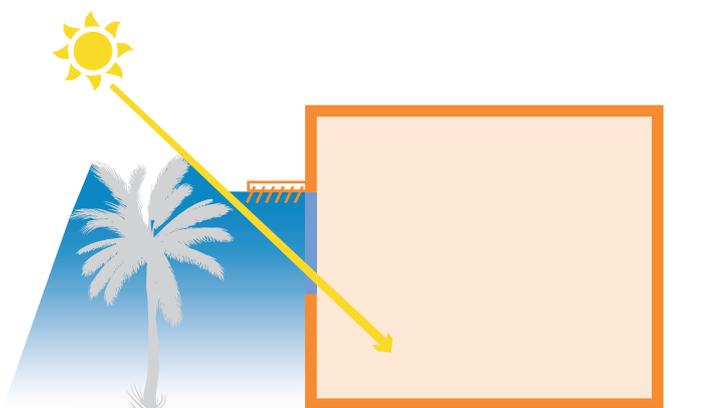
Le troisième type de protection solaire est une solution rapportée qui est de type store intérieur ou extérieur ou film solaire qui a l'avantage de pouvoir être posée a posteriori en correctif mais le désavantage d'être d'autant plus efficaces qu'ils **obstruent la lumière naturelle.**

**Les solutions optimales sont donc obtenues en combinant ce type de protection solaire à d'autres (masques proches ou lointains par exemple).**

**Il faut préférer pour les films réflecteurs une pose par l'extérieur pour bloquer la chaleur et limiter les risques de fissures plus fréquents en intérieur du fait de différences de températures pouvant être plus localisées.**

### 4.1.5 - MASQUES LOINTAINS

Parmi les trois catégories qui viennent d'être abordées n'ont pas été pris en compte les masques existants.

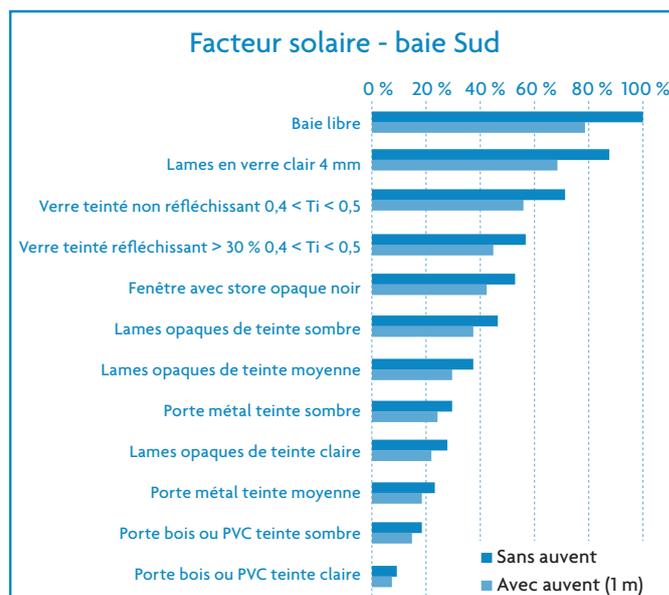
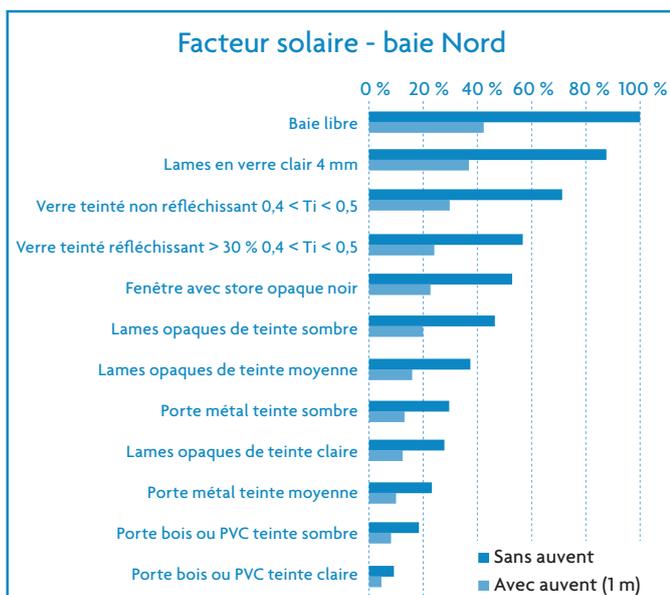


Ceux-ci sont constitués par des éléments extérieurs, comme un bâtiment proche, un relief important ou de la végétation arborée, qui peuvent dispenser d'un traitement local sur le bâtiment, pour protéger une baie (ou une paroi entière). **Leur efficacité est cependant aléatoire**, et ils ne sont souvent intéressants qu'aux heures les moins nocives de la journée (matin et soir, au soleil rasant).

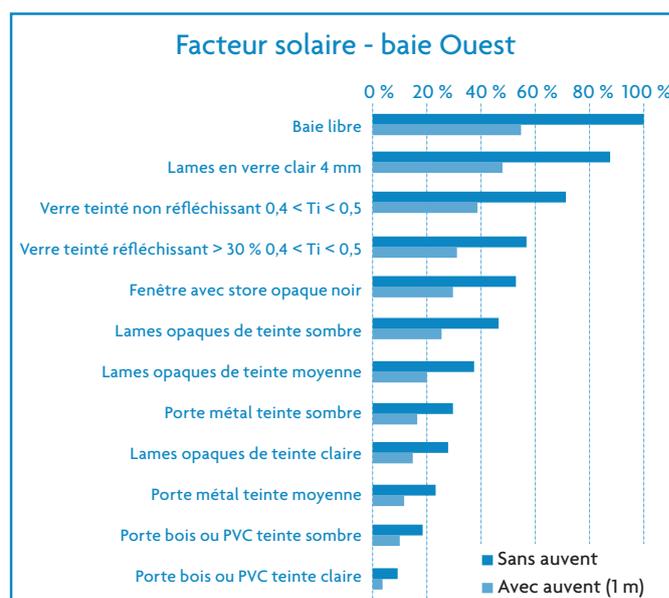
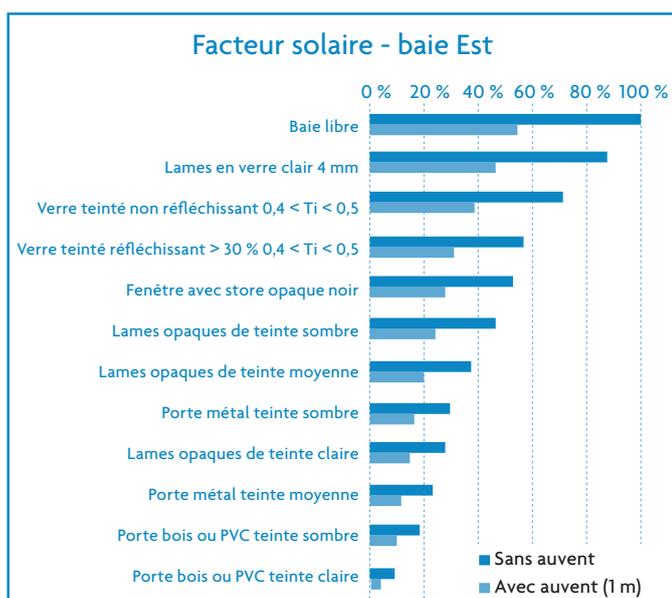
### 4.1.6 - SOLUTIONS MIXTES

Dans le cas de solutions alliant plusieurs types de protections solaires, on se référera à la formule de calcul de Facteur solaire ( $S = f \times S_0 \times C_m$ ), et aux différents coefficients donnés.

Les graphiques ci-dessous présentent différentes solutions de protection solaire de baies avec auvent (de type étendu pour une baie de hauteur 1,2 m) ou sans.



Compte tenu des seuils du référentiel, le facteur solaire doit être inférieur à 60 % (40 % si climatisé). La solution type au nord est un simple auvent par exemple; elle aura l'avantage de permettre un bon éclairage naturel. Au sud, du fait du rayonnement diffus, une protection de type store réglable par exemple (idéalement de couleur claire et placé à l'extérieur) paraît plus appropriée (et compatible avec l'éclairage naturel si elle est mobile).



**Compte tenu des seuils du référentiel, le facteur solaire doit être inférieur à 40 % (30 % si climatisé). La solution type est une protection par un dispositif proche de la baie, par exemple des lames opaques de teinte claire qui peuvent également favoriser la ventilation naturelle.**

## 4.2 - 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.

### 4.2.1 - INTÉGRATION PAYSAGÈRE

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).

### 4.2.3 - CHOIX DES MATÉRIAUX UTILISÉS

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).

### 4.2.4 - ENTRETIEN ET MAINTENANCE

Les brise-soleils devront être faciles à entretenir. Pour cela, une distance raisonnable entre les lames, 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.

### 4.2.5 - CONFORT VISUEL DE LA PIÈCE

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. À 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.

## 5 - 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  $S$ .

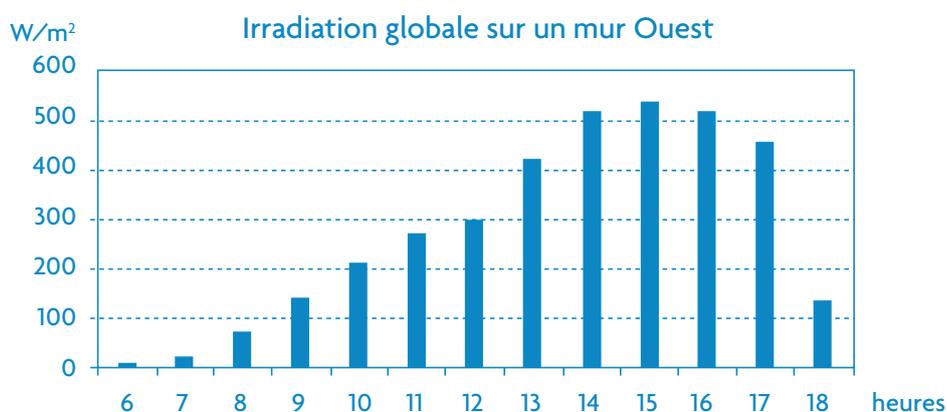
**Le niveau de performance des murs est fixé dans le référentiel FARECO à  $S < S_{max}$  avec les valeurs  $S_{max}$  définies ci-dessous :**

Orientation	$S_{max}$	Orientation	$S_{max}$
Nord	0,08	Sud	0,08
Nord-est	0,07	Sud-ouest	0,07
Est	0,06	Ouest	0,06
Sud-est	0,07	Nord-ouest	0,07

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

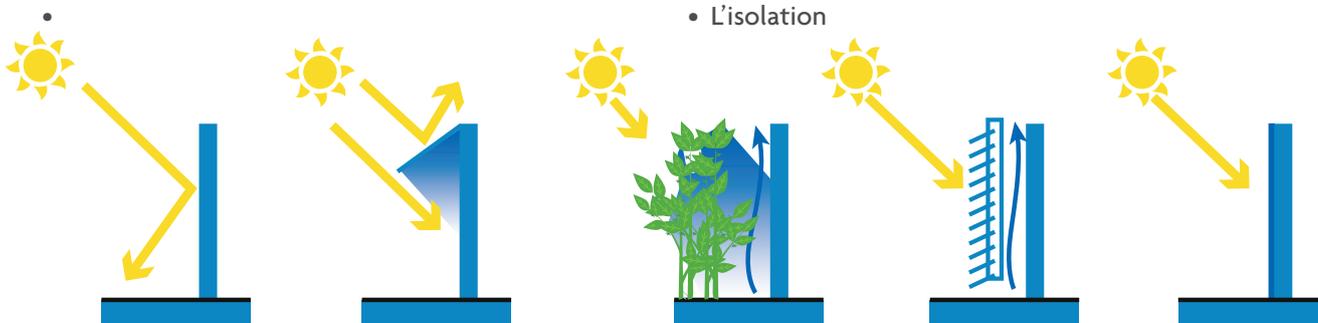


On notera que les murs de teinte sombre et noire ne sont pas évoqués dans les tableaux suivants, car incompatibles avec une démarche d'écoconstruction.

## 5.1 - TYPES DE SOLUTIONS ENVISAGEABLES

Comme pour les baies, trois types de protections solaires sont généralement rencontrés :

- Les protections horizontales
- Les protections verticales, généralement ajourées
- L'isolation



### 5.1.1 - DISPOSITIONS ARCHITECTURALES COURANTES

#### 5.1.1.1 - COULEUR DE MUR CLAIRE

C'est une bonne solution. Cependant, cette couleur n'est pas durable et elle nécessite un complément de protection, en particulier à l'Est et à l'Ouest.

#### 5.1.1.2 - 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. C'est une solution optimale à l'Est et à l'Ouest.

#### 5.1.1.3 - DÉBORD DE TOITURE, AUVENT

Cette solution est à préconiser au Sud et au Nord en particulier, en veillant à ce que ces débords ne viennent pas occulter la lumière naturelle. De plus elle peut aussi faire office de protection à la pluie à l'Est.

#### 5.1.1.4 - ISOLATION

Cette solution n'est pas essentielle au Sud et au Nord lorsque les murs sont clairs.

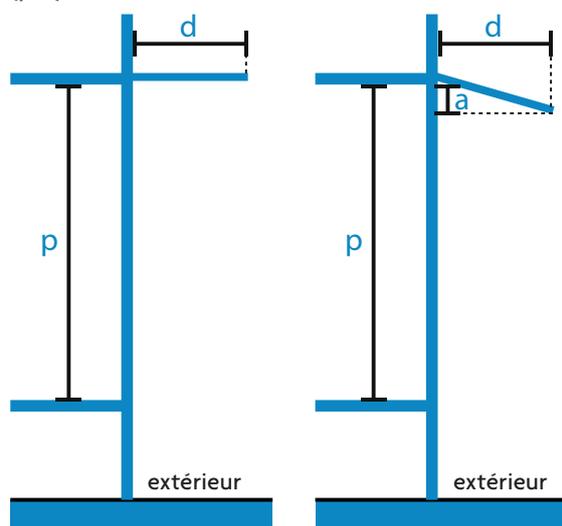
À l'Est et à l'Ouest, quelques centimètres suffisent généralement.

### 5.1.2 - PROTECTION HORIZONTALE

On retrouve ici les mêmes types de protections que pour les ouvrants. Une nouvelle fois, on se base sur la distance "h/d" pour déterminer le facteur solaire de la paroi. Les différentes valeurs de  $C_m$  en fonction de "h/d" sont données en annexe.

Il y a 2 cas de "h/d" pour les murs :

- $p/d$
- $(p-a)/d$



### 5.1.3 - PROTECTION LATÉRALE

Les valeurs de  $C_m$  sont les mêmes que pour les ouvrants. Ces protections sont à utiliser en complément des précédentes.

### 5.1.4 - PROTECTION VERTICALE

Les exigences sont les mêmes que pour les systèmes de brise-soleil à lames à savoir un décalage de la façade à protéger d'au moins 3 % de la hauteur du mur.

### 5.1.5 - ISOLATION DU MUR

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

Béton	240	Fibrociment	25	Bois (résineux)	16
Agglo creux	200	PVC	24	Laine de roche	5
Placoplatre	48	Béton cellulaire	16	Polyuréthane	4

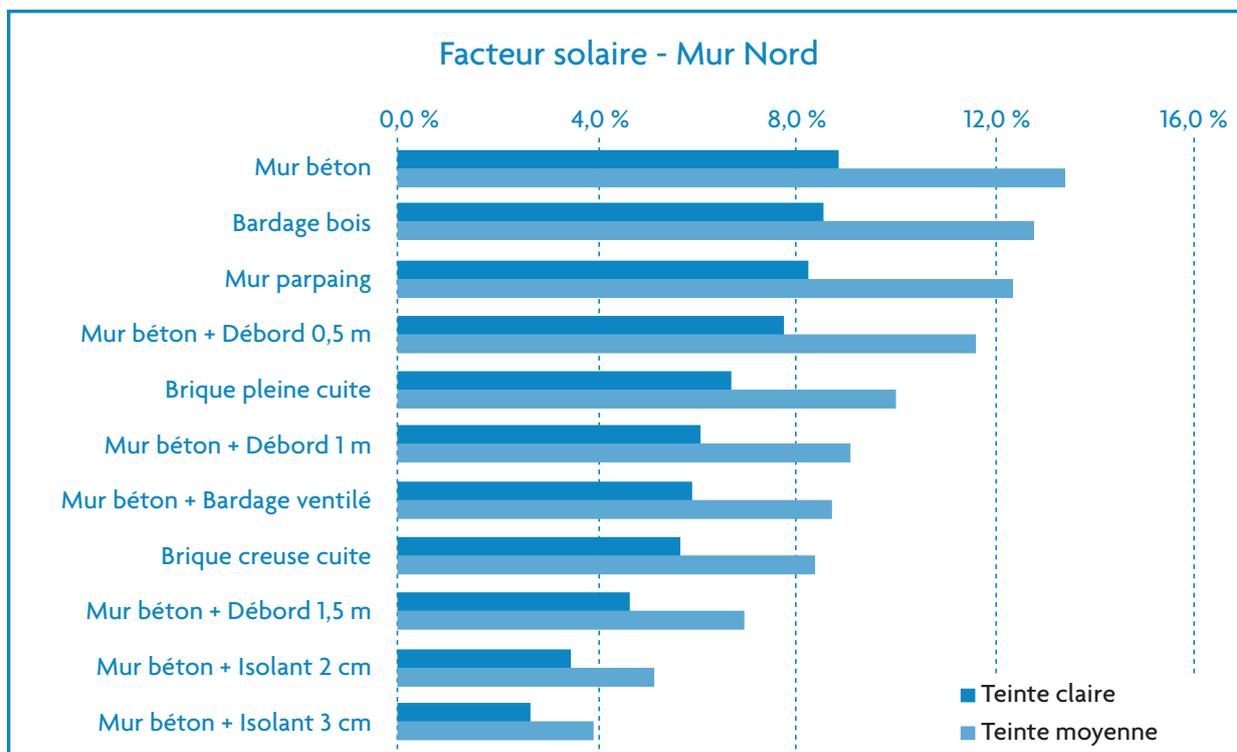
*Valeurs comparées des épaisseurs des matériaux (en cm) nécessaires pour une même résistance à la chaleur.*

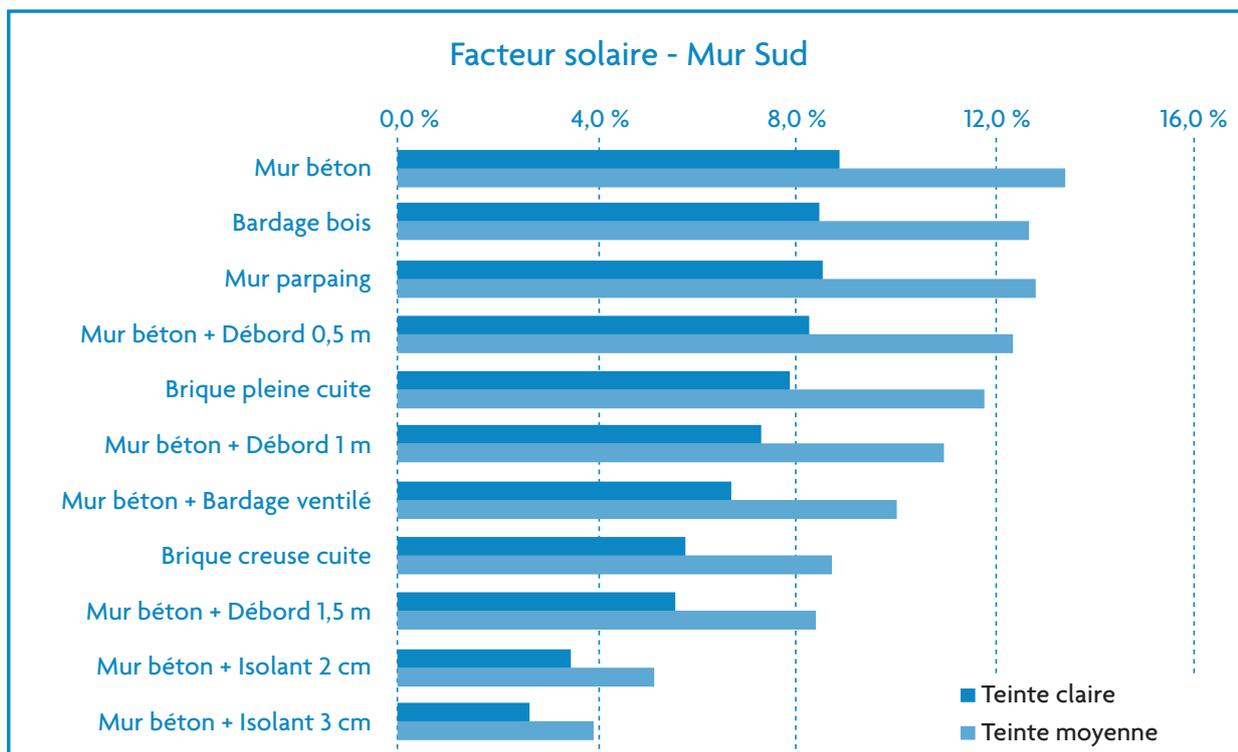
### 5.1.6 - MASQUES LOINTAINS

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

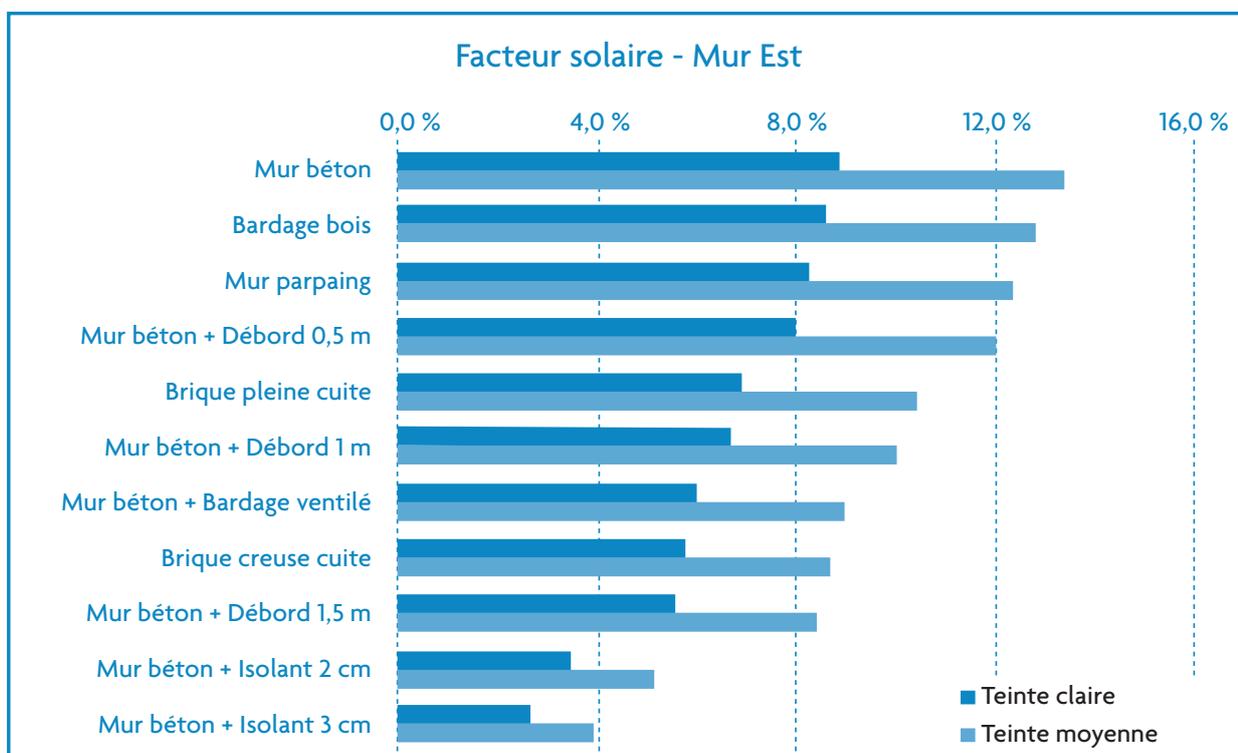
### 5.1.7 - COMPARAISON DES SOLUTIONS

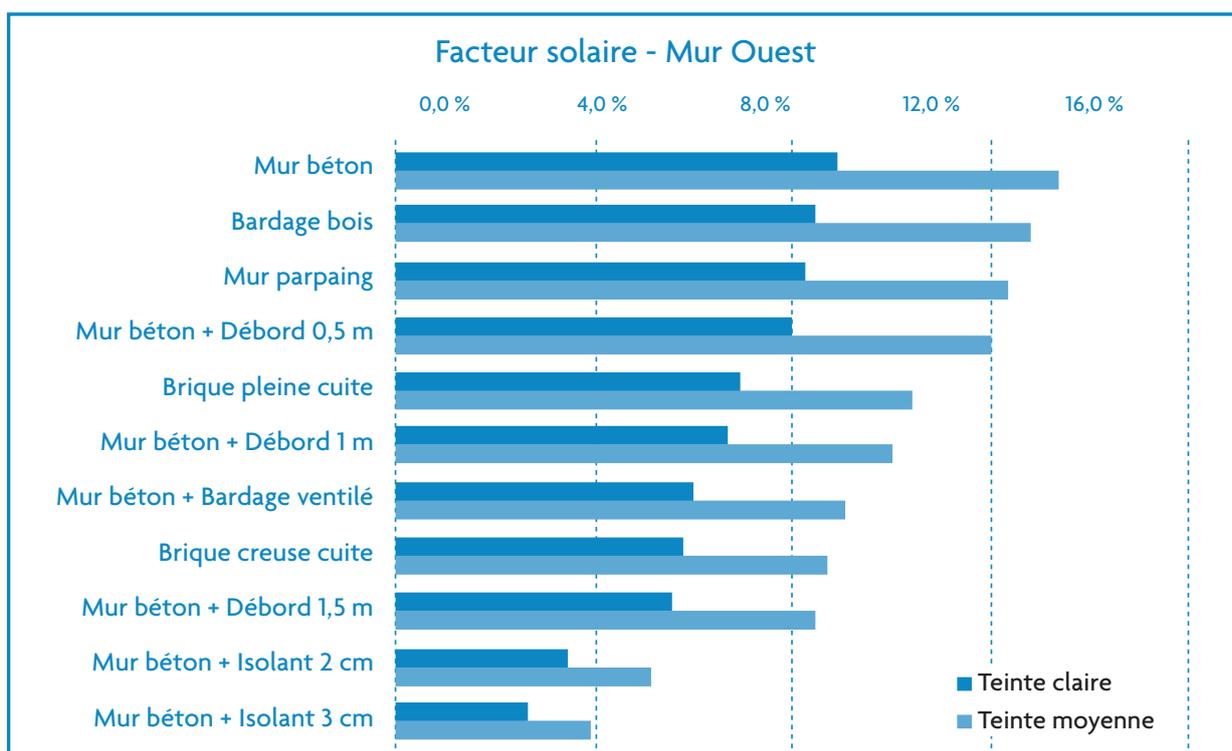
**Les graphiques ci-dessous présentent différentes solutions de protection solaire de murs avec débord de toiture (pour un mur de hauteur 2,5 m) ou sans.**





Compte tenu des seuils du référentiel, le facteur solaire doit être inférieur à 8 %. La solution type au nord consiste à poser une protection soit un débord d'au moins 0,5 m (avec un mur de teinte claire), un bardage ventilé ou une isolation. Par contre au sud, le débord est d'au moins 1 m (du fait du rayonnement diffus), ou bien on peut préférer un bardage ventilé (si teinte claire) ou une isolation.





Compte tenu des seuils du référentiel, le facteur solaire doit être inférieur à 6 %. La solution type la plus évidente est la pose d'une isolation mais un large débord de toit (plus de 1,5 m pour un mur de teinte claire) est aussi acceptable.

## 5.2 - 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.

## 6 - PROTECTION SOLAIRE PAR LE VÉGÉTAL

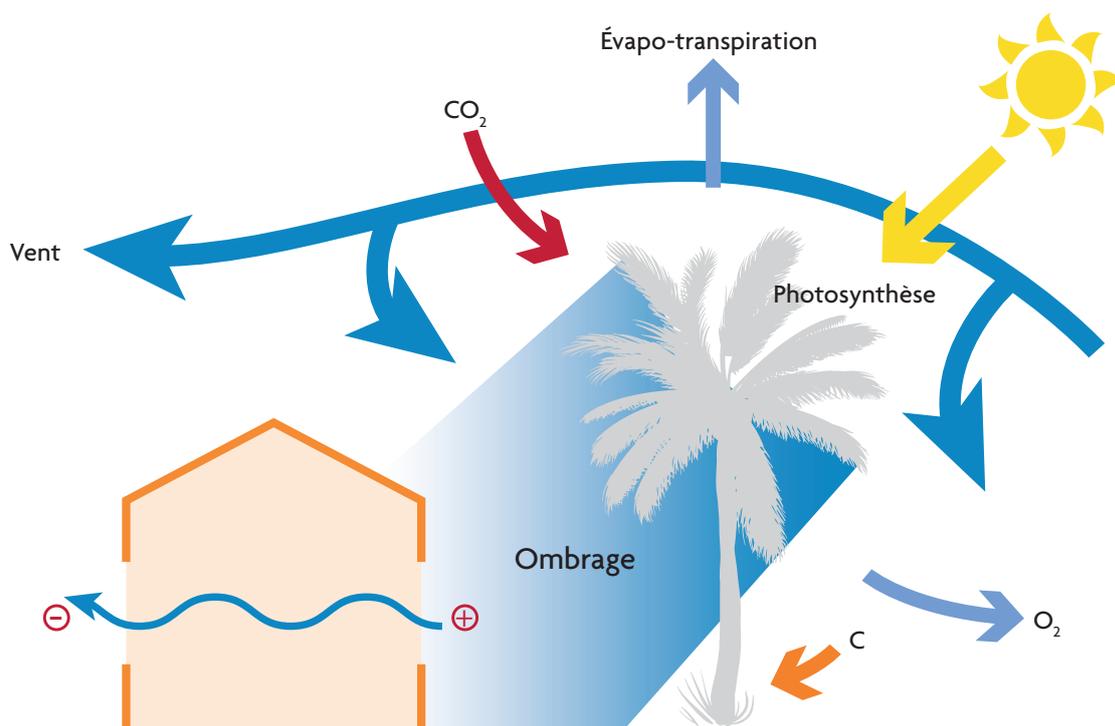
Ce type de protection solaire constitue un dispositif spécifique.

Si son bilan environnemental est optimum, le dispositif peut néanmoins sembler précaire car demandant du temps pour se développer et dépendant de l'entretien qui sera apporté: la viabilité et la croissance des végétaux est fonction des conditions de substrat, d'humidité, etc. et reste donc relativement difficile à

garantir après la livraison du bâtiment, sauf engagement fort de l'exploitant.

Il n'en reste pas moins que cette solution a de quoi séduire car elle est porteuse de:

- Biodiversité,
- Rafraîchissement naturel par évapotranspiration de la végétation
- Embellissement.



(Source: OBSERV'ER, guide de l'architecture bioclimatique)

## 6.1 - VÉGÉTALISATION 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 disposition est importante pour les espaces en ventilation naturelle afin de disposer de zones tampon où l'air n'est pas surchauffé avant d'être ventilé.**

Cette dernière solution est particulièrement adaptée aux constructions en zone urbaine. La végétalisation des abords permet de retarder la diffusion des eaux pluviales, et donc de diminuer les risques d'inondation. Cela peut notamment conduire à un plus juste dimensionnement des réseaux d'évacuation.

**Ainsi le référentiel FAREco vise une végétalisation des espaces extérieurs supérieure ou égale à 10 % des surfaces extérieures de la parcelle**

Cette végétalisation peut être composée de pelouse, d'arbustes, d'arbres mais également de revêtements type EVERGREEN qui peuvent être mis en œuvre sur les parkings en substitution du bitume.



Revêtement de sol de type Evergreen

Les mesures de températures effectuées simultanément en ville, milieu minéralisé, et à la campagne, milieu végétalisé, montrent une différence de 4°C en moyenne qui s'explique par la protection solaire (du sol et des parois à proximité) et l'effet évaporatif de la végétation.

L'intérêt est donc double : pour les espaces intérieurs en ventilation naturelle mais aussi pour le confort extérieur. La végétation limite donc les îlots de chaleur. Selon les cas de figure, un arbre constitue donc une alternative à un voire plusieurs climatiseurs.

De plus la végétation contribue à la biodiversité et apporte un embellissement paysager.

### 6.2 - TOITURE VÉGÉTALISÉE

Le principe est d'utiliser une dalle béton comme base à un système végétal composé de plusieurs couches :

- Un substrat dans lequel seront installés les végétaux
- Une couche filtrante anti contaminante
- Une couche drainante pour éliminer l'excès d'eau
- Un film anti-racines pour éviter toute dégradation éventuelle
- Un isolant pour atteindre le niveau de performance de FAREco

Les épaisseurs minimales (en cm) d'isolant à mettre en place, sous réserve d'une végétation apportant un ombrage toute l'année, sont définies dans le tableau suivant :

Type d'isolant* / Teinte de toiture	Toiture végétalisée (avec 30 cm de terre et une végétation persistante)
Polyuréthane ou polystyrène extrudé	3
Polystyrène expansé ou laine de verre/ de roche	4
Perlite	5

\*Voir la banque de donnée des matériaux en annexe

La toiture végétalisée est une solution possible sous réserve de bien appréhender ses sujétions :

- Du fait de la masse de substrat, des coûts de structure plus élevés

- Le choix d'espèces végétales qui, pour être pérennes, doivent être adaptées aux conditions locales
- La nécessité d'un entretien et donc son accessibilité (avec dispositifs de sécurité)
- Une réalisation dans les règles de l'art notamment pour l'étanchéité de la dalle support et le drainage.



Exemple de toiture végétalisée au Vanira Lodge de Teahupo'o

### 6.3 - PROTECTION SOLAIRE VÉGÉTALE DES FAÇADES

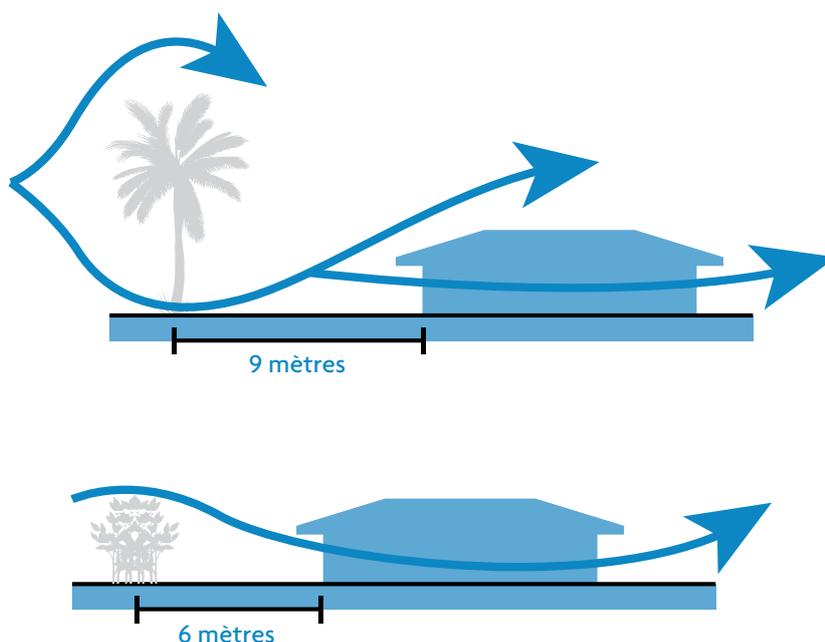
La meilleure végétation pour les **façades Sud et Nord** est une végétation qui se développe horizontalement sur des supports type treillis, tonnelle ou bien des arbres hauts s'ils sont suffisamment près du bâtiment.

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.

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.



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

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

## EN RÉSUMÉ

La maîtrise des apports solaires doit :

- 1 - Être réalisée par une protection solaire systématique pour la toiture, les baies et les murs ;
- 2 - Être calculée avec rigueur car elle est très rentable vis-à-vis du confort thermique ou des consommations de climatisation et qu'un oubli expose à des surchauffes, même dans une pièce climatisée, un mur non protégé devient chaud et génère alors un inconfort ;
- 3 - S'adapter à l'usage qui est fait, par exemple dans une chambre être rendue compatible avec l'éclairage naturel ;
- 4 - Être traitée comme un allié de l'architecture au regard de l'animation de la façade que la protection solaire apporte et de la variété des solutions possibles ;
- 5 - S'appuyer sur des environnements végétalisés notamment en milieu urbain pour lutter contre les îlots de chaleur.



# RAFRAÎCHISSEMENT DES LOCAUX

# 3

<b>1 - Stratégie de confort.....</b>	<b>60</b>
1.1 - Le confort thermique.....	60
1.2 - Critères de choix entre ventilation naturelle et climatisation.....	61
1.3 - Bâtiment réversible .....	61
<b>2 - Ventilation naturelle traversante .....</b>	<b>62</b>
2.1 - Pression dépression.....	63
2.2 - Potentiel de ventilation.....	64
2.3 - Orientation des bâtiments .....	64
2.4 - Espaces traversants.....	64
2.5 - Porosité extérieure .....	67
2.6 - Porosité intérieure .....	68
<b>3 - Brasseur d'air .....</b>	<b>69</b>
3.1 - Éclairage et brasseur d'air .....	70
3.2 - Hauteur sous plafond et brasseur d'air.....	70
3.3 - Mode d'intermittence, variateur de vitesse?.....	70
<b>4 - Climatisation performante .....</b>	<b>71</b>
4.1 - Le programme.....	71
4.2 - Le bâti.....	71
4.3 - Le dimensionnement.....	72
4.4 - Le choix du système.....	72
4.5 - La mise en œuvre .....	73
4.6 - Les réglages.....	74
4.7 - La maintenance.....	74
<b>5 - Ventilation hygiénique.....</b>	<b>74</b>
5.1 - La réglementation .....	75
5.2 - Les solutions.....	75
5.3 - La VMC .....	75

## 1 - STRATÉGIE DE CONFORT

### AVERTISSEMENT

La protection solaire et la ventilation naturelle sont les deux piliers de la conception bioclimatique en milieu tropical humide. Toutefois, au vu des besoins et des contraintes, bien que prioritaire, la ventilation naturelle n'est pas toujours possible.

Arbitrer la meilleure solution et s'assurer des moyens nécessaires à un rafraîchissement des espaces du bâtiment est le but de ce chapitre, que la meilleure solution soit la ventilation naturelle ou la climatisation performante.

En milieu tropical humide, il existe deux grandes stratégies de confort thermique: l'une basée sur la ventilation naturelle (avec un éventuel complément par brasseur d'air), l'autre sur la climatisation.

Il est important de bien analyser les besoins des utilisateurs (les conditions d'ambiance) et contraintes de chacune des stratégies (coût, intégration, ventilation, bruit, etc.) pour faire le bon choix.

Climatiser peut-être nécessaire pour des questions d'usage, des exigences techniques ou à cause de conditions particulières liées au site (nuisance, potentiel de vent, etc.). C'est de l'analyse rationnelle de ces éléments que doit venir la décision.

Concernant les conditions favorables ou non à la ventilation naturelle, ci-dessous sont définis les critères de choix possibles liés à l'urbanisme existant, aux conditions climatiques locales ou à certains aspects architecturaux.

De plus si une climatisation est retenue, elle doit bien entendu être performante et respecter certains niveaux d'exigences précisées plus bas.

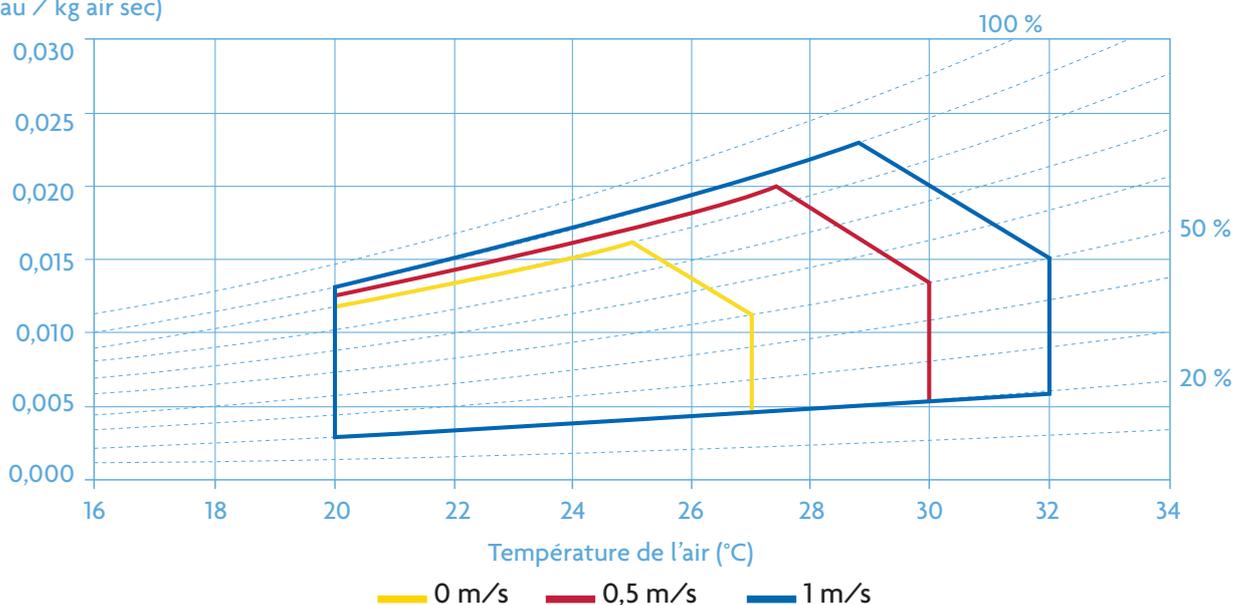
### 1.1 - LE CONFORT THERMIQUE

Le confort thermique d'un individu dépend principalement des conditions climatiques (température de l'air, température des parois, hygrométrie, vitesse d'air), de son métabolisme (selon l'activité) et de son habillement.

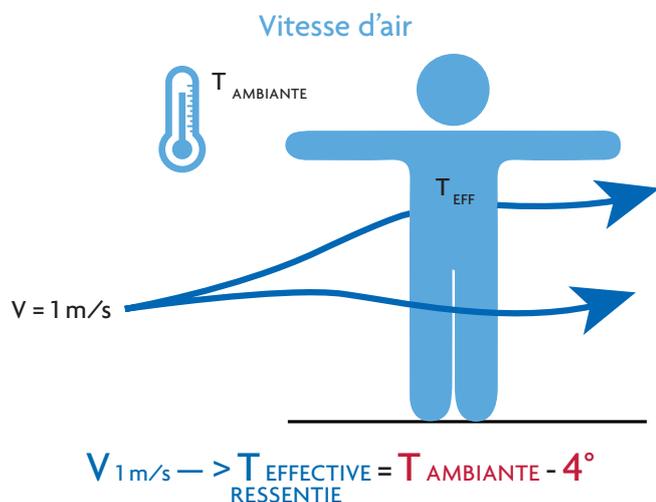
Plusieurs indices de confort calculables ont été développés (y compris pour tenir compte des variations d'un individu à un autre) sur la base d'études expérimentales parfois très complexes. C'est la méthode du polygone de confort qui est souvent utilisée car elle présente de façon simple la zone de température / hygrométrie compatible avec un bon confort thermique: de 20 à 27 °C pour 20 à 80 % d'hygrométrie représentée sur le diagramme de l'air humide ci-dessous.

Humidité Spécifique  
(Kg eau / kg air sec)

Diagramme de GIVONI



De plus, avec une ventilation, le polygone de confort peut être étendu: jusqu'à 32 °C ou 90 % d'hygrométrie pour une vitesse d'air de 1 m/s qui équivaut à moins 4 °C ressenti.



## 1.2 - CRITÈRES DE CHOIX ENTRE VENTILATION NATURELLE ET CLIMATISATION

On peut identifier trois critères:

- Les contraintes urbanistiques (une parcelle mal exposée, densité urbaine, bâtiments existants faisant obstacle au vent, etc.)
- Le potentiel de ventilation du site (intensité, fréquence et direction de vent)
- Les éventuelles nuisances acoustiques (ex. réseau routier à forte circulation), olfactives, etc.

Une approche méthodologique est proposée dans le tableau ci-dessous.

**Un projet FAREco bénéficiant de conditions favorables doit fonctionner en ventilation naturelle.**

	Potentiel de vent élevé ou zone privilégiée	Potentiel de vent moyen	Potentiel de vent faible ou zone défavorable
	Ex. Zones côtières exposées au vent, zones d'altitude <sup>(1)</sup>	Ex. Zones de campagne et semi-urbaines, zones côtières sous le vent <sup>(2)</sup>	Ex. Zones urbaines <sup>(3)</sup>
<b>Orientation aux vents dominants</b>	Ventilation naturelle	Ventilation naturelle	Ventilation naturelle ou climatisation tolérée
<b>Orientation à plus de 45° du vent dominant</b>	Ventilation naturelle ou climatisation tolérée	Climatisation tolérée	Climatisation tolérée

(1) Le milieu rural est caractérisé par la présence majoritaire de bâtiments à rez-de-chaussée ou R +1 peu rapprochés les uns des autres avec des espaces extérieurs très nombreux. Exemple: Paea, Papara, etc. On inclura aussi les zones d'altitude qui sont, à partir de 200 m, bien exposées au vent.

(2) Le milieu semi-urbain est caractérisé par la présence d'immeubles avec peu d'étages (< R +2) plus ou moins proches laissant fréquemment la place pour des aménagements extérieurs (parkings, jardins, etc.). Exemple: Faaa, Pirae, Punaauia, centre-ville de Taravao, etc.

(3) Le milieu urbain dense est caractérisé par la présence d'immeubles à étages (> R +2) regroupés en blocs avec peu d'espaces extérieurs. Exemple: centre-ville de Papeete

## 1.3 - BÂTIMENT RÉVERSIBLE

Partant du constat que, selon les îles de la Polynésie française, les conditions climatiques peuvent être très variables au cours de l'année, nécessitant moins ou pas de besoin en rafraîchissement, l'intérêt de bâtiments réversibles est à envisager.

Un bâtiment réversible est un bâtiment offrant la souplesse de pouvoir être bioclimatique ou bien climatisable si besoin.

Ce concept peut aussi se limiter à certains locaux: salle de réunion, salle d'attente, etc.

Dans cet objectif, la principale adaptation réside dans la conception des ouvrants qui doivent pouvoir

tantôt assurer la ventilation naturelle et a contrario, en position fermée, avoir une classe d'étanchéité de niveau A2. De plus un système mécanique pour le renouvellement de l'air neuf est à prévoir asservi au fonctionnement de la climatisation. Les autres dispositions techniques doivent répondre à la conception bioclimatique en ventilation naturelle (orientation, porosité, etc.).

**Pour un bâtiment réversible (en tout ou partie), l'exigence de FAREco est donc d'asservir le fonctionnement de la climatisation à la fermeture effective des ouvrants afin d'éviter les dérives par inadvertance: le fonctionnement de la climatisation fenêtres ouvertes.**

Néanmoins ce concept ne doit pas être généralisé car cette flexibilité a un coût :

- Financier, avec des ouvrants plus coûteux car à la fois étanches et plus grands pour satisfaire les prescriptions pour la climatisation et la conception bioclimatique, et l'asservissement
- Technique puisque l'orientation aux vents dominants peut être défavorable à la protection

solaire; ces compromis réduisent la performance énergétique

**Aussi cette disposition n'est préconisée dans la démarche FAREco que pour l'hôtellerie et le tertiaire (où des gains substantiels sont possibles) mais pas dans l'enseignement où la priorité reste une conception poussée en ventilation naturelle.**

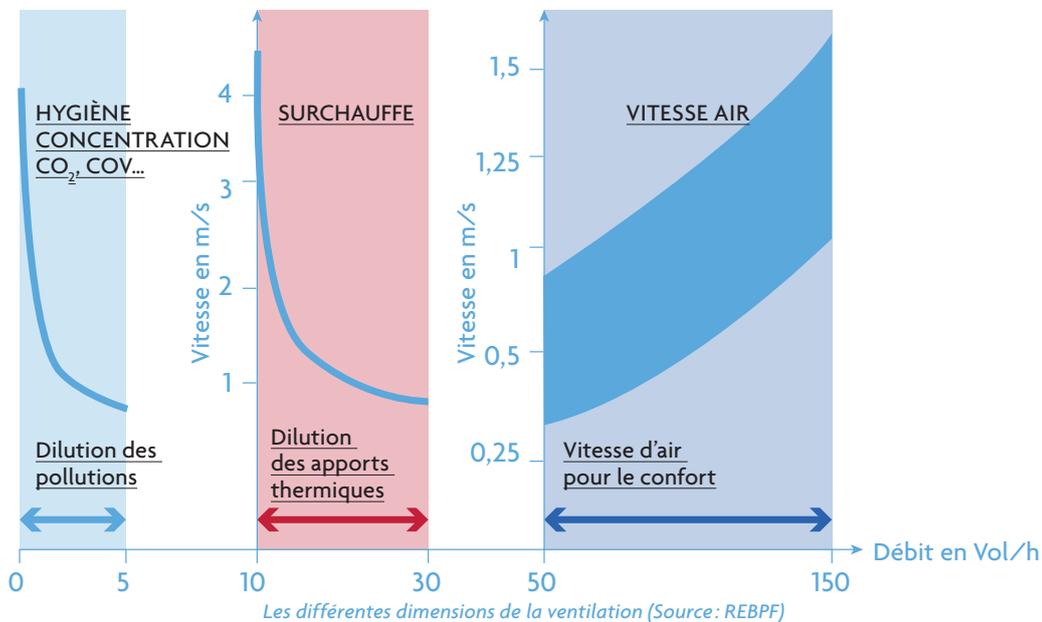
## 2 - VENTILATION NATURELLE TRAVERSANTE

La ventilation naturelle présente plusieurs avantages; elle permet :

- Un renouvellement hygiénique de l'air
- L'évacuation de la chaleur accumulée au long de la

journée (apports du soleil, des occupants, des appareils électriques)

- Une sensation de rafraîchissement en termes de ressenti (voir ci-avant).

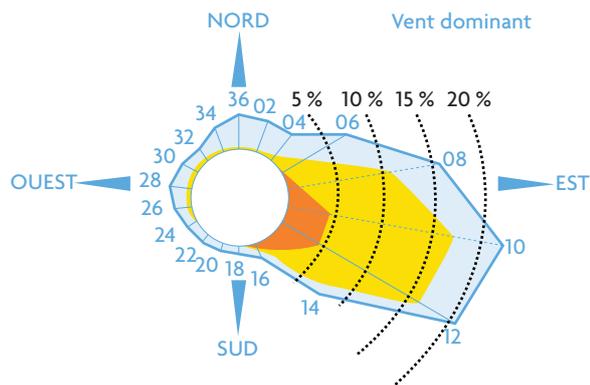
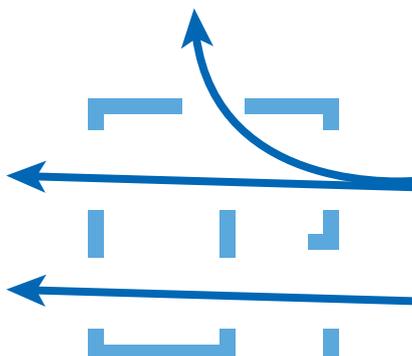


Le degré de ventilation naturelle d'un bâtiment dépend de :

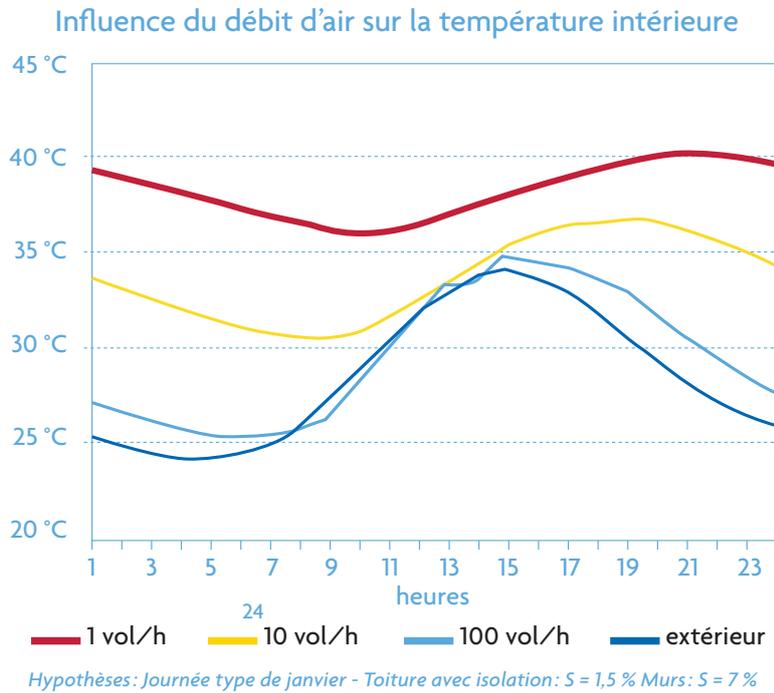
- Une orientation correcte vis-à-vis du vent dominant
- La possibilité de pouvoir faire circuler l'air d'une façade à l'autre sans rencontrer d'obstacle; pour

générer le « courant d'air » le bâtiment doit donc être traversant.

- Le niveau de perméabilité du bâti, on parle de porosité d'une façade, c'est-à-dire du pourcentage d'ouvertures par rapport à la surface totale du mur.



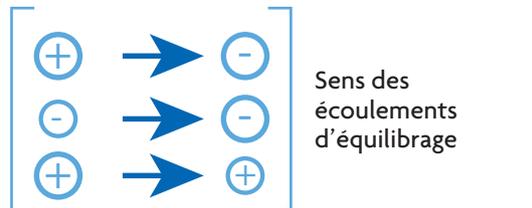
Le graphique ci-dessous présente une étude de cas type pour illustrer l'influence du débit d'air sur la température intérieure.



Une stratégie de « vitesse d'air » à 100 volumes par heures permet de limiter la surchauffe.

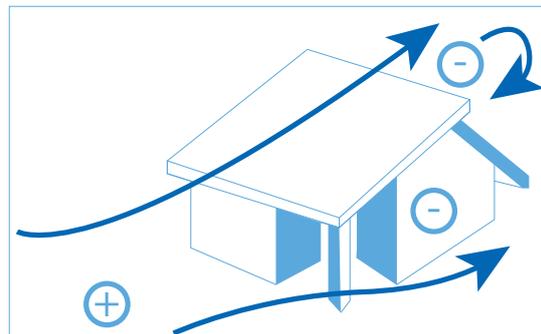
## 2.1 - PRESSION DÉPRESSION

À l'échelle géographique, les différences de températures (entre la mer et la terre par exemple) créent des différences de densité de l'air et donc des différences de pression qui induisent des déplacements d'air. Ainsi l'air se déplace des hautes pressions vers les basses pressions.

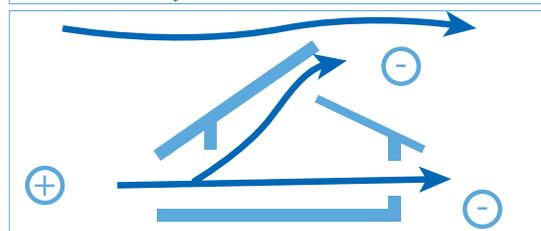


À l'échelle d'un bâtiment, tout obstacle au flux d'air induit une surpression du côté au vent et une dépression du côté sous le vent.

Ainsi en l'absence d'ouverture, le flux d'air contournera l'obstacle allant de la haute pression vers la basse pression. Mais si une ouverture à travers l'obstacle est créée alors, parce que le chemin est plus court, elle induira un courant d'air à l'intérieur du bâtiment.



À noter qu'une orientation correcte bonifie le phénomène en accentuant la différence de pression entre les 2 faces.



Source: CSTB Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide

## 2.2 - POTENTIEL DE VENTILATION

Pour atteindre un niveau de confort élevé avec une conception bioclimatique, l'implantation doit exploiter au maximum le potentiel de vent du site.

Pour connaître le potentiel de vent du site, idéalement, il faut une campagne de mesure de la vitesse et direction du vent au moins pendant la saison chaude. Cependant, à défaut, il est déjà possible d'effectuer une analyse de site poussée sur la base des données de Météo France en tenant compte de la topographie et de l'urbanisme.

En cas de doute, il est recommandé alors d'envisager une campagne de mesure plus ou moins poussée (mat de mesures en continu ou relevé ponctuel à minima pendant la période d'occupation) mais adaptée aux enjeux du projet.

Selon le « Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide » (CSTB / 1992), on peut calculer l'indicateur F qui correspond au pourcentage du temps pendant lequel la vitesse du vent dépasse **1 m/s à 1,5 m ou bien 2,5 m/s à 10 m** de haut et définir ainsi trois seuils de potentiel de ventilation :

- $F < 15\%$ , correspondant à un potentiel faible
- $15\% < F < 50\%$  pour un potentiel moyen
- $F > 50\%$  pour un potentiel élevé

Ainsi dans le cas d'un potentiel faible, il faudra renoncer à une conception privilégiant la ventilation naturelle seule. Dans le cas intermédiaire, il faudra rechercher une conception thermique poussée avec brasseurs d'air.

## 2.3 - ORIENTATION DES BÂTIMENTS

Pour atteindre des objectifs de confort élevés à un coût maîtrisé, **la connaissance, le choix et l'exploitation des atouts et contraintes** d'un site sont essentiels. On peut citer :

- Les contraintes urbaines et réglementaires
- La topographie
- L'exposition et l'orientation aux vents dominants
- L'exposition au soleil
- Les nuisances ou atouts visuels, acoustiques, olfactives etc.
- La biodiversité...

Certains éléments peuvent conduire à des choix contradictoires, telle que l'orientation aux vents

dominants et l'optimisation foncière compte tenu de la forme de la parcelle. Aussi faut-il rechercher les meilleures compatibilités entre différentes solutions d'implantation. Trouver des compromis...

La direction des vents dominants peut varier selon les sites; cependant, dans le cas général, on peut distinguer deux saisons climatiques en Polynésie Française :

- L'hiver austral, saison « fraîche » et sèche, de mai à octobre. Les alizés sont de Sud Est (Mara'amu).
- L'été austral, saison « chaude » et humide, de novembre à avril. Les alizés sont de Nord Est (Haapiti et le Pahaapiti).

**Dans un objectif de ventilation de confort, particulièrement utile en saison chaude, dans le cas général, on devra donc privilégier une orientation aux vents dominants de secteur nord-est (avec une tolérance de plus ou moins 45°).**

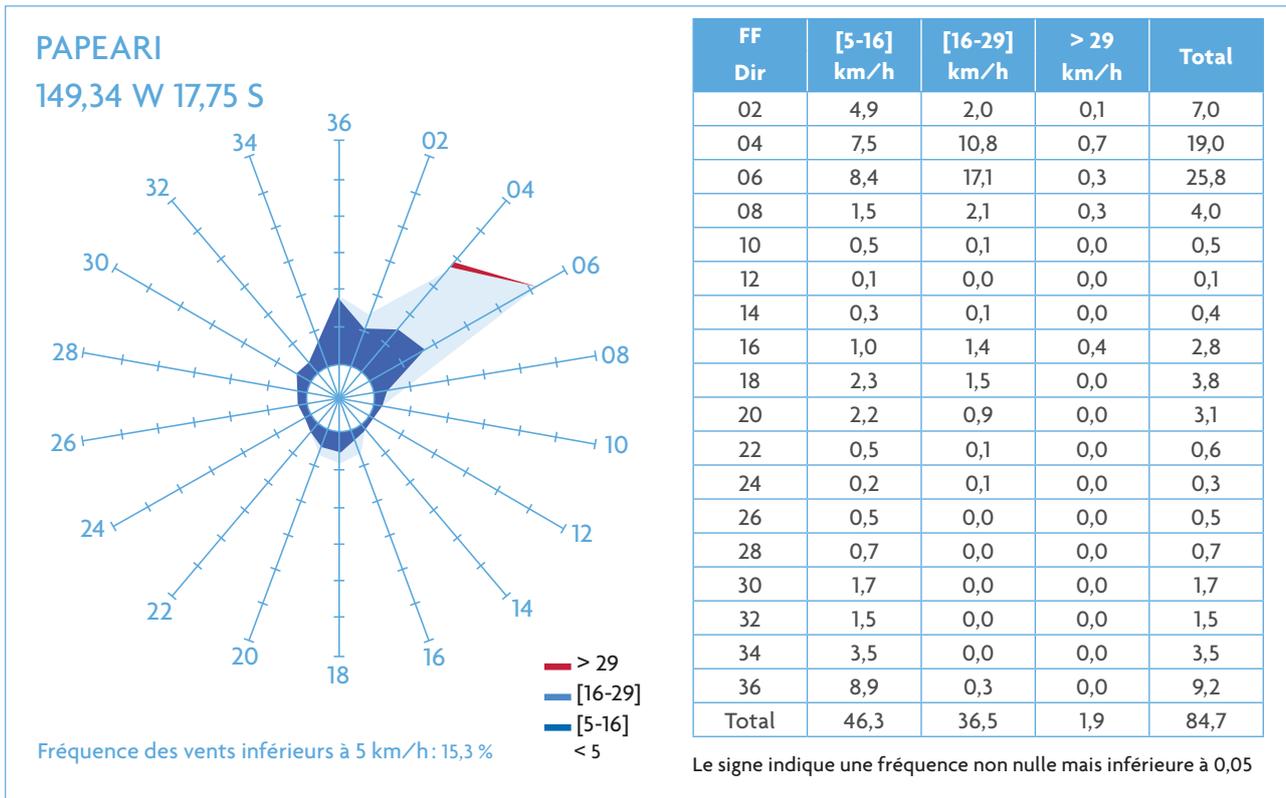
**Toute étude spécifique justifiant d'une direction du vent particulière au site peut néanmoins se substituer à cette prescription.**

## 2.4 - ESPACES TRAVERSANTS

Le bâtiment est traversant lorsque chaque niveau ou local est complètement traversant c'est-à-dire possède des ouvertures (fenêtres battantes ou coulissantes, "jalousies", portes-fenêtres, portes, baies spécifiques de ventilation) sur au moins deux façades opposées.

Cette disposition importante a un fort impact sur la forme, l'agencement des pièces, l'utilisation du bâtiment et peut parfois trouver des obstacles comme la réglementation incendie par exemple. En conséquence, certaines souplesses peuvent être introduites :

- Rendre traversante en priorité les pièces principales (possibilité d'exclure les pièces de service, espaces techniques, couloirs, pièces humides, rangements, etc.)
- Utiliser les façades adjacentes mais avec des ouvertures plus grandes si impossibilité d'une ouverture en façade opposée,
- Créer des ventilations indépendantes par zone de même usage pour éviter les conflits d'usage, réduire les nuisances (pièces humides, cuisine, toilettes sous le vent).



Rose des vents de Papeari et fréquences de vent (Source: Programme technique École Muturea – Climat)

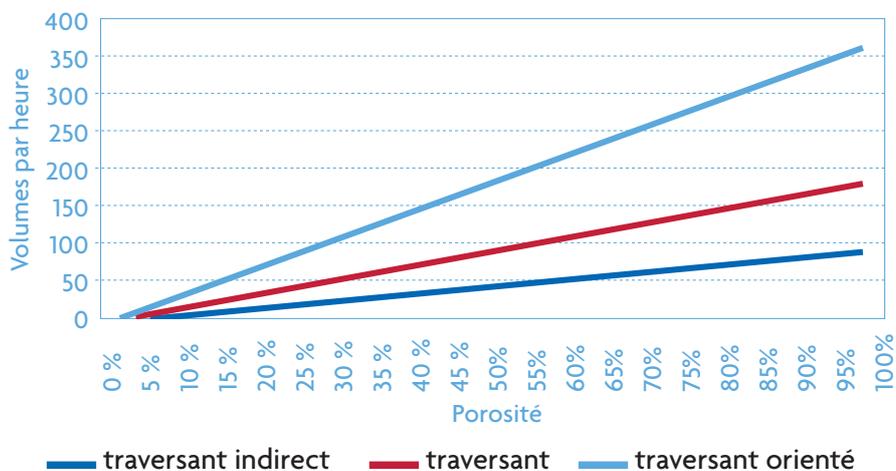
**L'exigence du référentiel FAREco nécessite donc de repenser l'agencement des pièces pour obtenir un bâtiment traversant.**

De plus dans la mesure du possible, en cas d'espaces à vocations différentes, la ventilation naturelle doit être pensée de manière à ne pas générer de nuisance d'un espace vis-à-vis d'un autre (odeurs de cuisine,

bruit, etc.). On parle donc de zones homogènes de ventilation (ZHV) qui ont donc obligatoirement au moins 2 parois extérieures et opposées ou adjacentes.

Le graphique ci-dessous présente une étude de cas type de l'influence de l'orientation au vent et du traversant sur le débit d'air.

Influence de la conception sur le débit d'air



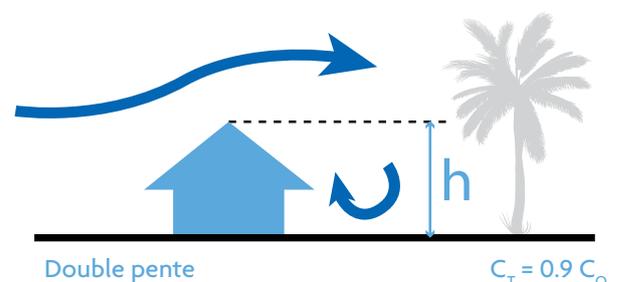
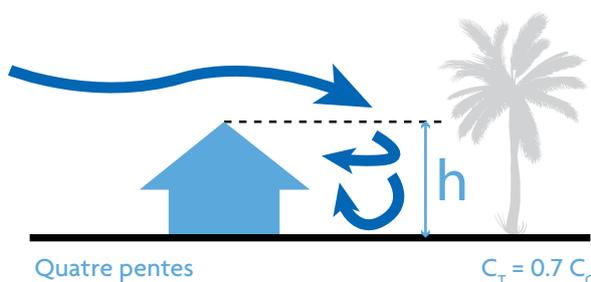
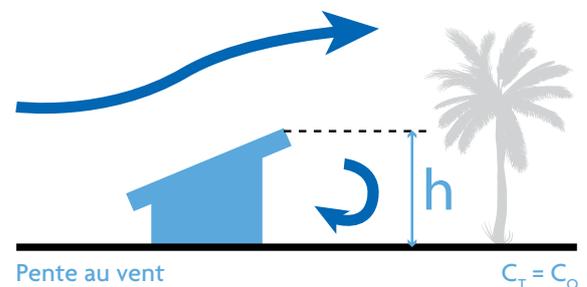
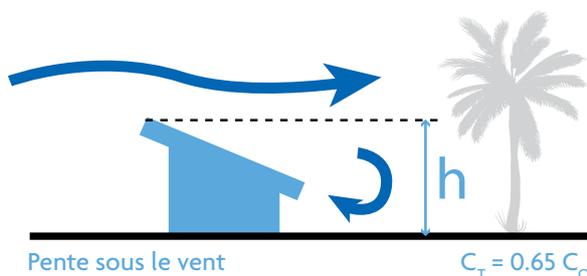
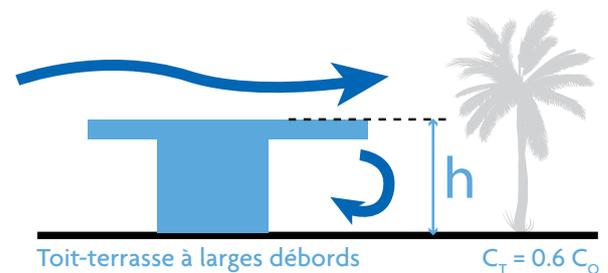
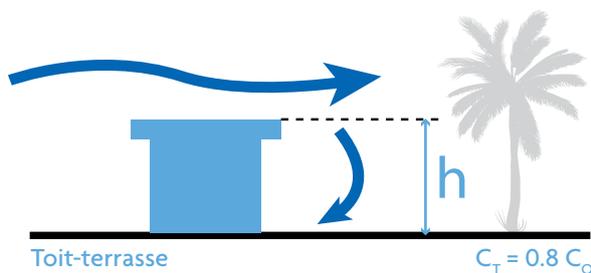
Le traversant indirect fait référence à 2 façades adjacentes, le traversant à 2 façades opposées, le traversant orienté à une conception traversante avec une exposition dans l'axe des vents dominants.

Pour atteindre 100 volumes par heure, 25 % de porosité sont suffisants avec une orientation et un traversant mais il faut près de 50 % de porosité avec un traversant seul.

**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 ne l'empêchent pas. On peut considérer que leur mise en place réduit la ventilation de 10 à 15 %. Ainsi, 1 m<sup>2</sup> de fenêtre avec moustiquaire ne représente en réalité qu'un équivalent de 0,9 m<sup>2</sup> d'ouverture
- Certaines formes architecturales sont plus ou moins favorables à la ventilation naturelle. Par exemple, une distance supérieure à 10 voire 12 m entre la façade au vent et celle sous le vent diminue sensiblement le potentiel de ventilation naturelle traversante

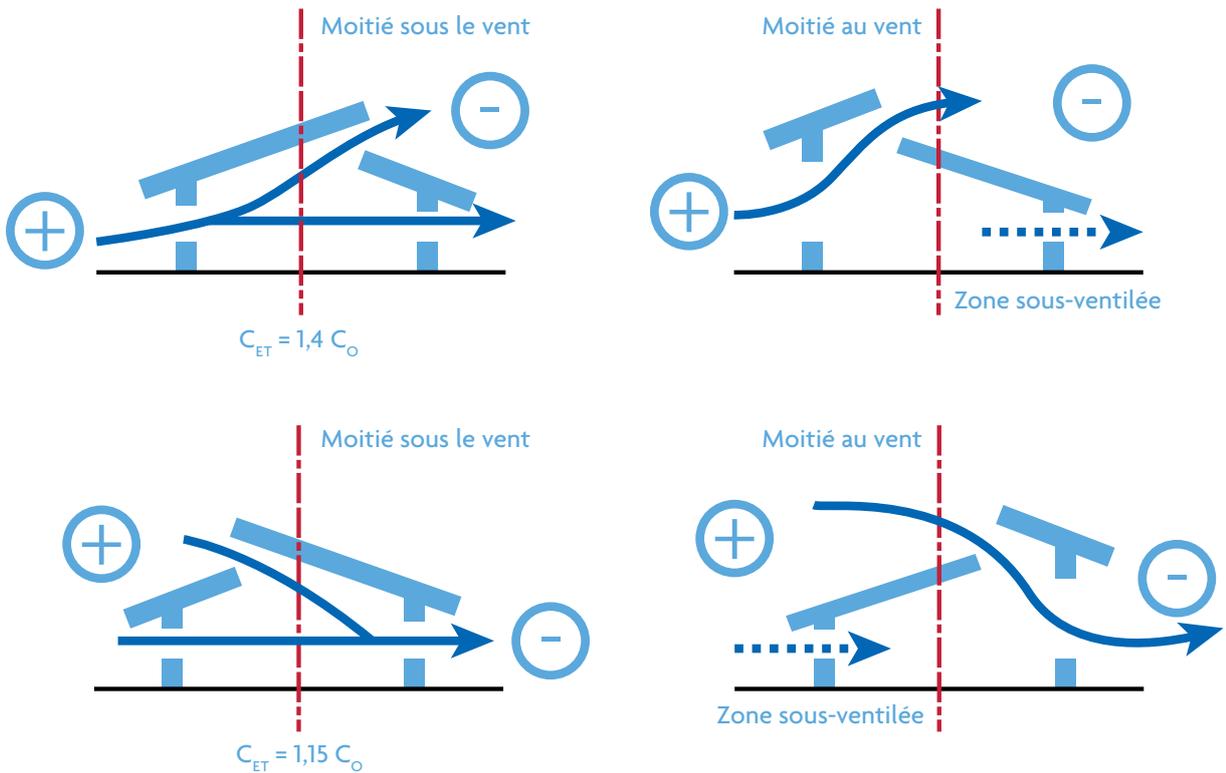


$C_0$  est le coefficient de ventilation naturelle de référence

$C_T$  est le coefficient de ventilation naturelle avec une toiture fermée

$C_{ET}$  est le coefficient de ventilation naturelle avec une toiture ouverte

Influence de la forme de la toiture sur la ventilation (Source: CSTB Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide)



Influence de la position d'une écope de toiture (Source: CSTB Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide)

## 2.5 - POROSITÉ EXTÉRIURE

Sous réserve d'une conception traversante, c'est ensuite le critère de la porosité qui va déterminer l'importance de la ventilation, la vitesse du flux d'air à l'intérieur du bâtiment.

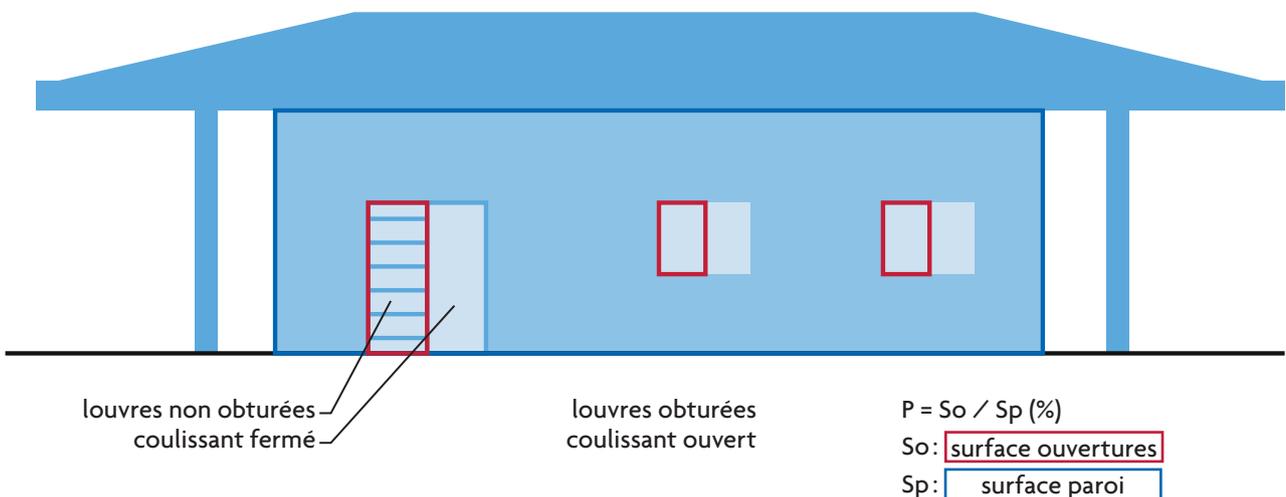
On peut définir la porosité d'une paroi par la formule:

$$P = S_o / S_p$$

Avec:

- $S_p$  la surface de la paroi
- $S_o$  la surface d'ouverture de la paroi (ou la somme des surfaces d'ouverture)

Exemple: une fenêtre de 1 m<sup>2</sup> sur un mur de 10 m<sup>2</sup>,  $P = 1/10$  soit 10 %



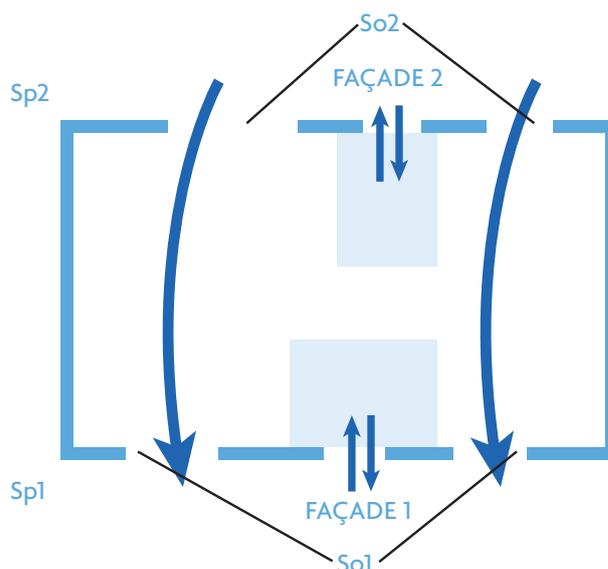
La porosité extérieure qui concerne la paroi au vent et la paroi sous le vent est définie par la formule :

$$P = \frac{So1}{Sp} \text{ et } P = \frac{So2}{Sp}$$

$$\text{avec } Sp = \frac{Sp1 + Sp2}{2}$$

Avec :

- Sp la surface moyenne de paroi
- So1 et So2 la surface d'ouverture respectivement de la paroi 1 et de la paroi 2



Cependant, dans le cas d'ouvertures non pas sur des façades opposées mais adjacentes, ou bien pour prendre en compte des ouvrants supplémentaires, un calcul par cônes de ventilation peut se substituer au calcul de porosité moyenne et donc apporter plus de flexibilité dans la conception.

D'autre part les exigences de porosité sont à moduler en fonction du contexte au moyen de coefficients résumés dans le tableau ci-dessous.

	Potentiel de vent élevé ou zone privilégiée		Potentiel de vent moyen		Potentiel de vent faible ou zone défavorable	
	oui	non	oui	non	oui	non
<b>Orientation favorable des façades</b>	oui	non	oui	non	oui	non
<b>Coefficient de pondération</b>	0,8	1	1	1,2	1,2	1,4
<b>Porosité Préf</b>	20 %	25 %	25 %	30 %	30 %	35 %

Les coefficients de pondération oscillent donc entre 0,8 et 1,4, en conséquence de quoi **les exigences de porosité Préf varient de 20 à 35 % en se basant sur une porosité de base de 25 %.**

**Un projet FAREco doit avoir  $P1 > Préf$  et  $P2 > Préf$  pour toute pièce principale.**

### 2.6 - POROSITÉ INTÉRIEURE

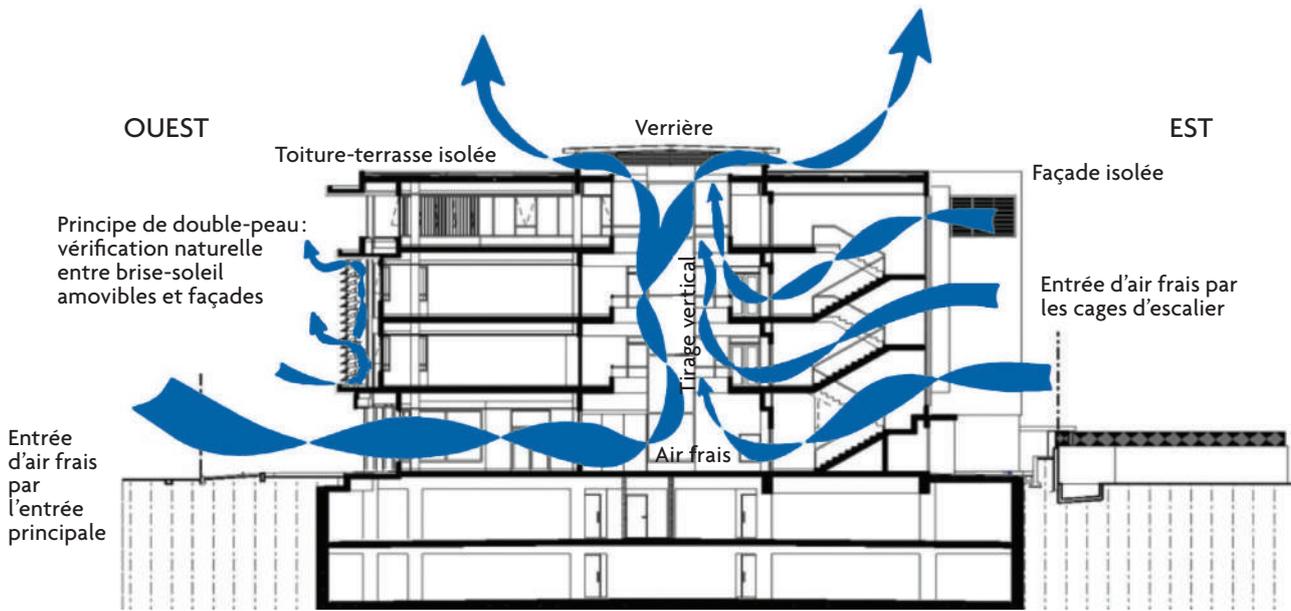
La porosité extérieure peut être sans effet si le flux d'air est freiné par de petites ouvertures dans les cloisons intérieures, c'est-à-dire une faible porosité des parois intérieures des zones de ventilation.

Aussi pour chaque zone homogène de ventilation, la surface des ouvertures intérieures  $So_{int}$ ,

perpendiculaire au sens du flux, doit être supérieure ou égale à la surface des ouvrants de la paroi extérieure  $So_{ext}$  qui a la porosité la plus faible. Ces surfaces intérieures doivent par ailleurs être réparties uniformément.

**Un projet FAREco doit avoir  $So_{int} > So_{ext}$  correspondant à une porosité  $P \geq Préf$  pour toute zone en ventilation naturelle.**

**De plus, sous réserve d'une étude aéraluque poussée, des solutions architecturales originales sont possibles. Quelques exemples sont donnés ci-dessous.**

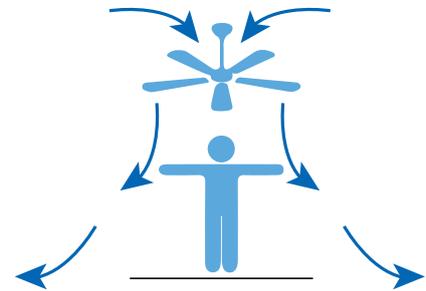


Exemple de l'immeuble Le Bihan à Papeete dont l'atrium fonctionne en ventilation naturelle par tirage vertical.

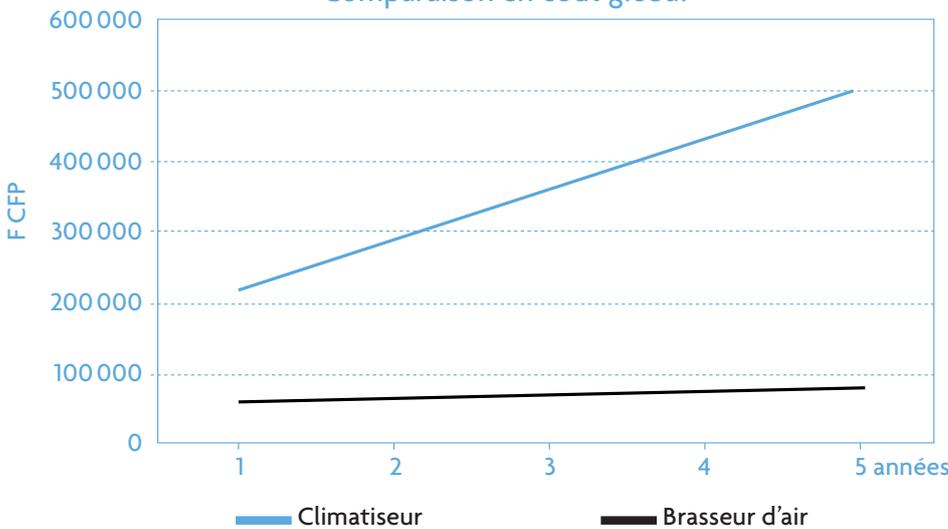
### 3 - BRASSEUR D'AIR

En ventilation naturelle, il faut systématiquement envisager la pose de brasseurs d'air performants car le rapport coût bénéfice de cet équipement est très favorable.

En effet, malgré une solide conception bioclimatique, il peut arriver que l'absence ou l'insuffisance de ventilation puisse créer un inconfort. **Aussi le brasseur d'air est un équipement remarquable puisqu'il peut générer un ressenti de moins 4 °C** (par équivalence à une vitesse d'air de 1 m/s) avec une consommation d'électricité inférieure de 10 à 20 fois à celle d'un climatiseur (pour un coût d'installation et d'entretien également très inférieur).



Comparaison en coût global



Estimation du coût global (fourniture et pose, électricité et entretien) d'une climatisation ou d'un brasseur d'air pour le rafraîchissement d'un bureau de 12 m<sup>2</sup>.

Hypothèses: Toit isolé; EER = 3; Fonctionnement 8 heures par jour, 5 jours par semaine et 35 semaines par an

Un projet FAREco nécessite la pose de brasseurs d'air pour les pièces principales des locaux en VN ou réversibles, avec une efficacité énergétique minimale de 120 m<sup>3</sup>/Wh et avec la répartition par tranche selon le tableau ci-dessous.

Surface de la pièce (m <sup>2</sup> )	Nb de brasseurs d'air
Jusqu'à 20 m <sup>2</sup>	1
De 20,1 à 35 m <sup>2</sup>	2
De 35,1 à 50 m <sup>2</sup>	3
De 50,1 à 65 m <sup>2</sup>	4
Etc.	

Le brasseur d'air peut aussi être utilisé en complément d'un climatiseur pour pouvoir augmenter la température de consigne et rendre plus homogène la température dans la pièce.

Il est recommandé de privilégier, pour une meilleure efficacité, des brasseurs d'air dont les diamètres sont supérieurs à 1,40 m et dont les pales sont à environ 30 cm du plafond (ou bien davantage pour des grandes hauteurs sous plafond). Toutefois il faut donner la priorité à l'adaptation de l'appareil à la pièce, un petit brasseur dont les pales sont à 20 cm du plafond est infiniment mieux que rien. Il faut aussi préférer des petits brasseurs dans les pièces étroites au risque de créer des bruits et des dysfonctionnements à terme.

### 3.1 - ÉCLAIRAGE ET BRASSEUR D'AIR

Fixé au plafond et au-dessus des zones occupées, le brasseur d'air est en conflit avec l'éclairage: non seulement sur le calepinage mais aussi avec le risque d'effet stroboscopique gênant si le luminaire est situé entre les pales et le plafond. Quelques idées: les éclairages en applique sur les murs, les lampes sur pied ou de bureau, des luminaires suspendus sous les pales, etc. La pose d'un brasseur équipé d'un point d'éclairage est en général une mauvaise idée car peu de brasseurs performants en sont équipés et la dissociation de fonctionnement entre éclairage et ventilation est rarement efficace... La balle est dans le camp des fournisseurs!

### 3.2 - HAUTEUR SOUS PLAFOND ET BRASSEUR D'AIR

Aucune hauteur sous plafond n'est imposée dans FAREco pour cette disposition qui relève du bon sens.

Certes une hauteur minimale sous pale est nécessaire pour éviter de se blesser. Néanmoins, étant donné l'absence d'historique de blessure même minime rapportée dans le cas de pales trop basses et compte tenu des avantages du brasseur d'air, il serait dommage d'empêcher sa pose par une hauteur sous plafond trop exigeante (trop coûteuse). S'il faut donner un repère, à l'usage, un brasseur dont les pales sont à 20 cm du plafond et avec une hauteur sous plafond de 2,50 m ne semble poser dans la pratique aucun problème.

Dans le doute, le choix de pales non métalliques ou avec un bord avec une épaisseur supérieure à 4 mm est une précaution supplémentaire.

Ce point ayant été fait, il est cependant non prioritaire (au regard d'autres dispositions comme la protection solaire ou la porosité) mais recommandé d'avoir une hauteur sous plafond supérieure à 2,50 m. Une grande hauteur sous plafond va favoriser la ventilation naturelle, l'évacuation de la chaleur et... elle permettra d'espacer davantage les pales du plafond donc d'avoir plus de choix de brasseurs d'air et une meilleure efficacité.

### 3.3 - MODE D'INTERMITTENCE, VARIATEUR DE VITESSE ?

Les modes d'intermittence sont abordés au chapitre « Gestion de l'énergie ».

Les brasseurs d'air seront équipés d'un variateur de vitesse avec au moins 3 positions.

Les retours d'expérience montrent qu'il vaut mieux un dispositif mural de commande plutôt qu'une télécommande vite perdue ou en panne.

## 4 - CLIMATISATION PERFORMANTE

La climatisation est une solution coûteuse sur le plan financier et environnemental. Une démarche rationnelle permet cependant son optimisation énergétique.

### 4.1 - LE PROGRAMME

La climatisation a ses avantages, la régulation en température et hygrométrie en permanence, et ses inconvénients, la qualité de l'air et le cloisonnement des espaces. Aussi faut-il bien peser le pour et le contre.

De plus, hors ventilation naturelle, plusieurs alternatives sont possibles :

- Ventilation mécanique par brasseur d'air (moins 4 °C ressenti, pas de déshumidification)
- Déshumidification seule (cas de stockage sans occupation par des personnes)
- Rafratchissement (température de l'air extérieur abaissé de 4 °C, déshumidification)
- Climatisation (température de consigne fixe, 26 °C par exemple, déshumidification)

Une approche rationnelle nécessite donc de préciser, pièce par pièce, l'ambiance recherchée et de définir la solution retenue en tenant compte des périodes d'occupation.

### 4.2 - LE BÂTI

L'adéquation du bâti à la climatisation revêt 2 dimensions :

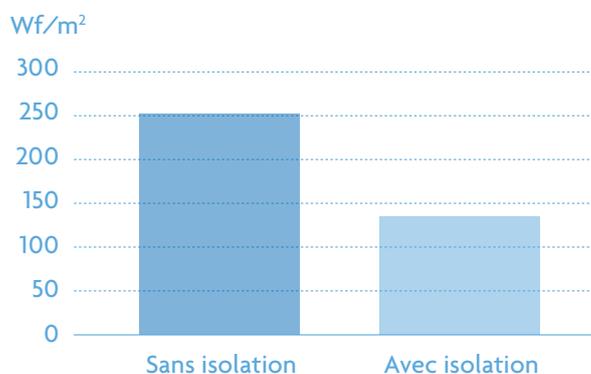
- La **protection solaire de la toiture, des baies et des murs**, commune à l'architecture bioclimatique mais qui peut être poussée au-delà car très rentable (voir le chapitre « Maîtrise des apports solaires »)
- La maîtrise de l'air neuf qui concerne **l'étanchéité du bâti en adéquation avec un dispositif d'introduction d'air neuf selon des débits réglementaires** selon l'occupation des personnes

Ainsi, s'il est recommandé que toutes les baies possèdent une classe d'étanchéité qui soit au minimum de classe A2, un ventilateur d'extraction (pour une pièce), un caisson de VMC (pour quelques pièces) ou une CTA (pour une grande salle ou un ensemble de bureaux) sont également nécessaires.

Moins prioritaire, la maîtrise des apports internes de chaleur (ou d'humidité) peut être source de gains importants, par exemple il peut s'agir de :

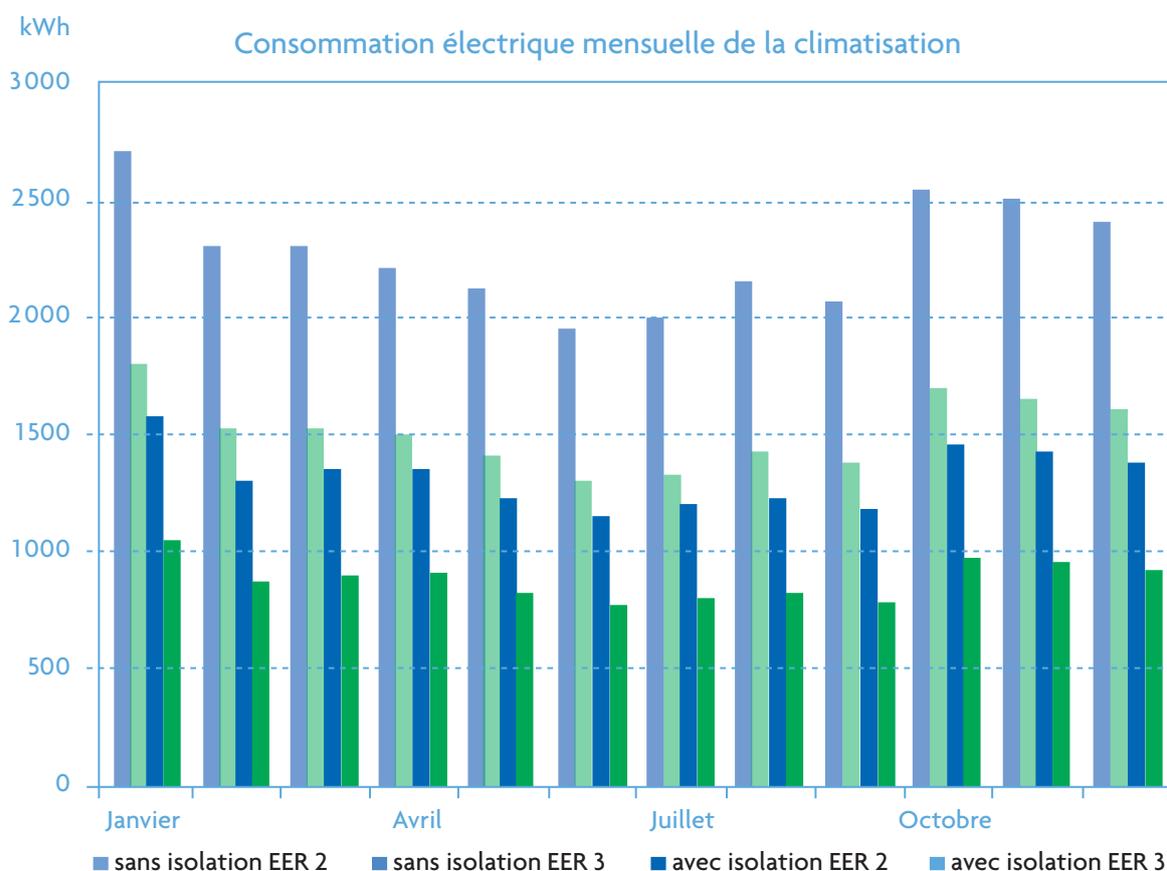
- Extraire l'air humide d'une pièce humide incluse dans un espace climatisé
- Faire sécher le linge à l'extérieur des pièces climatisées
- S'ils sont significatifs, capter à la source et évacuer les apports de chaleur d'un appareil (de cuisson par exemple) par une hotte aspirante
- Choisir des appareils électriques plus efficaces; ils consommeront moins et produiront donc moins de chaleur (lampes LED, électroménager classe A+, etc.).

### Puissance frigorifique de la climatisation pour maintenir 24 °C



Hypothèses: Année type Toiture; sans isolation: S = 10 %; Toiture avec isolation: S = 1,5 %; Murs: S = 7 %; Fenêtres: S = 40 %; Renouvellement d'air neuf = 25 m³/h

**Avec isolation la puissance frigorifique installée peut être réduite de plus de 30 %**



Hypothèses: Toiture sans isolation:  $S = 10\%$  - Toiture avec isolation:  $S = 1,5\%$  - Murs:  $S = 7\%$  - Fenêtres:  $S = 40\%$ ;  
Renouvellement d'air neuf =  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ ; Climatisation 8 h par jour; avec ou sans isolation Avec ou sans isolation; EER = 2 ou EER = 3

### 4.3 - LE DIMENSIONNEMENT

Est-il besoin de rappeler que le juste dimensionnement de l'installation de climatisation permet de trouver l'optimum entre confort et investissement ?

**D'autre part une installation bien surdimensionnée consommera moins d'énergie et aura une meilleure durée de vie.**

Le dimensionnement doit en premier lieu reposer sur les bonnes données :

- Les données climatiques du site ou d'un site proche
- Les données du bâti (dimensions, teinte et nature des parois) mais également le renouvellement d'air contrôlé ou pas
- Les apports internes c'est-à-dire les personnes et les appareils en fonction de l'occupation.

Selon l'importance du bâtiment on aura recours soit à un tableur simplifié pour moins de 10 pièces, soit à un logiciel au-delà.

Il faut rappeler que la puissance frigorifique est exprimée en W (ou Wf pour ne pas la confondre avec la puissance électrique) et parfois en BTU/h (1 Wf équivaut à 3,412 British Thermal Unit par heure).

### 4.4 - LE CHOIX DU SYSTÈME

C'est de la compétence du frigoriste ou du bureau d'étude fluide de proposer le système le plus adapté aux besoins. Quelques repères peuvent être donnés ci-dessous.

Pour quelques pièces, le système de climatisation est réalisé par des climatiseurs individuels de type split-system (une unité intérieure et une unité extérieure) qui offre le meilleur compromis coût/efficacité-confort. À noter que les climatiseurs de type Windows (1 seule unité), climatiseurs de fenêtre, sont, à l'opposé, à proscrire.

Une variante peut être le multi split system (plusieurs unités intérieures et une unité extérieure).

À partir de 10 pièces et de 20 kWf, il devient pertinent de réfléchir à des solutions semi-centralisées de type VRV ou DRV (volume ou débit de réfrigérant variable).

Les solutions centralisées sont à envisager à partir de 30 kWf. Elles sont composées d'une unité de production de froid et d'un réseau de distribution par gaines d'air ou boucles d'eau glacée avec ventilo-convecteurs. Elles se justifient pour des bâtiments importants en taille et ou besoins en froid.

De plus, dans toutes ces gammes, s'imposent progressivement de nouveaux systèmes de type INVERTER c'est-à-dire bénéficiant d'une technologie plus performante de régulation. Cette technologie est en partie à l'origine de l'évolution des classes d'efficacité énergétique.

#### Classes d'Efficacité Énergétique A+++ à D SEER en Mode Refroidissement

A+++	≥ 8,5
A++	≥ 6,1
A+	≥ 5,6
A	≥ 5,1
B	≥ 4,6
C	≥ 4,1
D	≥ 3,6
E	≥ 3,1
F	≥ 2,6
G	≤ 2,6

#### Ration d'Efficacité Énergétique Mode Froid

A	EER > 3,20
B	3,20 ≥ EER > 3,00
C	3,00 ≥ EER > 2,80
D	2,80 ≥ EER > 2,60
E	2,60 ≥ EER > 2,40
F	2,40 ≥ EER > 2,20
G	2,20 ≥ EER

L'**EER (Energy Efficiency Ratio)** est l'ancien coefficient utilisé pour déterminer l'efficacité frigorifique d'un

climatiseur (conformément à la directive européenne 2002/31/CE., en vigueur jusqu'au 31/12/2012). Il est calculé en divisant l'énergie frigorifique fournie (en watts) par l'énergie électrique absorbée (en watts). Plus il est élevé plus le climatiseur est économique.

Le **ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio)** est le nouveau coefficient utilisé pour déterminer l'efficacité frigorifique saisonnière d'un climatiseur (conformément à la directive européenne 2009/125/CE., en vigueur depuis le 01/01/2013). Il s'agit du taux de rendement énergétique global de l'unité, représentatif de l'ensemble de la saison de refroidissement. Il est calculé en divisant la demande de refroidissement annuelle par la consommation annuelle d'électricité nécessaire au refroidissement. Plus il est élevé plus le climatiseur est économique.

**Le SEER qualifie donc le fonctionnement du climatiseur en charge partielle, ce qui est le cas le plus fréquent.**

**Un projet FAREco nécessite une efficacité énergétique certifiée EUROVENT ou équivalent dont les valeurs figurent dans le tableau ci-dessous.**

	Efficacité énergétique minimale
Climatisation individuelle	ESEER ≥ 5,1 ou EER ≥ 3,2
Climatisation centralisée	ESEER ≥ 5,6 ou EER ≥ 3,7

**Attention à ne pas confondre le ESEER européen, sans unité et défini ci-dessus, et son équivalent le SEER aux USA, exprimé en BTU/Wh.**

**Le SEER est l'énergie de refroidissement fournie durant une saison complète en BTU divisée par la consommation électrique totale de la saison en Wattheures.**

## 4.5 - LA MISE EN ŒUVRE

Certaines dispositions ont un impact important sur l'efficacité énergétique et la durée de vie du climatiseur.

### 4.5.1 - L'UNITÉ EXTÉRIEURE

Le rôle de cette unité étant d'évacuer la chaleur prélevée à l'intérieur du bâtiment, il est plus favorable

de la placer dans un endroit bien ventilé, et éloigné de toute source de chaleur (exposition au soleil, hangar, comble, etc.). De plus si une protection solaire et aux intempéries est installée (débord de toit, lames inclinées, etc.), elle ne doit pas gêner l'évacuation de la chaleur.

### 4.5.2 - L'UNITÉ INTÉRIEURE

La diffusion de l'air par les unités intérieures ne doit pas se faire directement sur l'utilisateur ou être perturbée par des obstacles mais doit balayer le plus grand volume possible.

### 4.5.3 - LES LIAISONS FRIGORIFIQUES

Elles doivent être courtes (de préférence inférieures à 10 m) et avec le moins de coudes possibles. Elles doivent être soigneusement calorifugées (isolant de type "Armaflex" et de résistance thermique supérieure à 0,4 m<sup>2</sup>.K/W).

## 4.6 - LES RÉGLAGES

Lorsque la climatisation a été bien conçue, en particulier dans un bâti bien protégé du soleil, une température de consigne de 25 ou 26 °C est satisfaisante. Abaisser la température de 1 °C conduit à une augmentation de la consommation de l'ordre de 5 %.

S'assurer d'une juste intermittence est incontournable (voir le chapitre « gestion de l'énergie »).

Rappelons qu'éteindre son climatiseur quand on est absent est toujours plus économique que de le laisser allumé entre midi et 14 h par exemple.

## 4.7 - LA MAINTENANCE

Comme tout système, l'entretien a un effet important sur :

- La qualité sanitaire de l'air, par le nettoyage de l'échangeur intérieur, du ventilateur et du bac à condensat
- La consommation d'énergie, par le nettoyage, la protection et la réparation des échangeurs extérieurs et intérieurs
- La durée de vie de l'installation

Un contrat de maintenance est recommandé ; il doit mentionner la fréquence d'intervention selon l'usage plus ou moins intensif de la climatisation : mensuel, trimestriel, semestriel.

Le nettoyage du filtre de l'unité intérieure, si elle est accessible, peut être réalisé facilement à l'eau savonneuse lors du ménage, idéalement chaque mois.

En fin de vie de l'installation, les fluides frigorigènes doivent être récupérés par un professionnel car ils sont nocifs pour l'environnement : les anciens fluides (R22) nuisent à la couche d'ozone et les nouveaux fluides (R407, R410) sont des gaz à fort effet de serre.

## 5 - VENTILATION HYGIÉNIQUE

La ventilation hygiénique consiste à assurer un renouvellement d'air minimal pour rester dans des conditions :

- De santé, par l'évacuation des odeurs, COV, du gaz carbonique
- De salubrité, par l'évacuation de l'humidité qui conduit sinon à la formation de moisissures
- De confort, par la limitation de l'hygrométrie et des condensations

**Contrairement aux idées reçues, un climatiseur split-system ou un ventilo-convecteur ne renouvelle pas l'air de la pièce :** celui-ci est filtré, refroidi, déshumidifié mais sans éliminer le CO<sub>2</sub> produit par la respiration et les COV qui proviennent des peintures et du mobilier. Ainsi la qualité de l'air intérieur baisse

dans le temps avec des conséquences sur la santé à court (malaise lié au CO<sub>2</sub>) et long terme (les aldéhydes présents dans les colles du mobilier sont des COV cancérigènes par exemple).

L'eau sous forme de vapeur réduit la plage de confort mais surtout, si elle se condense, peut engendrer des pathologies dans le bâtiment : moisissures, décollement de la peinture, atteintes aux équipements... Une ventilation minimale est indispensable dans toutes les pièces même inoccupées et encore davantage dans les pièces humides (buanderie, cuisine, salle de bains). On oublie également que parfois ce n'est pas la température de l'air qui génère un inconfort mais l'augmentation de l'hygrométrie qui limite notre mécanisme naturel de régulation par la transpiration.

## 5.1 - LA RÉGLEMENTATION

Pour les locaux relevant d'un usage professionnel, des débits réglementaires sont fixés dans le code du travail, articles A. 4222, version en vigueur du 08/07/2011.

Pour les locaux recevant du public, le principe de ventilation d'hygiène est rappelé dans le Code de l'Hygiène des constructions.

## 5.2 - LES SOLUTIONS

Ainsi, dans les espaces non climatisés, une ventilation minimale peut être facilement assurée par la création d'au moins une petite ouverture extérieure (environ 0,5 m<sup>2</sup>). La création d'ouvertures au-dessus des portes est également une bonne pratique qui limite le risque de moisissures et ou mauvaises odeurs souvent associées.

Dans les espaces climatisés (et pour les pièces humides enclavées), il faut une ventilation mécanique associée à des entrées d'air, de préférence autoréglables ou hygroréglables, à défaut par des ouvrants peu étanches, détalonnage de porte, etc.

**Un projet FAREco nécessite :**

- Pour les pièces climatisées, un renouvellement d'air de 25 m<sup>3</sup>/h/personne (code du travail)
- Pour les pièces humides sans ouverture extérieure, entre 15 (WC et salle de bains) et 45 m<sup>3</sup>/h (cuisine et buanderie)

## 5.3 - LA VMC

La VMC ou ventilation mécanique contrôlée est l'association d'un ventilateur d'extraction intégré dans un caisson à plusieurs entrées et associé à un réseau de gaines reliées aux bouches d'extraction d'air de chaque pièce concernée.

La VMC peut fonctionner en "tout ou rien" asservie à la présence ou sur horloge ou bien être en débit variable selon l'hygrométrie.

Les bouches d'extraction de l'air sont placées au niveau des pièces humides (salle de bains, cuisine, WC, voire buanderie) et reliées à un groupe d'extraction motorisé. L'air extérieur "neuf" est ainsi aspiré via les pièces sèches au niveau d'entrées d'air puis rejetées au niveau des pièces humides par des bouches d'extraction. 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).

Un entretien régulier est recommandé pour garantir la qualité et la pérennité du système. On s'aperçoit souvent trop tard, lors de l'apparition des pathologies, que la VMC est en panne...

On peut recommander le nettoyage des bouches d'extraction à l'eau savonneuse (trimestriel ou semestriel), le nettoyage des filtres (annuel), un entretien global de l'installation (extracteur et gaines) par un professionnel (tous les 3 ans).

## EN RÉSUMÉ

- 1 - Le rafraîchissement des locaux doit être défini en fonction de la stratégie de confort qui (sauf exception en cas de bâtiment réversible) s'appuie sur une analyse des conditions favorables ou non à la ventilation naturelle.
- 2 - En ventilation naturelle, le rafraîchissement des locaux doit s'effectuer par une conception qui permet une ventilation traversante et une porosité extérieure et intérieure, pondérée selon le potentiel du site et l'orientation.
- 3 - Il faut aussi envisager la pose de brasseurs d'air performants car le rapport coût bénéfique de cet équipement est très favorable.
- 4 - En cas de climatisation, le rafraîchissement des locaux doit respecter les différentes prescriptions qui visent la performance et intégrer un système de renouvellement d'air neuf (y compris en cas de pièce humide enclavée).



# CONFORT ACCOUSTIQUE ET VISUEL

## 4

<b>1 - Confort acoustique .....</b>	<b>78</b>
1.1 - Généralités.....	78
1.2 - Stratégie par rapport aux bruits aériens extérieurs.....	78
1.3 - Stratégie par rapport aux bruits aériens intérieurs.....	80
1.4 - Stratégie par rapport aux bruits d'impact.....	81
1.5 - Stratégie par rapport aux bruits d'équipements.....	81
<b>2 - Éclairage naturel.....</b>	<b>82</b>
2.1 - Accès à la lumière du jour et aux vues extérieures.....	82
2.2 - Lutte contre l'éblouissement.....	82
2.3 - Niveau d'éclairement naturel.....	83
2.4 - Préconisations.....	84
<b>3 - Éclairage artificiel.....</b>	<b>86</b>
3.1 - Niveaux d'éclairement.....	86
3.2 - Température de couleur et indice de rendu des couleurs.....	87
3.3 - Sources lumineuses et consommation.....	88
3.4 - Stratégie d'éclairage.....	92
3.5 - Régulation.....	93
3.6 - Éclairage extérieur.....	93

Les exigences de confort consistent principalement à œuvrer aux conditions d'usage optimales des locaux et à avoir une ambiance satisfaisante qualitativement et quantitativement. Ceci afin de faciliter le travail, les activités diverses, dans un souci de qualité, de productivité, ou d'agrément, en évitant la fatigue et

les problèmes de santé. La thématique du confort est abordée sous les thématiques suivantes :

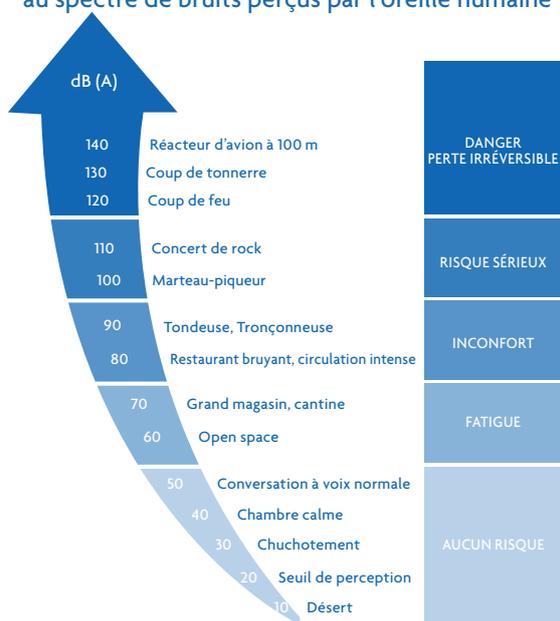
- Confort acoustique
- Optimisation de l'éclairage naturel
- Optimisation de l'éclairage artificiel

## 1 - CONFORT ACOUSTIQUE

### 1.1 - GÉNÉRALITÉS

La notion de confort acoustique est difficile à appréhender du point de vue de l'utilisateur car elle est en partie subjective. L'acoustique fait en effet intervenir la notion de "culture" acoustique, c'est-à-dire la perception propre à chaque individu (modélisée au fil des années par le mode de vie, la profession, le lieu de résidence...) face à une ambiance sonore donnée. Une bonne ambiance acoustique aura des conséquences sur la qualité de vie. Dans le cas inverse, les effets peuvent être rapidement très gênants, et conduire à des conflits, voire même à des problèmes de santé.

Ajoutée au terme dB, la lettre « A » correspond au spectre de bruits perçus par l'oreille humaine

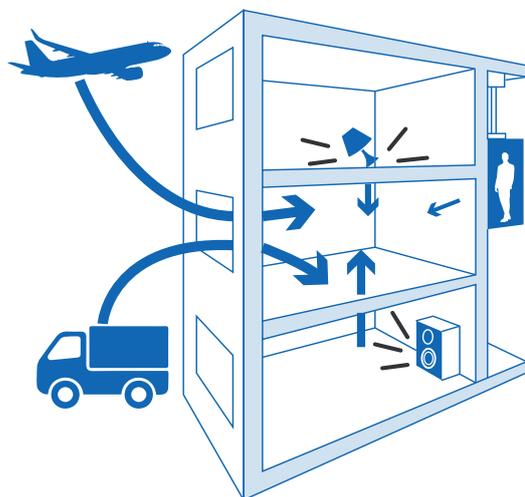


Les niveaux de bruits dans le bâtiment

On distingue dans le bâtiment quatre types de bruits :

- Les **bruits aériens extérieurs** qui sont émis à l'extérieur du bâtiment et qui se propagent dans l'air (circulation, avions)
- Les **bruits aériens intérieurs** qui sont émis dans un local et qui se propagent dans l'air (chaîne hi-fi, conversations)

- Les **bruits d'impacts** qui sont émis par une paroi mise en vibration (pas, chutes ou déplacement d'objet)
- Les **bruits d'équipement** qui sont émis par des appareils et installations situés soit dans le local récepteur (chauffe-eau, machine à laver), soit en dehors (ascenseurs, ventilations)



Les types de bruits dans le bâtiment

Les exigences des usagers vis-à-vis du confort acoustique consistent généralement à souhaiter une **absence de gêne** par l'ensemble de ces bruits. La sensation de confort acoustique dépend des conditions locales, de l'aménagement de la parcelle et des caractéristiques du bâtiment lui-même. En région tropicale humide, **l'élément déterminant pour l'acoustique est le choix du mode d'obtention du confort thermique** : ventilation naturelle ou climatisation. En effet, le confort acoustique conditionne le développement de la ventilation naturelle et les stratégies à déployer pour satisfaire le confort hygrométrique.

### 1.2 - STRATÉGIE PAR RAPPORT AUX BRUITS AÉRIENS EXTÉRIEURS

La ventilation naturelle requiert un environnement suffisamment venté et des contraintes acoustiques raisonnables, la démarche de conception

nécessite avant tout de croiser les critères « vent » et « contraintes acoustiques » pour réserver les meilleures zones pour les locaux ou bâtiments destinés à être ventilés. Les zones climatisées proposent des ambiances fermées qu'il est plus facile d'isoler même dans le cadre de contraintes externes bruyantes.

L'objectif général de cette thématique est donc de garantir une qualité acoustique interne adaptée à chaque type de local, fonction de la stratégie de rafraîchissement envisagée et selon le site retenu.

Pour cela, il convient de :

- **Localiser** les zones les mieux exposées au vent et définir la stratégie de rafraîchissement
- Déterminer **l'implantation** des locaux sur la par-

- celle en fonction de leur sensibilité et agressivité en matière de bruits et vis-à-vis des sources de bruits extérieures et internes (équipements, locaux voisins, etc.)
- **Optimiser les dispositions architecturales** pour protéger les usagers du bâtiment des nuisances acoustiques extérieures: organisation du plan tenant compte des sources de gêne, orientation des locaux sensibles sur les façades calmes, isolation de la toiture
- Mettre en place des **systèmes de protection** contre les bruits induits par la situation urbaine permettant d'avoir une écoute satisfaisante des bruits intérieurs tout en gardant un contact agréable avec le monde extérieur: menuiseries double vitrage, isolation acoustique, garde-corps pleins, utilisation de matériaux poreux en sous-face des terrasses

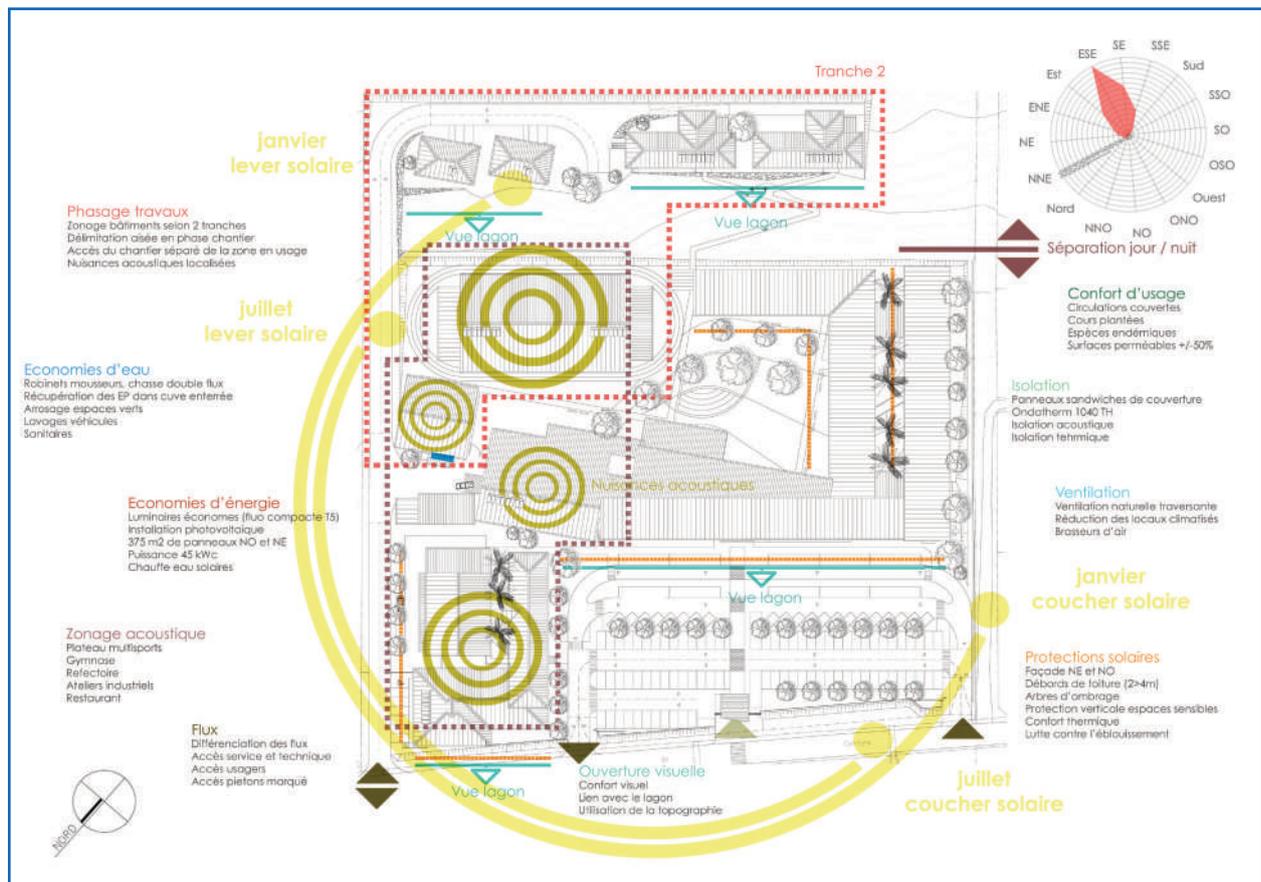
Sensibilité / agressivité des espaces	Espaces peu agressifs	Espaces agressifs	Espaces très agressifs
Espaces peu sensibles	Local de stockage	Sanitaires Circulations	Halls Locaux techniques Locaux déchets
Espaces sensibles		Bureaux collectifs Espaces ouverts Plateaux à aménager Salle de réunion Salle de formation Espace de détente	Espace de restauration - RIE
Espaces très sensibles	<i>Bureaux individuels d'enseignement</i>		Auditorium

Les niveaux de bruits dans le bâtiment

On pourra établir un **plan masse synthétisant les atouts et contraintes** comme outil d'aide à la décision :

- Définir un plan de masse prenant 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

Il est demandé que l'isolement acoustique standardisé pondéré vis-à-vis des bruits extérieurs (bruits aériens) soit supérieur ou égal à : **DnTA,tr ≥ 30 dB.**



Plan de masse listant les atouts et contraintes sur site

### 1.3 - STRATÉGIE PAR RAPPORT AUX BRUITS AÉRIENS INTÉRIEURS

La stratégie par rapport aux bruits intérieurs consiste à mener une réflexion pour limiter l'impact des locaux bruyants sur les locaux calmes et à optimiser l'implantation des espaces les uns par rapport aux autres en fonction de leur sensibilité et/ou agressivité :

- Répondre à la **variété des activités** des usagers grâce à une prise en compte de l'ambiance auditive à l'intérieur des locaux
- Différenciation et **zonage des locaux** ayant des exigences acoustiques distinctes: répartition et regroupement des locaux calmes et des locaux bruyants
- **Minimiser les nuisances acoustiques** au sein du bâtiment: séparation par des espaces tampons ou systèmes de mise à distance des espaces bruyants
- Proposer une **isolation acoustique** performante aux bruits aériens et aux bruits d'impact grâce à des dispositifs améliorant l'intelligibilité en atténuant le niveau sonore réverbéré: matériaux performants, isolation acoustique, limitation du nombre de portes de communication, volume et forme du local

- Procédés de **correction acoustique** (réverbération) dans les circulations ou espaces à forte fréquentation:
  - Les halls et les circulations communes
  - Les locaux nécessitant une bonne intelligibilité de la parole (salles de conférences)
  - Les locaux accueillant des activités bruyantes (réfectoire, locaux informatiques)
  - Les locaux de grand volume

Pour les espaces à usage de bureaux, on veillera à la **position** des espaces au sein d'un même niveau (position des sanitaires ou des salles de réunion dans un plateau open space). On regroupera également les espaces sensibles dans une même zone (bureaux, détente, salles de formation, etc.) et les espaces fréquentés par les clients dans une autre.

L'isolement acoustique standardisé pondéré entre les bureaux individuels (en réception) et tout type d'espace d'activité « bureau » (en émission) devra être supérieur ou égal à : **DnTA ≥ 35 dB**.

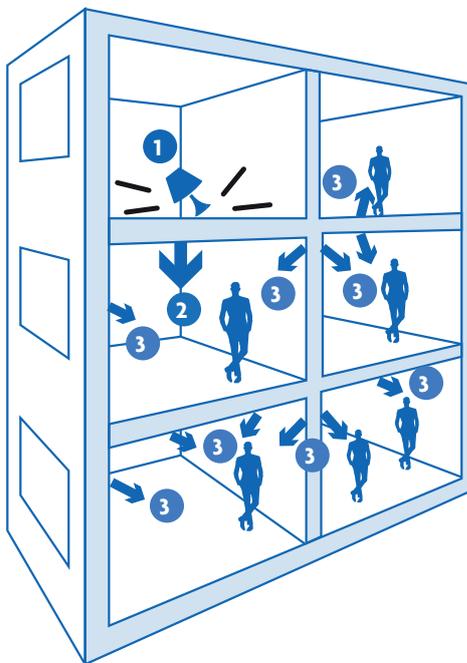
## 1.4 - STRATÉGIE PAR RAPPORT AUX BRUITS D'IMPACT

Il s'agit essentiellement des bruits d'impacts transmis par les **planchers** entre étages (claquement de portes, bruits de pas, chute d'objets) et par la **toiture** (bruit de la pluie). Les bruits sont alors transmis dans les pièces de manière directe ou indirecte par transmissions latérales dans la structure du bâtiment. La démarche par rapport aux bruits d'impacts est similaire à celle des bruits aériens intérieurs. Les solutions techniques pouvant être mises en place consistent en :

- **Revêtements de sol** permettant d'atténuer les transmissions directes
- **Isolation** en faux plafond
- Isolation des parois verticales
- Création de **coupsures entre locaux** : joints de dilatation, dalle flottante désolidarisée.

Il est demandé que le niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé transmis dans les espaces soit inférieur ou égal à :  $L_{nT,w} \leq 60 \text{ dB}$ .

Transmission des bruits d'impact



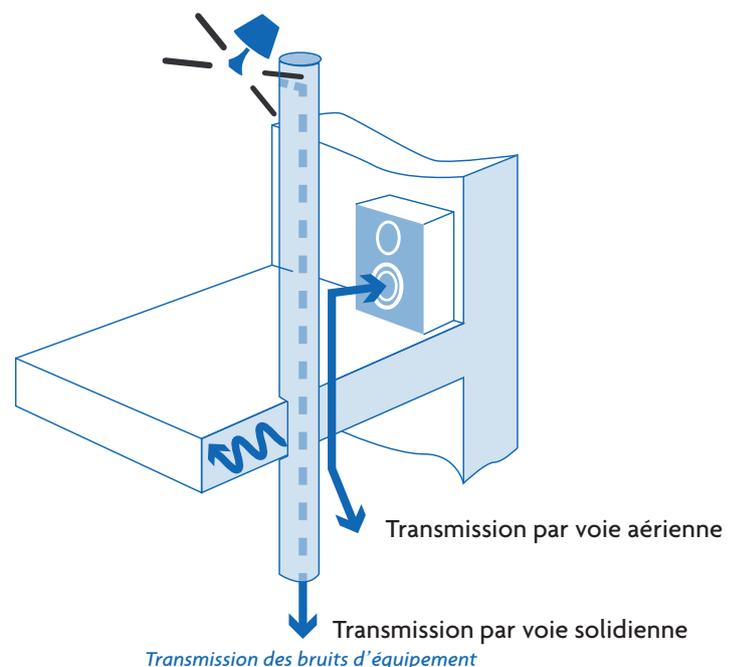
- 1 Bruit d'impact
- 2 Ré-émission directe d'un bruit d'impact
- 3 Transmission d'un bruit d'impact par les parois latérales

## 1.5 - STRATÉGIE PAR RAPPORT AUX BRUITS D'ÉQUIPEMENTS

La qualité d'ambiance acoustique au sein d'un espace peut également être perturbée par les équipements techniques bruyants. La localisation des compresseurs de climatisation, des extractions et moteurs VMC, et de tout autre équipement bruyant devra être envisagée avec soin afin de ne pas dégrader le confort acoustique des locaux habités. Le bruit induit par les conduits aérauliques et la ventilation sont les plus courants. Il s'agira de :

- Choisir des équipements peu bruyants
- Accorder une attention particulière à **l'implantation des équipements** de ventilation afin de minimiser les nuisances pour les usagers et les riverains : centralisation dans des locaux techniques isolés.
- Décrire les solutions choisies si le local technique est proche des zones sensibles.
- Installer des éléments permettant de **réduire le bruit des équipements** : plots anti-vibratiles, silencieux sur le réseau, choix des tuyauteries.

Il est demandé que le niveau de pression acoustique normalisé engendré par un équipement dans les espaces des chambres soit inférieur ou égal à :  $L_{nAT} \leq 40 \text{ dB (A)}$ .



Transmission des bruits d'équipement

## 2 - ÉCLAIRAGE NATUREL

L'accès à la lumière du jour et aux vues dans les espaces apporte des effets positifs, physiologiquement, psychologiquement et sur le plan sensoriel.

Les zones d'occupation, y compris celles situées en fond de pièce, ont besoin d'un éclairage naturel suffisant (selon le type de local), quantifiable à travers le **Facteur de Lumière du Jour** (FLJ).

Le confort étant souvent atteint, non par le respect d'une valeur minimale, mais plutôt lorsqu'il se trouve dans un certain intervalle, il convient d'éviter un trop fort éclairage naturel, ce qui serait inconfortable près des baies vitrées. Des compromis astucieux sont donc à trouver lors de la conception.

Les inconvénients à éviter sont l'éblouissement (dû au soleil, direct mais aussi indirect) et les contrastes lumineux trop forts. On recherchera un bon équilibre des luminances, par des revêtements peu ou pas brillants, par des couleurs appropriées, des protections solaires adaptées, etc., en déclinant la caractéristique selon le type de local.

### 2.1 - ACCÈS À LA LUMIÈRE DU JOUR ET AUX VUES EXTÉRIEURES

L'objectif est d'assurer que les espaces concernés ont accès à la lumière du jour et des vues sur l'extérieur (en premier ou second jour).

L'accès à la lumière naturelle et aux vues sur l'extérieur peut ici être :

- De « **premier jour** », c'est-à-dire que la lumière provient directement de l'extérieur (cas d'un local exposé directement en façade donnant sur l'extérieur)
- De « **second jour** », c'est-à-dire que la lumière naturelle ne provient pas directement de l'extérieur mais d'un autre espace, lui-même éclairé en premier ou en second jour (local derrière une circulation vitrée qui donnerait directement sur la façade de l'ouvrage).

**Il est demandé que 100 % des espaces de travail, en premier ou second jour, aient un accès à la lumière du jour et un accès à des vues sur l'extérieur.**

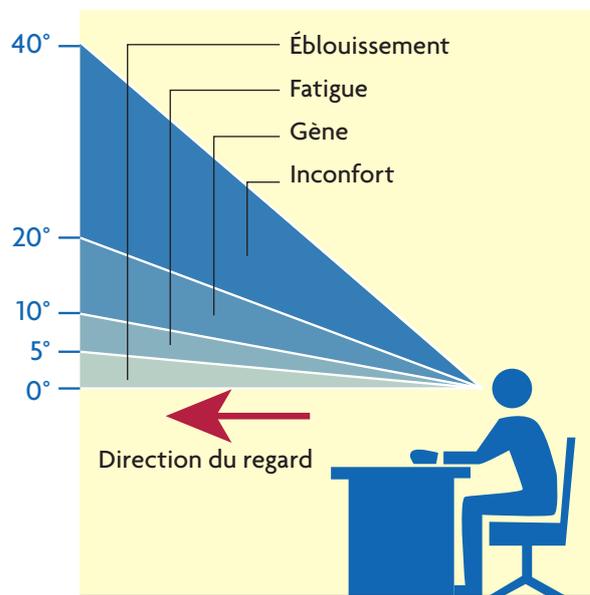
Pour l'accès à la lumière naturelle, il est possible d'installer tout type de dispositif : baies verticales, horizontales (lanterneaux, puits de lumière, verrières...), baies inclinées, etc.

Pour l'accès aux vues sur l'extérieur, il est nécessaire d'installer des baies transparentes donnant sur l'extérieur positionnées à hauteur des yeux.

### 2.2 - LUTTE CONTRE L'ÉBLOUISSEMENT

Afin de lutter efficacement contre l'éblouissement (réelle source d'inconfort), certaines dispositions pratiques doivent être mises en œuvre au sein des **espaces de travail**, telles que :

- Protections solaires extérieures mobiles de préférence,
- Brise-soleils verticaux ou horizontaux, fixes ou mobiles selon l'enjeu, adapté à l'activité et aux différentes orientations,
- Débords de toiture suffisants (notamment au Nord et au Sud)
- Etc.



Source lumineuse de haute luminance  
Incidence de l'éclairage naturel sur le confort visuel

## 2.3 - NIVEAU D'ÉCLAIREMENT NATUREL

Pour limiter les consommations électriques liées à l'éclairage artificiel, il est nécessaire de favoriser un bon niveau d'éclairage naturel. C'est dans ce but que les indicateurs de **Facteur Lumière Jour** et d'**Autonomie en Lumière du Jour** sont utilisés.

### 2.3.1 - FACTEUR LUMIÈRE JOUR

Comme présenté dans la première partie « généralités », le Facteur Lumière Jour est un calcul normé, basé sur une lumière extérieure diffuse de 10 000 lux qui correspond à la valeur courante dans les pays d'Europe (référence CIE). En Polynésie Française, la lumière extérieure diffuse a une valeur courante d'environ 25 000 lux.

Les objectifs ci-dessous prennent en compte cette surabondance de lumière extérieure par rapport à celle des pays en climat tempéré.

**En fonction du niveau de performance retenu, l'objectif est de respecter les seuils suivants :**

- **Niveau base :**

- $FLJ_{\text{minimum}} \geq 0,6\%$  pour 80 % de la surface de la zone de premier rang dans 80 % des espaces de travail et salles de réunion

- **Niveau performant :**

- $FLJ_{\text{minimum}} \geq 0,9\%$  pour 80 % de la surface de la zone de premier rang dans 80 % des espaces de travail et salles de réunion

- $FLJ_{\text{minimum}} \geq 0,6\%$  pour 70 % de la surface de la zone de premier rang dans 70 % des halls d'accueil et des circulations

La zone de premier rang correspond à l'espace le plus proche de la façade, à une hauteur de plan de travail et dont la profondeur est égale à deux fois la différence entre la hauteur sous plafond et la hauteur du plan de travail.

Le calcul de FLJ est réalisé par un logiciel spécialisé. Il ne doit pas tenir compte de l'aménagement mobilier des espaces. Certains logiciels de Simulation Thermique Dynamique sont également capables de réaliser ce calcul.

*Exemple de calcul des zones de premier rang:*

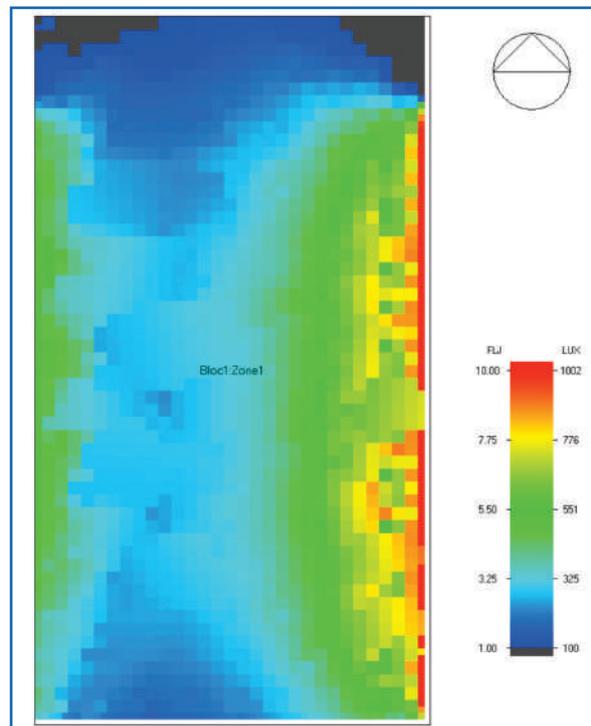
- **Données d'entrée:**

- L'étage type d'un bâtiment a une largeur de 13 m de façade à façade
- La hauteur sous plafond est de 2,60 m
- La hauteur de plan de travail est de 0,70 m
- Les postes de travail sont aménagés en « open space » et s'étendent jusqu'à 6 m de la façade.

- **Calculs:**

- La zone de premier rang a une profondeur de :  $2 \times (2,6 - 0,7) = 3,8$  mètres de la façade

*Exemple de calcul FLJ:*



*Vue graphique d'un calcul FLJ réalisé à l'aide du logiciel Design Builder*

### 2.3.2 - AUTONOMIE EN LUMIÈRE DU JOUR (ALJ)

L'ALJ se calcule sur la base d'une **Simulation Thermique Dynamique**.

Cet indicateur reflète le pourcentage d'économie (en kWh) entre un éclairage artificiel allumé uniquement lorsque la lumière naturelle ne permet pas d'éclairer convenablement les locaux intérieurs (seuil à définir en fonction de l'activité) et un éclairage artificiel allumé en continu, indépendamment de l'apport en éclairage naturel.

**En fonction du niveau de performance retenu, l'objectif est d'atteindre une autonomie en lumière du jour supérieure à :**

- **Niveau base : 70 % pour 80 % des espaces de travail et salles de réunion**, en surface, pour lesquels on considère que le niveau d'éclairage minimum à prendre en compte est **300 lux**.

- **Niveau performant :**

- **85 % pour 80 % des espaces de travail et salles de réunion**, en surface, pour lesquels on considère que le niveau d'éclairage minimum à prendre en compte est **300 lux**.

- **60 % pour 70 % des halls d'accueil et des circulations**, en surface, pour lesquels on considère que le niveau d'éclairage minimum à prendre en compte est **100 lux**.

L'autonomie doit être considérée pendant la période d'occupation diurne propre à chaque type de locaux (variable selon les usages).

*Exemple de calcul ALJ :*

*Un bâtiment de bureau est composé de 20 bureaux de 12 m<sup>2</sup>, 4 bureaux de 18 m<sup>2</sup>, d'un bureau de 25 m<sup>2</sup> et de 2 salles de réunion de 35 m<sup>2</sup>. Les résultats des simulations indiquent que l'ALJ moyen de chacun de ces espaces est respectivement 76 %, 72 %, 82 % et 54 %. A première vue, le résultat des salles de réunion ne permet pas d'atteindre l'objectif d'ALJ niveau base. Pour vérifier que le projet atteint cet objectif, on s'intéresse à l'ensemble des espaces de travail et de réunion. La surface atteignant l'objectif est de 337 m<sup>2</sup> sur une surface totale de 407 m<sup>2</sup>, ce qui représente 83 %. Ce chiffre étant supérieur à 80 %, l'objectif est atteint.*

## 2.4 - PRÉCONISATIONS

La qualité de l'éclairage naturel peut être améliorée en agissant, dès la conception du bâtiment, sur plusieurs éléments de l'ouvrage.

### 2.4.1 - VOLUME ET ENVELOPPE

La zone d'influence en éclairage naturel d'une baie s'étend :

- De manière « **prépondérante** » jusqu'à une distance égale à la hauteur de la baie (h)
- De manière « **sensible** » jusqu'à une distance égale à deux fois la hauteur de la baie (2 h)

- De manière « **négligeable** » jusqu'à une distance supérieure deux fois la hauteur de la baie (> 2 h)

Il est donc recommandé de réduire la largeur des espaces afin de minimiser la surface d'influence négligeable.

De ce fait, plus la hauteur de baie est importante, plus la zone d'éclairage favorable sera grande. Pour limiter les apports solaires et favoriser l'éclairage naturel en fond de local, il est recommandé d'agrandir les surfaces vitrées en linteau plutôt qu'en allège, notamment si des débords de toiture ou casquettes sont prévus.

En règle générale, on considère qu'un ratio de **surface de vitrage par rapport à la surface de plancher de 20 %** est le minimum à atteindre pour une qualité d'éclairage naturel satisfaisante.

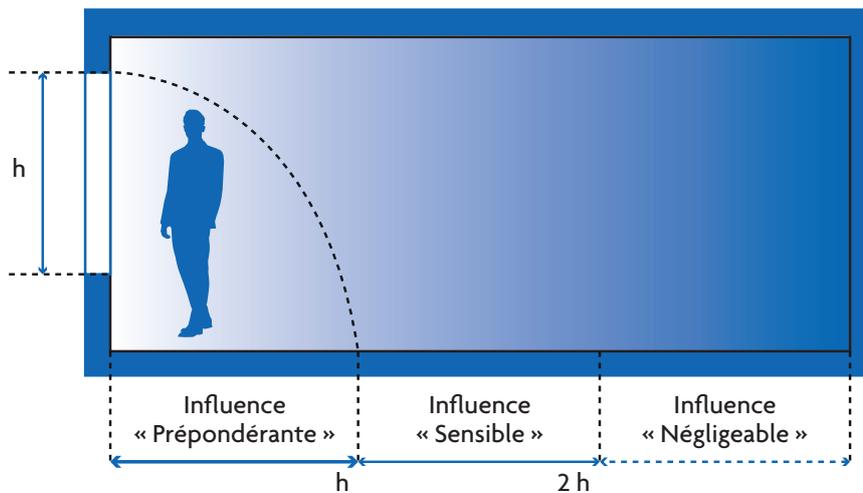
Le bâtiment traversant est la solution idéale pour l'éclairage naturel (mais aussi pour la ventilation), c'est pourquoi, selon la morphologie de la parcelle, la création de patios, voire d'atrium, est intéressante.

### 2.4.2 - BAIES ET TRANSMISSION LUMINEUSE DES VITRAGES

Le vitrage des fenêtres et châssis sont caractérisés par leur **facteur de transmission lumineuse**, notée « TL ». Plus le facteur est élevé et plus le vitrage laisse passer la lumière. De manière tout à fait logique, on constate que le facteur de transmission lumineuse augmente de manière proportionnelle avec le facteur solaire. L'enjeu pour les fabricants est d'arriver à créer des vitrages avec un facteur solaire faible et un facteur de transmission lumineuse élevé.

La transmission d'un vitrage clair simple est d'environ 80 %. Les vitrages à contrôle solaire atteignent entre 65 % et 70 % de transmission lumineuse. Ce paramètre est à intégrer aux calculs de FLJ, ALJ et éventuellement Simulation Thermique Dynamique, dans une **réflexion globale** de contrôle des apports solaires et d'accès à la lumière naturelle.

Certains produits très performants, à simple ou double vitrage, présentent des compromis très intéressants entre facteur solaire et transmission lumineuse mais sont souvent inadaptés au contexte local : coût très élevé, fabrication et montage en atelier spécialisé hors du territoire, difficile et coûteux à remplacer...



### 2.4.3 - REVÊTEMENTS INTÉRIEURS ET RÉFLEXION LUMINEUSE DES MATÉRIAUX

Le facteur de réflexion lumineuse ou « réflectance » des surfaces de revêtement intérieur est un paramètre important pour **diffuser** la lumière naturelle à l'intérieur des locaux.

Ce facteur exprime le volume de lumière reflétée par une surface, il est caractérisé généralement par la couleur et par la rugosité de la surface considérée.

**Le choix de matériaux à la fois de couleur claire et d'aspect lisse est ainsi recommandé.**

Les surfaces de plafond et de mur jouent un rôle prépondérant dans la diffusion de la lumière. Le rôle du sol est quant à lui très aléatoire car dépend de la surface de mobilier installée dans les locaux. À juste titre, la qualité de réflexion lumineuse des mobiliers ne doit pas être négligée.

Les fabricants de revêtements (peinture, dalles de faux-plafond, moquette, PVC, etc.) fournissent en général le facteur de réflexion de leurs produits. Ces données sont souvent indiquées sur les fiches techniques ou sur un nuancier.

### 2.4.4 - AMÉNAGEMENT INTÉRIEUR

La diffusion de la lumière naturelle doit être intégrée à une réflexion sur la **disposition** des différents espaces au sein du bâtiment, sur le **cloisonnement** et le **mobilier**.

Par exemple :

- La mise en œuvre de **portes vitrées** ou de **vitrages intérieurs** en linteau permet d'apporter un éclairage de second jour aux couloirs centraux.
- La configuration des espaces de travail en « open space » limite le cloisonnement et favorise la diffusion de la lumière dans le bâtiment.
- L'installation de **mobilier de faible hauteur** favorise la diffusion de la lumière
- **Agencement des espaces d'activités** nécessitant peu ou pas d'accès à la lumière naturelle dans les zones centrales, ou de second jour, pour dégager l'accès aux baies pour les activités courantes :
  - Salle de reprographie
  - Local ménage
  - Locaux à occupation intermittente : salle de réunion, bureaux de passage, salle de repos
  - Blocs sanitaires / salle de bains
  - Etc.



**POUR ALLER PLUS LOIN**

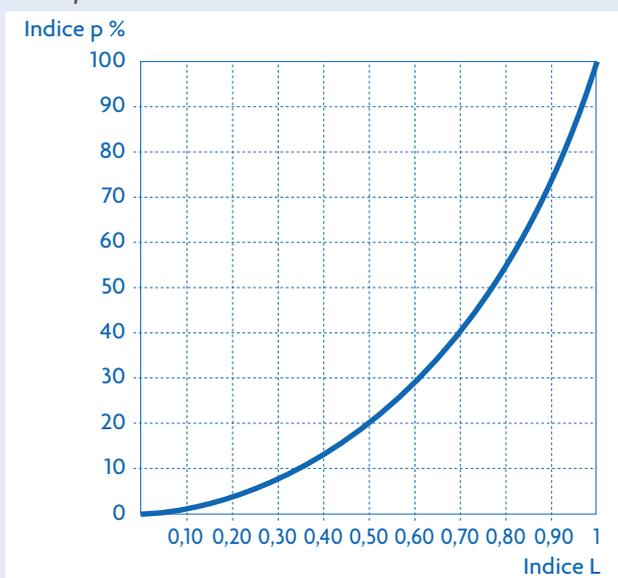
Attention à ne pas confondre le facteur de réflexion, noté « LRV » ou « Y » ou encore « Rho(ρ) » avec la profondeur de couleur, notée « L » d'un matériau.

Cette valeur « L » caractérise uniquement la clarté du matériau (0 = noir ; 100 = blanc).

En cas d'absence de mesure du facteur de réflexion, il existe néanmoins une formule théorique reliant « Rho(ρ) » et « L » :

$$\text{Rho}(\rho) = 100 \times ((L + 16) / 116)^3$$

Celle-ci donne la courbe de correspondance suivante :



Courbe de correspondance entre les valeurs de mesure ρ et L (source : CieLab)

Les mesures de « ρ » et « L » sont réalisées à l'aide d'un spectrophotomètre.

### 3 - ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

En Polynésie Française, le niveau d'éclairage naturel est important et la disponibilité en lumière du jour beaucoup plus élevée qu'en Métropole. L'éclairage naturel permet, s'il est associé à une gestion appropriée, de diminuer les consommations d'énergie électrique et de contribuer au confort car mieux adapté à la physiologie humaine. On privilégiera donc en premier lieu l'éclairage naturel, sous réserve toutefois qu'il ne soit pas accompagné d'apports thermiques excessifs, source de surchauffe des locaux.

**L'éclairage artificiel sera traité comme appoint** à l'éclairage naturel (temps pluvieux, soirées, usages spécifiques, gradation de la puissance selon les zones) et avec des technologies efficaces en termes de consommation électrique et d'efficacité lumineuse. Les sources lumineuses devront être choisies avec

soin et la régulation de l'éclairage envisagée en fonction des usages spécifiques.

#### 3.1 - NIVEAUX D'ÉCLAIREMENT

Différentes unités sont utilisées en éclairage pour mesurer la lumière :

- Unité de flux lumineux, le **lumen** (lm) : c'est la mesure de la quantité de lumière émise par une source lumineuse.
- Unité d'éclairement, le **lux** (lux) : c'est la quantité de flux lumineux reçus par une surface de 1 m<sup>2</sup>. 1 lux = 1 lm / 1 m<sup>2</sup>. Le lux se mesure avec un luxmètre.
- Unité d'intensité lumineuse, le **candela** (cd) : c'est la mesure de la lumière émise dans une direction précise. 1 cd correspond à l'intensité lumineuse de la flamme d'une bougie pour un observateur à 1 m.

- Unité d'efficacité lumineuse, le **lumen/Watt** (lm/W) : c'est le rapport entre la puissance d'une source lumineuse artificielle et le flux lumineux qu'elle libère. Plus cette efficacité est importante, plus le système d'éclairage est économe. Par exemple :
  - Lampes à incandescence classiques: 10 à 15 lm/W
  - Lampes à incandescence halogènes: 25 lm/W
  - Diodes électroluminescentes: 25 à 35 lm/W
  - Systèmes fluorescents: 40 à 70 lm/W
  - Lampes à vapeur de sodium: plus de 100 lm/W

Les valeurs cibles suivantes pourront être retenues par les concepteurs, autant que possible dans l'ensemble des espaces, hors éclairages spécifiques :

- **Sources lumineuses > 60 lm/W**
- **Puissance installée éclairage FAREco < 4 W/m<sup>2</sup>**

Pour assurer un éclairage artificiel de qualité, le projet doit assurer les **niveaux d'éclairage** minimum suivants à hauteur du plan de travail :

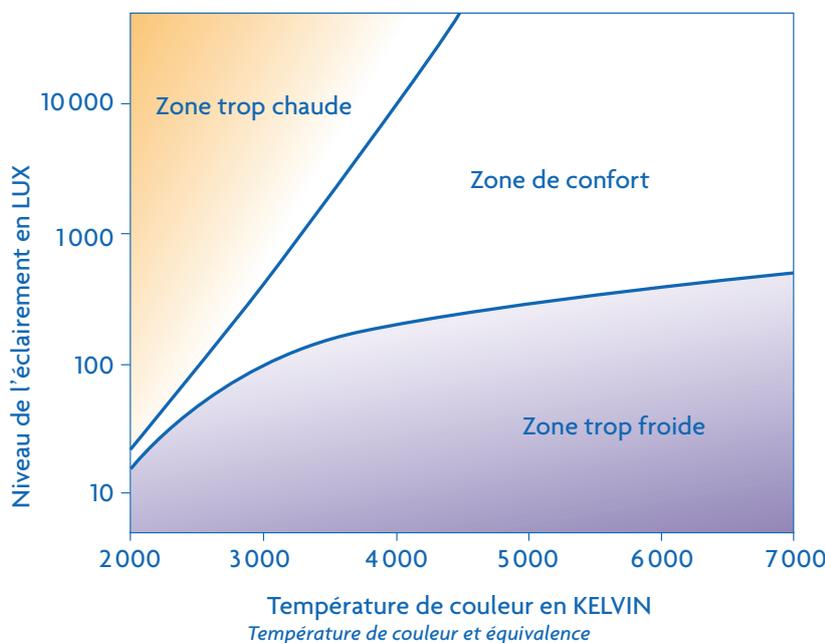
- Sanitaires: 120 lux
- Circulations: 100 lux.
- Bureaux: 300 lux
- Hall: 100 lux
- Salles de réunion: 500 lux
- Lits: 50 lux

### 3.2 - TEMPÉRATURE DE COULEUR ET INDICE DE RENDU DES COULEURS

Cette préoccupation a pour objet d'assurer la **qualité de la lumière émise**. Il s'agira principalement de mener une réflexion sur les températures de couleur (TC) et indices de rendu des couleurs (IRC) en fonction du contexte de l'opération et de l'ambiance recherchée.

L'unité de température de couleur (TC) est exprimée en Kelvin (K). La température de couleur d'une source lumineuse artificielle blanche correspond à la température du corps noir incandescent qui donnerait une lumière de composition colorimétrique équivalente. Par exemple :

- 2800 K : lumière blanche « chaude », qui tire vers le rouge orangé (halogène)
- 3000 K à 4200 K : lumière blanche
- 4200 K à 6500 K : lumière blanche « froide », qui tire vers le bleu et le violet (fluorescence).



L'indice de rendu des couleurs est noté **IRC**, c'est ce qui caractérise les sources à ne pas déformer les couleurs par rapport à la lumière solaire. Il est exprimé par un chiffre de 0 à 100, 0 notant une différence importante et 100 si elle nulle. Par exemple :

- IRC > 90 : excellent rendu des couleurs
- 80 < IRC < 90 : bon rendu des couleurs
- 70 < IRC < 80 : rendu des couleurs acceptable
- 60 < IRC < 70 : rendu des couleurs médiocre
- IRC < 60 : mauvais rendu des couleurs mauvais

Les concepteurs s'attacheront à obtenir des températures de couleurs (TC) et Indice de Rendu des Couleurs (IRC) suivants :

- **Activités courantes: 3000 K < TC < 4000 K et IRC > 80**
- **Activités demandant une distinction fine des couleurs: TC > 4000 K et IRC > 90**



Exemple de rendu des couleurs selon l'IRC

### 3.3 - SOURCES LUMINEUSES ET CONSOMMATION

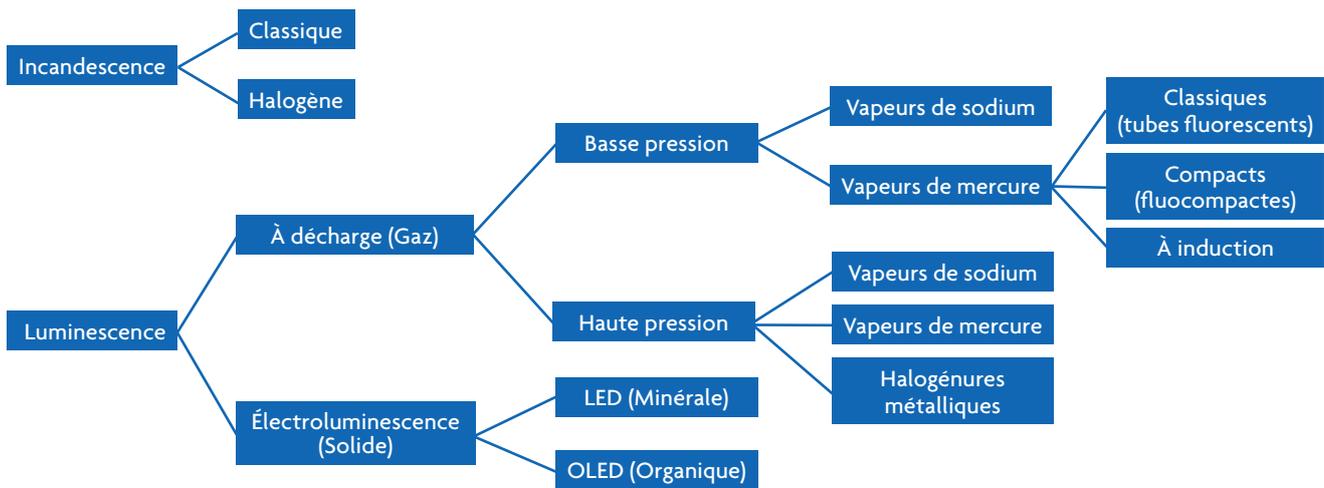
On distingue trois types de sources lumineuses : les **lampes à incandescence**, les **lampes à décharge de type luminescent** et les **LED**. Les lampes de la première catégorie regroupent les lampes à incandescence et les halogènes. Elles ont en commun d'être bon marché mais également peu performantes notamment par une mauvaise durée de vie et une mauvaise efficacité énergétique. Les lampes de la seconde catégorie et de la troisième regroupent les lampes au sodium haute et basse pression, aux vapeurs de mercure, aux halogénures métalliques, les lampes fluorescentes et les LED. La qualité de lumière est un peu moindre que les lampes à incandescence mais elles proposent une grande efficacité énergétique ainsi qu'une longue durée de vie.

Le choix des équipements d'éclairage sera étudié en fonction des performances énergétiques. Une **note de calcul** des puissances installées et un **bilan de consommation** devront être produits par les concepteurs fonction des usages souhaités. Les deux tableaux ci-dessous synthétisent les caractéristiques principales (coût, efficacité, durée de vie) de chaque type de lampes et leurs emplois spécifiques (type de bâtiment et besoins).

Seule une partie des luminaires répondent aux exigences énoncées précédemment :

- Les tubes T5/T8
- Les fluocompactes avec ou sans ballast
- Les sodium haute pression
- Les halogénures
- Les LED

D'une façon générale on favorisera l'utilisation des néons **tubes T5 et T8** ou des **plafonniers LED** pour l'éclairage des grands espaces en plafond. Les **fluocompactes** avec ballast déporté pourront être employées en appliques ou plafonniers pour des plus petites surfaces. Les **spots LED** dispensent un éclairage directionnel et seront principalement employés pour mettre en valeur ou intimiser certaines zones. Pour l'éclairage en plafond de grandes surfaces, utiliser des spots dont le cône d'éclairage est étendu ou augmenter la quantité de spots au m<sup>2</sup>. Des **bandeaux LED** pourront également être employés en éclairage indirect ou mise en scène de parois, mobiliers, tableaux, etc.



Classification des différentes sources lumineuses



Éclairage de type plafonnier LED suspendu pour les bureaux

**Ce type d'équipement facilite la mise en place de brasseurs d'air car l'effet stroboscopique est supprimé**

Type de sources	Coût	Efficacité (lm/W)	Durée de vie (h)	IRC	Puissance (W)	Appar.	Gradation	Spécifique
Incandescence	Excellent marché	< 15	1 000 à 2 000	100	5 à 100	Non	Découpage de phase	–
Halogène	Très bon marché	10 à 30	2 000 à 5 000	100	5 à 2 000	Non	Découpage de phase	–
Tube T5/T8	Bon marché	80 à 115	20 à 35 000	50 à 100	14 à 120	Oui	Électronique, baisse d'efficacité	Fort encombrement
Fluocompacte avec ballast déporté	Bon marché	50 à 90	6 à 10 000	50 à 100	5 à 120	Oui	Électronique suivant lampe, baisse d'efficacité	Fort encombrement
Fluocompacte avec ballast intégré	Bon marché	40 à 75	6 à 20 000	50 à 100	5 à 75	Non	Lampe spécifique	Fort encombrement
Sodium basse pression	Bon marché	140 à 200	10 à 18 000	Non significatif	18 à 180	Oui	–	Fort encombrement
Sodium haute pression	Bon marché	70 à 140	15 à 35 000	20 à 80	35 à 1 000	Oui	Électronique si < 150 W Réduction de puissance sur un seuil si > 150 W	Faible encombrement, réallumage après quelques minutes
Halogénures (ou iodures) métalliques	Bon marché	80 à 120	6 à 20 000	60 à 90	20 à 3 500	Oui	Électronique si < 150 W Réduction de puissance sur un seuil si > 150 W	Faible encombrement, réallumage après quelques minutes
Vapeur de mercure (ballon fluo)	Bon marché	40 à 60	8 à 20 000	40 à 70	50 à 1 000	Oui	–	Faible encombrement, réallumage après quelques minutes
LED	Cher	50 à 190	50 000	Jusqu'à 90	Jusqu'à 3	Oui	Électronique, augmentation d'efficacité	Attention à l'échauffement et à l'éblouissement
OLED	Très cher	Jusqu'à 50	15 000	Jusqu'à 90	Suivant surface	Oui	Non significatif	–

Tableau des caractéristiques par type de sources lumineuses (leclairage.fr)

Type de sources	Caractéristiques principales	Type de bâtiment	Luminaire	Type de besoin
<b>Incandescence</b>	Peu cher, très faible efficacité, faible durée de vie, excellent IRC	Quasiment inutilisé maintenant, voir norme	Vieux luminaires ou très spécifiques	Applications spécifiques comme les très hautes températures
<b>Halogène</b>	Peu cher, faible efficacité, faible durée de vie, excellent IRC	Logement particulier	Suspension, lampe de table, lampe de bureau, lampadaire...	Coût faible, encombrement faible
<b>Tube T5/T8</b>	Bon marché, très bonne efficacité, longue durée de vie, bon IRC	Tertiaire et industriel professionnel (voire architectural)	Type linéaire ou surfacique : encastré, plafonnier, suspension, réglette, étanche...	Bonne efficacité, flux important, dimensions importantes
<b>Fluocompacte avec ballast déporté</b>	Bon marché, bonne efficacité, bonne durée de vie, bon IRC	Tertiaire et architectural professionnel	Hublot, downlight, applique, lampadaire...	Petites dimensions
<b>Fluocompacte avec ballast intégré</b>	Bon marché, efficacité moyenne, durée de vie moyenne, bon IRC	Logement particulier	Suspension, lampe de table, lampe de bureau...	Adaptable sur courant 230 V / 50 Hz
<b>Sodium basse pression</b>	Bon marché, excellente efficacité, durée de vie moyenne, couleur orangé, très mauvais IRC	Route, tunnel, lieu de passage	Linéaire étanche et résistant mécaniquement	Sécurité
<b>Sodium haute pression</b>	Bon marché, très bonne efficacité, durée de vie moyenne, IRC moyen, délai pour rallumage à chaud	Extérieur (rue, résidentiel, stade...), industrie	Projecteur grandes dimensions, lanterne, gamelle...	Bonne efficacité, encombrement faible, grandes puissances, IRC correct
<b>Halogénures (ou iodures) métalliques</b>	Bon marché, bonne efficacité, durée de vie moyenne, bon IRC, délai pour rallumage à chaud	Extérieur (rue, résidentiel, stade...), magasin, industrie	Projecteur grandes et petites dimensions, lanterne, gamelle...	Bonne efficacité, encombrement faible, grandes puissances, bon IRC
<b>Vapeur de mercure (ballon fluo)</b>	Faible efficacité	Inutilisé maintenant (interdit en 2015)		Uniquement relamping sur installation existante
<b>LED</b>	Cher, excellente efficacité, très bonne durée de vie, bon IRC, éclairage ponctuel (attention à l'éblouissement et à l'échauffement)	Tertiaire, architectural, industriel, logement	Toute application sauf grande chaleur	Très bonne efficacité, longue durée de vie, toutes dimensions

Tableau des utilisations par type de sources lumineuses (leclairage.fr)



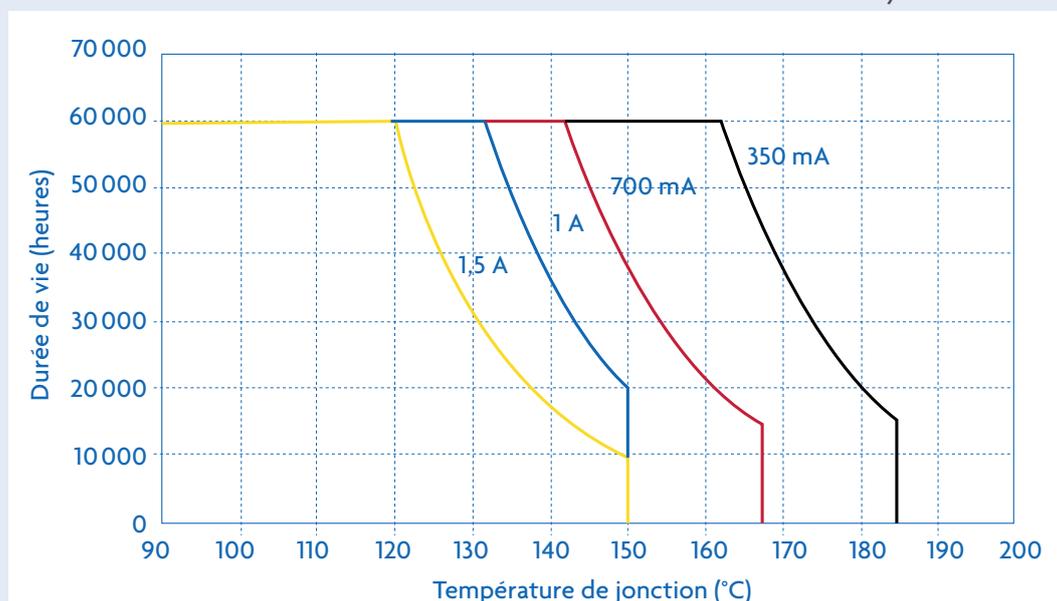
**POUR ALLER PLUS LOIN**

Voici quelques années les constructeurs avançaient pour leurs LED une durée de vie de 100 000 heures. Toutefois, on constate qu'au bout de 100 000 heures, la LED classique 5 mm blanche n'émettra plus beaucoup de lumière et sera inutilisable en éclairage. L'adoption par les constructeurs de définitions pour la durée de vie plus proches des réalités du monde de l'éclairage et la réalisation de plus en plus de campagnes de tests rigoureuses et réalistes permettent désormais de pouvoir comparer les LEDs des différents constructeurs entre elles et par rapport aux autres sources lumineuses.

La durée de vie d'une LED est liée aux conditions d'utilisations. Les principaux facteurs qui influent sur sa durée de vie sont :

- La température de jonction
- La valeur du courant

La définition de la durée de vie d'une LED n'est pas, à l'heure actuelle, normalisée. Généralement la définition utilisée pour définir la durée de vie d'une LED est « temps au bout duquel B % des LEDs émettent un flux lumineux inférieur à L % du flux initial » (à noter que le flux lumineux initial est généralement mesuré après 24 heures de fonctionnement).



Graphique illustrant la durée de vie des LED – Source LUMILEDS RELIABILITY 2007 (Courbe rose (B50, L70): durée au bout de laquelle le flux lumineux de 50 % des LEDs, alimentées sous 1.5 A, sera inférieur à 70 % du flux initial).

**Application:**

Dans un projecteur composé de 100 LEDs alimentées sous 1,5 A et possédant une température de jonction de 130 °C, le constructeur nous garantit que la moitié d'entre elles (50 %) émettront plus de 70 % leur flux initial au bout de 30 000 heures. Ce type de graphique apporte des informations cruciales en vue d'un dimensionnement.

**2.4 - STRATÉGIE D'ÉCLAIRAGE**

Il s'agit de concevoir l'éclairage artificiel comme complément à l'éclairage naturel en questionnant sa nécessité :

- En fonction des **heures d'occupation** de la zone: l'éclairage artificiel n'est pas obligatoire dans les locaux à occupation diurne dans la mesure où il est possible d'atteindre 100 % d'autonomie en

éclairage naturel pendant la journée. Néanmoins, un appoint sera nécessaire par temps couvert.

- 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

L'ambiance visuelle influe sur la sensation de confort des usagers. Son optimisation dépend des niveaux d'éclairement, de l'uniformité de l'éclairage, de l'absence d'éblouissement, de la qualité de la lumière

émise et du bon équilibre des luminances. Les critères associés à ces paramètres quantitatifs et qualitatifs sont à décliner par type de local.

- S'assurer que les locaux intérieurs bénéficient d'un **éclairage artificiel suffisant** et adapté à l'activité. La capacité minimale d'éclairage sera définie par type de locaux et de tâches.
- S'assurer une bonne **uniformité** de l'éclairage artificiel
- Éviter **l'éblouissement** direct ou indirect (position des luminaires)
- Rechercher un bon **équilibre des luminances** (aspect lumineux d'une surface éclairée et éblouissement par contraste).
- Prendre en compte **l'implantation des brasseurs d'air** afin d'éviter tout effet stroboscopique

## 2.5 - RÉGULATION

La satisfaction en matière de confort visuel étant variable d'un individu à l'autre, il est souhaitable de permettre aux usagers de maîtriser leur ambiance visuelle. La **régulation** ou gestion de l'éclairage artificiel dans les bureaux permet des adaptations aux besoins de chacun. Les dispositifs mis en œuvre dépendent de la stratégie d'éclairage choisie (par exemple éclairage de fond et des tâches) et sont corrélés aux notions d'efficacité énergétique et d'usages spécifiques. Les concepteurs pourront s'inspirer des quelques pistes développées ci-dessous pour une meilleure maîtrise de l'éclairage artificiel :

- **Asservissement** à la présence : horaires d'allumage et d'extinction, détecteurs de présence
- **Variation de puissance** par zone en fonction de la disponibilité en éclairage naturel
- **Gradation** possible du niveau d'éclairage
- **Commande différenciée** par trame selon la profondeur du local (éclairage de second rang)

- Différenciation avec **commandes distinctes** entre éclairage d'ambiance (plafond) et ciblé (lamps directionnelles) en particulier pour le secteur des bureaux et le secteur hôtelier
- **Gestion de la présence** : bon positionnement des capteurs, détermination des temporisations et des horaires de fonctionnement

Pour le secteur des bureaux, on privilégiera les **commandes différenciées** et les **systèmes sur horloge**.

## 2.6 - ÉCLAIRAGE EXTÉRIEUR

L'éclairage extérieur devra être optimisé en s'assurant dans un premier temps de sa **nécessité** puis en l'adaptant aux besoins réels (ratio au m<sup>2</sup>). Les mesures suivantes pourront être appliquées :

- Prévoir un plan descriptif d'implantation des luminaires prenant en compte les besoins réels et spécificités des luminaires choisis (puissance, cônes d'éclairage)
- Cibler les zones à éclairer en limitant l'éclairage d'ambiance
- Installer des gradateurs et des horloges crépusculaires
- Éviter les consommations excessives liées aux oublis dans les circulations et locaux à occupation intermittente (détecteur de présence ou minuterie)
- Choisir des équipements d'éclairage étudié en fonction de leur résistance aux conditions climatiques (UV, étanchéité à la pluie)

Pour le secteur des bureaux, la valeur cible d'éclairage extérieur si celui-ci est nécessaire est de **20 Lux**.

## EN RÉSUMÉ



- 1 - L'objectif général du confort acoustique est de garantir une qualité acoustique interne adaptée à chaque type de local, fonction de la stratégie de rafraîchissement envisagée et selon le site retenu. Les bruits aériens extérieurs et intérieurs, les bruits d'impacts et les bruits d'équipements impactent la sensation de confort de l'utilisateur.
- 2 - L'accès à des vues est un paramètre majeur du confort visuel dans les bâtiments
- 3 - L'accès à l'éclairage naturel, qui s'apprécie par le calcul FLJ ou l'ALJ, permet à la fois d'apporter un confort visuel non négligeable (par rapport à un éclairage artificiel, moins agréable) et de limiter les consommations électriques.
- 4 - La diffusion de l'éclairage naturel doit être prise en compte dans la réflexion architecturale d'intérieur du projet.
- 5 - L'éclairage artificiel sera traité comme appoint à l'éclairage naturel (temps pluvieux, soirées, usages spécifiques, gradation de la puissance selon les zones) et avec des technologies efficaces en termes de consommation électrique et d'efficacité lumineuse. Les sources lumineuses devront être choisies avec soin et la régulation de l'éclairage envisagée en fonction des usages spécifiques.





# ENTRETIEN ET MAINTENANCE

# 5

## **1 - Conception du bâti pour un entretien et une maintenance simplifiés..... 98**

- 1.1 - Choix des matériaux et équipements..... 99
- 1.2 - Accessibilité des éléments et équipements techniques..... 101
- 1.3 - Prise en compte des besoins spécifiques..... 102
- 1.4 - Dossier d'exploitation du bâtiment..... 103

## **2 - Entretien et maintenance du bâtiment en exploitation ..... 104**

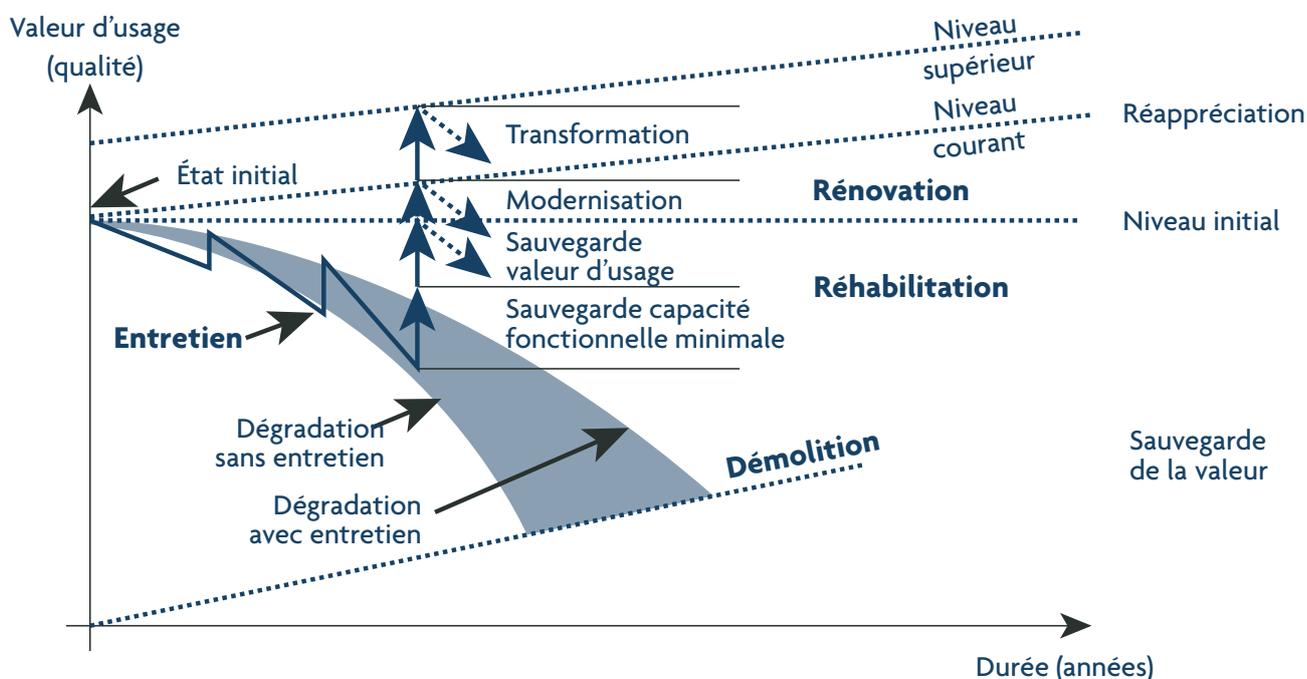
- 2.1 - Maintenir un niveau de maintenance élevé ..... 104
- 2.2 - Prise en compte des usagers et des occupants..... 105

## **3 - Maintenance des performances des systèmes..... 106**

- 3.1 - Climatisation..... 106
- 3.2 - Ventilation hygiénique..... 107
- 3.3 - Éclairage..... 108
- 3.4 - Gestion de l'eau..... 108
- 3.5 - Champ photovoltaïque ..... 109
- 3.6 - Chauffe-eau solaire individuel..... 110

La minimisation des besoins en **entretien (bâtiment)** et **maintenance (équipements)** est une préoccupation patrimoniale importante du maître d'ouvrage. Il s'agit ici de concevoir un bâtiment en termes d'enveloppe, de systèmes et d'équipements minimisant

les besoins d'entretien maintenance: la réflexion sur l'entretien doit conduire à favoriser la simplicité et l'économie, tandis que la maintenance devra être la plus réduite et la plus facile possible, la pérennité de la construction étant l'objectif à atteindre.



Processus chronologiques des mesures d'entretien, de réhabilitation et de rénovation des constructions

Le **contexte particulier** de la Polynésie Française induit des spécificités en termes de gestion de l'entretien et de la maintenance qui doivent être pris en compte. Comme exposé en première partie de ce document, le climat et l'environnement marin agressif impactent fortement l'usure des bâtiments et équipements; la soumission à l'importation des produits et composants rend difficile l'approvisionnement, le savoir-faire local nécessite une mise à niveau en termes de technicité et le manque de

filières de recyclage cohérentes impacte durablement l'environnement.

En outre, dans le **secteur des bureaux**, le taux d'occupation, la localisation en zone urbaine ou encore l'ouverture au public induisent un **usage intensif** des locaux et un entretien récurrent. Cette thématique a donc tout lieu d'être traitée avec une grande attention pour minimiser les investissements en exploitation.

## 1 - CONCEPTION DU BÂTI POUR UN ENTRETIEN ET UNE MAINTENANCE SIMPLIFIÉS

La dégradation progressive des éléments de construction est inévitable, d'autant qu'on exige que les bâtiments aient une longue durabilité et que les matériaux sont fortement sollicités par les intempéries et l'occupation. Mais la **durabilité peut être déterminée en grande partie dès la conception**, en portant attention au comportement du bâtiment dans le temps.

Cet aspect est souvent négligé, et ceci pour plusieurs raisons :

- Les futurs frais d'entretien n'entrent pas dans le budget de construction
- Le concepteur doit rarement engager sa responsabilité à long terme
- Vu sa complexité, l'ampleur de l'entretien est difficilement prévisible

L'entretien du bâtiment sera donc d'autant plus aisé techniquement et économiquement en phase exploitation qu'il aura été pris en compte le plus en amont possible en phase conception. Aussi, l'équipe de conception s'attachera à prendre en compte les éléments suivants.

### 1.1 - CHOIX DES MATÉRIAUX ET ÉQUIPEMENTS

Le choix des matériaux doit répondre aux performances attendues dont la **durabilité**, définie comme l'aptitude du matériau à remplir durablement les fonctions pour lesquelles il a été choisi.

La **durabilité optimale** d'un matériau n'est pas nécessairement la plus longue. Elle doit être appropriée à l'usage du matériau.

Les éléments assurant la stabilité de l'ouvrage et la sécurité des personnes doivent avoir une durabilité illimitée, quand une tolérance plus importante peut être envisagée sur la durabilité des éléments dont la défaillance ne présente pas de risques et dont le remplacement est aisé et peu coûteux.

Bien que ces principes soient appliqués intuitivement lors de l'élaboration du projet, il n'est pas inutile de les rappeler :

- Choisir une durabilité illimitée pour les éléments assurant la sécurité des personnes
- Choisir une durabilité réduite pour les matériaux précocement obsolètes
- Prévoir une durabilité élevée pour les protections inaccessibles de la construction
- Renforcer ou doubler les protections inaccessibles
- Prévoir un support plus durable que son revêtement
- Prévoir le remplacement des matériaux à durabilité limitée
- Prévoir la fourniture des matériaux à remplacer
- Rendre possible la surveillance des éléments sensibles

	<p><b>Durée de dévalorisation.</b> La durée de dévalorisation est de nombre minimal d'années pendant lequel l'ouvrage n'appellera normalement ni réparation importante, ni remplacements</p>
--	--

Ouvrages extérieurs	Estimation de la durabilité probable en années									
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
<b>Ouvrages souterrains</b>										
Abris de protection civile										
Ouvrages souterrains										
<b>Murs extérieurs</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Mortiers hydrauliques										
Enduits synthétiques										
Idem sur isolation périphérique										
Bardages en fibres-ciment										
Idem en acier ou aluminium										
Idem en bois										
Joints d'étanchéité au mastic										
Bandes d'étanchéité										
Façades en béton										
<b>Couverture</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Tuiles terre cuite ou ciment										
Étanchéité plate multicouche										
Idem synthétique										
Plaques de fibres-ciment										
Tôles de cuivre										
Tôle d'acier zingué										
Coupoles synthétiques										
<b>Ferblanterie</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Tôles de cuivre										
Tôle d'acier zingué										
Tôle d'aluminium										
Tôle d'acier au chrome										
<b>Fenêtres et portes extérieures</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
En bois résineux										
En chêne ou bois dur										
En bois-métal										
En acier										
En matière synthétique										
Portails en métal										
<b>Serrurerie</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Grilles et balustrades										
Ferrements portes et fenêtres										
<b>Protection solaire extérieure</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Volets et stores en bois										
Volets à rouleaux en métal										
Stores à paquet métal léger										
Stores en toile										
<b>Peintures extérieures</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
À l'huile sur enduits										
Minérale sur enduits										
Sur béton										
Sur bois exposé										
Sur bois protégé										

Ouvrages intérieurs	Estimation de la durabilité probable en années									
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
<b>Enduits en plâtre</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Sur plafonds de salles de séjour						50				
Idem pour bains et cuisines					40					
Idem sur murs					50					
<b>Serrurerie métallique</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Portes intérieures en métal					40					
Serrurerie intérieure					50					
<b>Menuiserie</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Portes, résineux ou bois dur					40					
Armoires murales, rayonnage					50					
Revêtements en bois					40					
Escaliers en résineux				30						
Escaliers en bois dur					50					
<b>Revêtements de sol</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Chapes au ciment sur dalle						50				
Matière plastique et linoléum			20							
Moquettes textiles ou tapis		10								
Pierre naturelle ou artificielle						50				
Carrelage céramique, klinker						50				
Parquet en lame de résineux										
Parquet en hêtre et en chêne				30						
<b>Revêtements de parois</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Papier, textile et synthétique		10								
Pierre naturelle ou artificielle					40					
Carrelage céramique					40					
Bois			20							
<b>Revêtements de plafonds</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Métal, plâtre, bois, fibreux			20							
<b>Peintures intérieures</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
À base de chaux, dispersion		10								
Dispersion, locaux humides		10								
Dispersion, salle d'habitation		10								
À l'huile sur radiateurs		10								
Peinture sur boiserie		10								
Peinture sur sol	5									
<b>Aménagements extérieurs</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Plantations, haies			20							
Clôtures en bois			20							
Clôtures métalliques				30						
Murs						50				
Dallages						50				
<b>Routes et places</b>	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Route sans revêtement			20							
Chaussée revêtue d'enrobé			20	30						
Chaussée revêtue de béton			20	30						
Pavés sur lit de sable			20	30						
Pavés sur chape de béton						50				

Il s'agit également de choisir des matériaux et équipements de **conception simple, robustes et faciles à maintenir**, notamment pour les ouvrages exposés: revêtements de façades, menuiseries extérieures, couverture, sanitaires. Les concepteurs pourront vérifier sous forme de tableau pour chaque système ou matériaux choisi son impact en termes d'entretien et son adéquation à l'usage projeté.

Pour le secteur des bureaux, les concepteurs veilleront à prendre en compte le **contexte constructif** en Polynésie et notamment les retours de sinistralité constatés sur les bâtiments existants afin de **faire évoluer les pratiques**. On prendra l'exemple des parois réalisées en béton armé, et notamment des pignons, qui présentent souvent des fissures de retrait en exposition Est, au coin des fenêtres, aux reprises de dalles ou en tête d'acrotères. Ce matériau extrêmement pérenne et facile d'usage peut s'avérer complexe en entretien dès lors que les DTU n'ont pas été respectés (enrobage des aciers, temps de séchage, adjuvants, etc.).

Localisation	Description	Matériau	Tenue dans le temps	Entretien	Fréquence
Façade	Brise-soleil	Aluminium	Excellente	Nettoyage	1 an
Façade	Menuiserie	Aluminium	Excellente	Joints silicones	5 ans
Couverture	Toiture	Tôle	Bonne sous réserve d'un recouvrement adéquat et de la bonne réalisation des fixations	Nettoyage	1 an
Couverture	Isolant	Laine de verre	Tassement important, absorption d'humidité	Remplacement	8 ans
Plancher	Sol	Carrelage	Excellente si classement UPEC adapté	Nettoyage monobrosse (y compris joints)	1 an

## 1.2 - ACCESSIBILITÉ DES ÉLÉMENTS ET ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES

Afin de limiter les coûts d'entretien et de maintenance, les concepteurs devront **faciliter l'accès** aux éléments à nettoyer ou entretenir (brise-soleil, casquettes, vitrages etc.) et aux équipements techniques (systèmes de rafraîchissement, de ventilation, postes transformateurs, etc.) et permettre la réalisation de ces opérations en toute sécurité pour les personnes l'effectuant, qu'elles soient employées du bâtiment, utilisateurs ou prestataires de service externes contractuels.

### 1.2.1 - ACCÈS ET CHEMINEMENTS

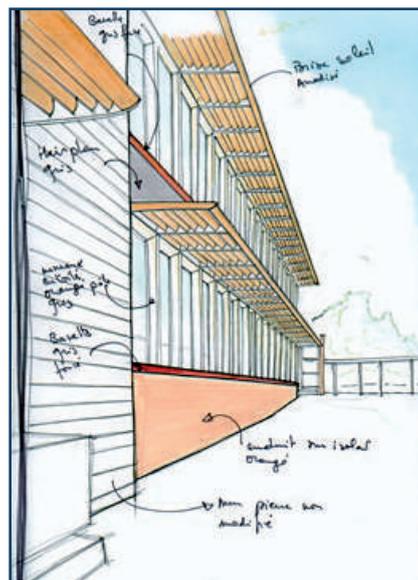
Des accès et **cheminements dédiés** à l'entretien et au nettoyage des éléments de façade en étage et des couvertures devront être proposés pour chaque type d'intervention, évitant ainsi les coûts supplémentaires relatifs à l'installation d'échafaudages, à l'intervention de cordistes ou à la détérioration des matériels et équipements en place.

L'accès aux éléments à nettoyer, entretenir ou remplacer et aux éléments principaux de l'enveloppe du bâtiment seront facilités pour l'entretien ou le remplacement :

- **Faciliter le nettoyage** fréquent des vitrages sur leurs faces extérieures et intérieures, on proposera par exemple des casquettes ou des terrasses habitables permettant l'accès aux éléments vitrés depuis l'extérieur.
- **Prévoir des voies d'accès** et les sécurités correspondantes pour atteindre facilement les toitures et en vérifier l'étanchéité (lignes de vie, revêtement

de protection lourde en toiture-terrasse, cheminement sur dallage).

- **Rendre accessibles les brise-soleil ou faciliter leur entretien.** 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.
- Éviter les **recoins inaccessibles** aux engins ou outils de nettoyage.
- La **protection contre la corrosion** des structures métalliques est en général éphémère. Pour refaire ces protections, il faut pouvoir atteindre toutes les surfaces des structures. À noter que c'est souvent dans les parties confinées et inaccessibles que les protections se dégradent le plus rapidement.



Exemple de brise-soleil pouvant servir de cheminement en façade

Le concepteur devra justifier par une note que **100 % des ouvrages sont accessibles pour l'entretien et la maintenance.**

### 1.2.2 - GARANTIR UN ACCÈS AISÉ AUX SYSTÈMES

L'ensemble des **systèmes** installés dans le bâtiment devront être **accessibles** aisément pour toutes les opérations de maintenance et pour le personnel technique amené à en vérifier le fonctionnement réglementaire :

- Permettre l'accès à tous les réseaux par le biais de **trappes d'accès** aux gaines techniques ou en faux-plafond, de plafonds démontables (dalles 60 x 60) ou de plénum et sous bassement accessible, etc.
- Certains points particuliers des canalisations doivent être accessibles pour déboucher des siphons ou remplacer des joints, prévoir des **éléments démontables** ou des trappes d'accès
- Permettre **l'accès facilité** aux locaux techniques (station d'épuration, local compteurs, local surpresseur, etc.) et le stationnement des véhicules d'entretien
- Prévoir **l'accès en toiture** par le biais de skydômes ou d'échelles
- De manière générale, laisser **l'espace nécessaire** entre les équipements et leur support de façon à pouvoir intervenir sur le matériel (compresseurs de climatisation, chauffe-eau, etc.)



Exemple de trappe d'accès en plafond pour entretien des réseaux

Le concepteur devra justifier par une note que **100 % des équipements et réseaux** sont accessibles pour l'entretien et la maintenance.

### 1.2.3 - FAVORISER L'AUTO-LAVAGE ET L'AUTO-ENTRETIEN

Il s'agit ici de limiter l'entretien par des choix de matériaux et systèmes permettant l'auto-lavage ou l'auto-entretien :

- Utiliser des **revêtements de façade autonettoyants** (peintures spécifiques, vitrages)
- Prévoir des **gouttes pendantes** en tête des éléments béton afin d'éviter les coulures
- **Éviter le traitement des éléments en hauteur par des bois tropicaux rouges** dont les tanins tachent les sols et peintures
- Prévoir des **pentés suffisantes** afin d'éviter l'accumulation de poussières (appuis de fenêtres, vitrages inclinés, têtes de mur)
- Prévoir des **dispositifs d'extraction** des vapeurs grasses. Ces dispositifs permettent également d'évacuer la vapeur d'eau en excès et d'éviter ainsi le développement de moisissures
- **Réduire les apports de poussières** et autres saletés extérieures en soignant l'aménagement des accès et en installant des grilles et des tapis-brosses

Dans les locaux sanitaires, une attention particulière sera portée à la stagnation d'eau et à l'oxydation. La conception des locaux devra favoriser l'entretien et l'écoulement des eaux : le concepteur pourra prévoir des matériaux résistants à l'humidité, les formes de pentes seront soigneusement réalisées pour permettre l'évacuation des eaux et éviter les flaques.

## 1.3 - PRISE EN COMPTE DES BESOINS SPÉCIFIQUES

Lors de la conception d'un immeuble de bureaux, il s'agira de penser le bâtiment de façon à intégrer les **besoins en locaux techniques** :

- **Identification** des besoins fonction du programme spécifique
- **Localisation** et circuit des équipes d'entretien maintenance
- Identification et **labellisation** des locaux
- **Équipement** des locaux (points d'eau, rangements, siphons, prises de courant, éclairage)



## Local technique

Les **équipements** nécessaires aux opérations quotidiennes d'entretien et à la maintenance du bâtiment devront également être inclus et **stockés sur site** (échelles, tuyaux d'arrosage, nécessaire de nettoyage, de jardinage, etc.).

La **difficulté d'approvisionnement** pour les projets dans les îles doit également rappeler la nécessité de choisir des produits et composants avec une pérennité satisfaisante et à faible entretien, communs, permettant de procéder facilement à des échanges standards. Un **stock** pourra être prévu afin de limiter les délais de renouvellement et permettre de commander les éventuels produits manquants sur le territoire.

## 1.4 - DOSSIER D'EXPLOITATION DU BÂTIMENT

Pour organiser de façon rationnelle la gestion d'un bâtiment et en particulier sa maintenance, une **documentation générale du bâtiment** est requise pour servir de base aux tâches de mise en service, de surveillance, de planification et d'exécution des mesures de maintenance. Ces documents sont transmis par l'architecte dans le Dossier des Ouvrages Exécutés (DOE). Ils sont distingués en deux parties : **structure et enveloppe** et **installations techniques**.

### 1.4.1 - STRUCTURE ET ENVELOPPE DU BÂTIMENT

Une documentation complète comprend un **descriptif général du bâtiment** qui permet de localiser et d'identifier ses composants, ainsi qu'un **cahier d'instructions** qui donne les informations relatives à la surveillance et à l'entretien de certaines parties de la construction. Cette documentation, en particulier les plans d'exécution, est à réviser en fonction des modifications intervenues en cours de travaux. Elle sera composée des pièces suivantes :

- Dossier administratif (permis de construire, conformité, assurances)
- Rapports géologiques
- Rapports du bureau de contrôle
- Plan de situation (parcelle, accès, réseaux)
- Plans d'exécution
- Procès-verbaux d'essai et de garantie des matériaux

- Références des peintures et matériaux employés
- Liste des entreprises avec procès-verbaux de réception et garanties
- Dossier photo du chantier (notamment d'éléments cachés après l'achèvement des travaux)
- Dossiers d'instructions particulières des parties de la construction qui nécessitent une surveillance ou un entretien périodique

### 1.4.2 - INSTALLATIONS TECHNIQUES DES BÂTIMENTS

Ces dossiers regroupent tous les documents touchant à **l'exploitation technique** du bâtiment et ses installations. Ils doivent aider l'exploitant dans l'entretien des équipements et lors de réparations et de transformations éventuelles. Les documents techniques d'exploitation sont remis au maître de l'ouvrage après la mise en service. Ils sont établis par les entrepreneurs et transmis à l'architecte qui les compile. Ils représentent l'ouvrage matériel tel qu'il est et doivent être mis à jour lors de toute modification. Ils comprennent :

- La documentation technique
  - Plans d'exécution : comprend tous les plans et documents permettant de localiser et de recenser tous les conduits, tuyaux, appareils. Ils servent à retrouver tous les appareils à contrôler ou à entretenir et peuvent être d'une grande utilité lors de l'établissement d'un diagnostic en cas de défaut
  - Schémas électriques : représentent tous les appareils électriques du bâtiment et doivent permettre de localiser chaque appareil, chaque câble et chaque connexion pour corriger une erreur éventuelle, dépanner, échanger des appareils ou modifier les installations
  - Notices des appareils : elle est particulièrement utile au bout de quelques années pour vérifier le fonctionnement d'un appareil, en changer le réglage, le mettre en service après révision, l'entretenir ou retrouver quelque chose d'équivalent sur le marché
  - Répertoire des fournisseurs et fabricants : pour faciliter à long terme l'approvisionnement en pièces de rechange ou la recherche du spécialiste d'un composant original
  - Description du fonctionnement : description du fonctionnement général, surtout celui des équipements de climatisation
  - Procès-verbaux de mise en service : ils démontrent que les installations ont été

- vérifiées et illustrent un fonctionnement concret
- Instructions de conduite: elles assistent le gestionnaire pour optimiser les conditions de fonctionnement de manière à satisfaire les usagers tout en évitant les prestations excessives (climatisation) ou non perçues (aération ou éclairage artificiel de locaux inoccupés)
- instructions de maintien en état: elles consistent à assurer la disponibilité des services et prestations délivrées par les équipements. Les instructions de maintenance se réfèrent aux notices des appareils pour le détail et aux instructions établies par l'entreprise pour l'installation dans son ensemble
- La documentation contractuelle
  - Garanties des entreprises et fournisseurs: au début de l'exploitation, la part de la maintenance couvrant les pannes, les défauts de matériel ou de fonctionnement est couverte par les garanties des entreprises et des fournisseurs. L'exploitant doit être clairement informé des garanties en cours
  - Contrats de maintenance: par la suite, l'exploitant doit être clairement informé des contrats de maintenance passés avec des entreprises (qui appeler, que couvre le forfait, quelles sont les interventions convenues)
  - Prescriptions et contrôles obligatoires: les services de détection incendie, le contrôle des récipients sous pression et autres inspections de sécurité des choses et des personnes interviennent selon leurs obligations réglementaires. Ils remettent instructions et rapports de contrôle
- La documentation chronologique
  - Les journaux d'intervention: pour chaque centrale technique ou équipement principal, un journal permet de noter et de dater dans l'ordre toutes les interventions. Ces journaux expriment le fonctionnement réel d'une installation, son taux d'utilisation, ses anomalies systématiques et permettent d'adapter les interventions aux nécessités. Ils sont établis par l'exploitant.

## 2 - ENTRETIEN ET MAINTENANCE DU BÂTIMENT EN EXPLOITATION

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. Souvent en Polynésie, comme ailleurs, les maîtres d'ouvrage délaissent l'entretien de leurs bâtiments faute de visualiser le gain en matière de gros entretien (réinvestissement). Cette **approche en coût global** permet de valoriser les éventuels surinvestissements par les économies générées en vie en œuvre.

Il s'agit donc de se pencher très tôt sur **l'organisation de la maintenance** indispensable au bon fonctionnement du bâtiment sur les plans énergétiques, économiques, environnementaux et sur les moyens qui seront mis en œuvre ultérieurement. L'implication du personnel est essentielle à la bonne marche de l'ensemble. Des procédures devront être élaborées au regard de la simplicité ou de la complexité des installations.

La réflexion autour de cette thématique doit prendre en compte:

- Les contraintes liées à l'environnement naturel (salinité, humidité, ensoleillement, pluviométrie,

vent, géotechnique...) et ses conséquences sur le vieillissement

- Les contraintes liées au milieu urbain (accessibilité, sûreté, sécurité, abords...) ou aux types d'utilisation (espaces publics ou non, type d'activités...)
- Les moyens de maintenance alloués par le maître d'ouvrage

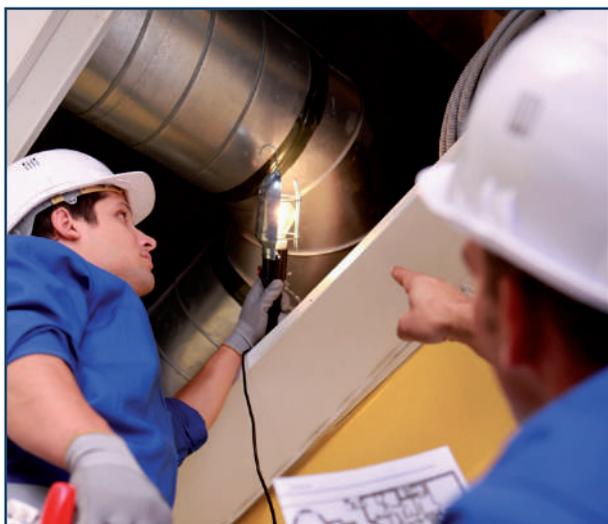
### 2.1 - MAINTENIR UN NIVEAU DE MAINTENANCE ÉLEVÉ

L'organisation de la maintenance, et les moyens que l'on veut consacrer à cette tâche, deviennent des questions essentielles que les propriétaires et gérants doivent se poser. Les différents niveaux d'intervention énumérés ci-dessous peuvent s'appliquer à tout ou partie de la maintenance de l'ouvrage, selon les objectifs fixés par le propriétaire et la complexité de l'ouvrage:

- **L'entretien de routine périodique** s'effectue automatiquement, sans contrôle ou surveillance préalable (tondre le gazon, changer les ampoules, nettoyer les sols, les vitres, etc.)
- **L'entretien programmé** s'applique principalement aux installations techniques des bâtiments. Il s'agit d'une surveillance régulière, comprenant si

nécessaire une remise en état ou un remplacement de certaines parties de l'installation.

- **La surveillance systématique et périodique** des éléments de construction sélectionnés en fonction de leur valeur d'usage est réalisée dans un but préventif. Elle s'applique aussi bien à l'enveloppe, qu'au second œuvre et aux équipements du bâtiment.
- **L'entretien correctif** est effectué après défaillance d'un élément de la construction. Le coût de ces travaux de dépannage, réalisés séparément et sur appel, est élevé. Il serait plus économique de regrouper certaines interventions par corps de métier, pour autant que l'urgence ne commande pas une intervention immédiate.
- **L'entretien minimal** ne prend en considération que les dispositions légales indispensables pour permettre l'usage du bâtiment.



Parmi ces différents niveaux d'intervention, l'entretien programmé et la surveillance systématique des bâtiments s'inscrivent dans une logique de maintenance préventive qui nécessite une bonne gestion et un personnel qualifié. Le coût supplémentaire que provoquent ces tâches, se retrouve à moyen terme par une réduction générale du coût de la maintenance, une diminution du nombre des interventions et une valeur d'usage supérieure.

## 2.2 - PRISE EN COMPTE DES USAGERS ET DES OCCUPANTS

Maintenir l'état de fonctionnement optimal d'un bâtiment en exploitation est intimement lié aux **usages du bâtiment** et à ses usagers. L'organisation de la maintenance devra se préoccuper aussi de l'influence du comportement de l'usager sur les besoins en maintenance. Par conséquent, **l'information de**

**celui-ci sur ces divers aspects est primordiale**, au même titre que la dimension pédagogique. Les bénéfices de la maintenance seront aussi qualitatifs en termes de confort, de santé et de productivité pour les occupants.

### 2.2.1 - SENSIBILISATION DES USAGERS ET DES OCCUPANTS

Afin d'expliquer le fonctionnement technique du bâtiment et ses caractéristiques environnementales aux usagers du bâtiment, c'est-à-dire aux personnes amenées à y travailler, ou à l'occuper de façon permanente (personnel), un **cahier de vie** pourra être proposé par les concepteurs en corrélation avec le dossier d'exploitation. Il comprend notamment :

- Des **recommandations** et bonnes pratiques à suivre sur les dispositions constructives et les particularités techniques et environnementales de l'opération
- Le fonctionnement des **équipements de climatisation**, ventilation, éclairage, énergies renouvelables, et recommandations sur les économies d'énergie
- Le fonctionnement des **équipements économes en eau**
- Des informations sur les dispositions et **particularités environnementales** de l'opération



Illustration des deux axes à envisager pour favoriser la maintenance

En complément, les documents suivants pourront être proposés aux occupants et pourront prendre toutes les formes souhaitées par le maître d'ouvrage. Ils auront pour vocation de participer à la sensibilisation des occupants en informant ceux-ci des pratiques et des gestes à adopter vis-à-vis des dispositions techniques mises en œuvre dans le bâtiment.

Ils peuvent prendre toutes les formes souhaitées par le maître d'ouvrage, en fonction des spécificités de l'opération. Ils doivent a minima permettre de répondre à :

- Une **sensibilisation générale** informant les occupants de la démarche environnementale et des dispositions architecturales et techniques mises en

place dans le bâtiment. Les **bons comportements** et les bonnes pratiques non liés au bâti (énergie, bruit, eau, air, déchets) pourront également être décrits.

- Une **sensibilisation particulière** informant l'occupant sur les gestes à effectuer vis-à-vis des équipements ou dispositifs spécifiques.
  - Affichette expliquant le fonctionnement des commandes centralisées de climatisation ou tout autre équipement spécifique

- Affichettes expliquant les bons gestes en matière de nettoyage pour le personnel d'entretien
- Affichettes d'information sur les dispositifs particuliers mis en place dans le bâtiment (par exemple utilisation des chasses d'eau double débit, etc.)

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 et d'entretien sains).

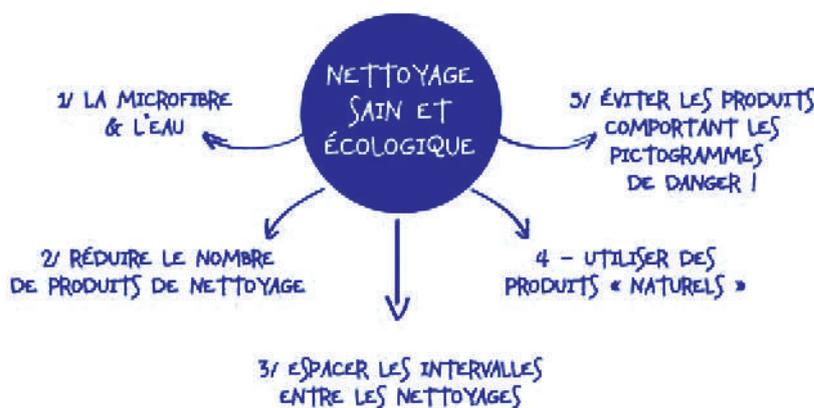


Illustration de sensibilisation des occupants

### 3 - MAINTENANCE DES PERFORMANCES DES SYSTÈMES

L'objectif est de vérifier que les interventions d'entretien / maintenance, y compris pour le remplacement de tous les équipements, même les plus encombrants, peuvent **être effectuées sans dégradation majeure et structurelle du bâti**.

Une spécificité du secteur des bureaux réside dans la **variété des locaux**, les modes et temps d'occupation de chacun d'eux. L'enjeu est d'effectuer un **zonage** et de traiter de manière adéquate chaque local ou zone de locaux. On distinguera les locaux suivants :

- **Les zones communes** (réfectoire, infirmerie, salle de réunion, etc.), qui peuvent être inoccupées. Dans ces locaux, l'enjeu est d'optimiser la gestion des équipements en fonction de l'occupation tout en laissant le contrôle aux usagers.
- **Les zones de bureaux**. Dans ces locaux, le contrôle est effectué par les occupants. La gestion et le suivi des performances doivent tenir compte des horaires variables d'occupation.
- **Les locaux techniques**. Ces locaux (archives, locaux techniques, stockages, etc.) ne sont pas occupés par les usagers et sont utilisés ponctuellement. Le

recours à un système de rafraîchissement n'est pas obligatoire.

#### 3.1 - CLIMATISATION

Dans les zones occupées par les usagers, le recours à un système de rafraîchissement est quasiment obligatoire pour des questions d'implantation en zone urbaine et des contraintes induites (bruits, poussière), d'où l'enjeu important de **pérenniser** ses performances. Le fait de recevoir du public peut également laisser plus ou moins de marge de manœuvre pour optimiser ces systèmes.

Pour un **suivi et un contrôle** efficaces des équipements de rafraîchissement, le projet doit permettre les points suivants :

- **Fréquence** et entretien des climatiseurs décrits dans le dossier d'exploitation
- **Comptages et suivis des consommations** et des temps de fonctionnement par zones et/ou usages et/ou systèmes
- **Détection de défauts** (dérive des consommations)

- **Pilotage sectorisé** des zones en fonction de leur occupation et suivi du niveau de confort par zones (gestion des températures de consigne adaptées à chaque zone)
- **Protection des équipements** de climatisation en toiture ou en façade contre le soleil (usure et augmentation de la température de l'air donc de l'énergie nécessaire pour produire du froid)
- Dispositions techniques et architecturales permettant un **accès aux équipements** de production
- Entretien des systèmes fixes assuré par un professionnel environ **une fois par an**.
- Nettoyage des filtres **tous les trimestres** pour assurer un meilleur rendement.
- Contrôle **tous les ans** de l'état des isolants des circuits frigorifiques si apparents à l'extérieur et des tuyaux d'évacuation des condensats qui se dégradent avec le temps à l'extérieur.
- Si l'installation contient 2 kg ou plus de fluide frigorigène, faire un contrôle d'étanchéité et de pression de l'équipement **tous les ans**.

Un contrat de maintenance sera passé avec l'installateur ou une entreprise à même de le réaliser. Les opérations suivantes devront être menées :



Illustration de l'entretien des centrales de climatisation type VRV en toiture

### 3.2 - VENTILATION HYGIÉNIQUE

Pour un suivi et un contrôle efficaces des équipements de ventilation hygiénique, le projet doit permettre les points suivants :

- Fréquence et entretien des VMC décrits dans le dossier d'exploitation
- Détection de défauts (anomalie de fonctionnement)
- Dispositions techniques et architecturales permettant un accès aux équipements de production (moteurs VMC).
- 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** :
  - Nettoyage des conduits horizontaux et verticaux
  - Nettoyage et entretien du caisson
  - Vérification des entrées d'air
  - Vérification des hélices, des courroies et de tous les éléments du moteur de la VMC



Entretien des équipements VMC

### 3.3 - ÉCLAIRAGE

Pour un suivi et un contrôle efficaces des systèmes d'éclairage, le projet doit permettre les points suivants pour les parties communes :

- Comptages et suivis des consommations par zones et/ou usages et/ou systèmes
- Détection de défauts
- Suivi de l'état de fonctionnement des installations
- Asservissement des éclairages par zones

Dans le secteur des bureaux, l'éclairage est un poste de consommations prépondérant, notamment au regard des grands plateaux avec faible accès à la lumière naturelle. Il faut donc concentrer les efforts sur les **solutions efficaces et performantes** qui permettent de réduire les consommations d'énergie liées à l'éclairage. Le maître d'ouvrage soucieux de privilégier les installations d'éclairage performantes, avec des coûts de consommation et de maintenance réduits, prendra soin de :

- **Contrôler** les courts-circuits pour éviter un remplacement anticipé des ampoules
- **Remplacer** les sources lumineuses hors d'usage par des sources économes et pérennes
- **Recycler** les ampoules usagées

### 3.4 - GESTION DE L'EAU

Pour un suivi et un contrôle efficace des systèmes d'eau, le projet doit permettre les points suivants pour les parties communes :

- **Fréquence et entretien** des systèmes de gestion de l'eau décrits dans le dossier d'exploitation
- **Comptages et suivis des consommations** par zones et/ou usage et/ou systèmes. L'usage est identifié par l'activité des espaces et/ou la présence d'équipements spécifiques consommant de l'eau. Pour des bureaux, on prendra par exemple en compte :
  - Sanitaires et douches
  - Réfectoire si existant
  - Sécurité incendie
- **Détection de fuites** (dérive des consommations)
- **Sectorisation** des zones en fonction de leur usage (vannes d'arrêt)
- **Dispositions techniques** et architecturales permettant un accès aux équipements de traitement, de stockage et aux réseaux

Dans le secteur des bureaux, les consommations d'eau sont faibles. Selon les besoins, le maître d'ouvrage portera attention à :

- **Vérifier** les joints, raccords, connexions et procéder à leur remplacement régulier afin de limiter les fuites
- **Nettoyer** les réservoirs d'eau potable annuellement (vidange, nettoyage chimique, désinfection, rinçage et remise en service)
- **Nettoyer et désinfecter** les canalisations (lors du renouvellement de canalisations, de la pose de nouvelles canalisations ou branchements, en cas de problème de qualité d'eau en réseaux).

- **Entretien semestriel** des surpresseurs (contrôle de la pression de la vessie du réservoir pour éviter le

perçement ou le déclenchement trop régulier et l'usure de la pompe).



Modèle type de surpresseur pour bâtiment tertiaire

### 3.5 - CHAMP PHOTOVOLTAÏQUE

Si la technologie photovoltaïque est réputée fiable et sans entretien lourd, des **opérations de maintenance** légères sont tout de même à conduire pour prévenir d'éventuelles anomalies et s'assurer que les organes de sécurité sont en état de fonctionnement. Ces opérations valent surtout pour des installations de moyenne et grande puissance (supérieures à 36 kWc).

Pour rappel, les coûts d'entretien maintenance d'une installation de ce type sont généralement équivalents à un mois de production.

La fréquence des interventions listées dépend en partie de la qualité du site (pollutions, poussières...). Dans la plupart des cas, une **visite annuelle** avec les opérations listées ci-après est suffisante en guise de contrôle de routine.

- **L'inspection visuelle des modules (annuelle)** est importante pour déceler: des modules brisés ou souillés, une altération de l'état de surface des cellules, la présence de feuilles mortes ou autres déchets, l'état de fixation des modules par rapport à la structure et pour vérifier aussi la croissance de la végétation (arbres alentour ou mousse sur les modules cadrés...)

- **Vérification et dépoussiérage des onduleurs (annuelle)**: vérifier le fonctionnement des onduleurs (Led témoins, affichage sur les appareils...) et nettoyer les entrées d'air des onduleurs pour faciliter leur refroidissement. La durée de fonctionnement prévisible d'un onduleur avant panne est de 8 à 12 ans. En entretenant bien l'onduleur, on peut cependant éviter des baisses importantes de rendement avant sa fin de vie.
- **Inspection des boîtiers DC et des câbles (annuelle)**: vérifier visuellement le bon état des connexions de fixation et de serrage, des câbles AC et DC et des éléments de protection. Contrôler l'état des parafoudres et des organes de sécurité (incendie, EPI, BAES, BAPI, etc.). Les fusibles pourront être contrôlés plus régulièrement.
- **Tests électriques (annuels)**: Manœuvrer les protections AC/DC et contrôler le découplage de l'onduleur, vérifier la continuité des liaisons équipotentielles, mesurer les tensions de branche DC et tester les dispositifs d'arrêt d'urgence.
- **Le nettoyage des modules (fréquence très variable)** dépend beaucoup de l'environnement et l'inclinaison du système. D'une manière générale, avant de déterminer une périodicité fixe, il est préférable d'observer le niveau de salissure des installations les deux premières années pour évaluer

la fréquence et la nécessité des opérations de nettoyage

- **Relevé des données de production (mensuel):** relever les index de comptage et vérification du fonctionnement des panneaux didactiques (données en adéquation avec la production). Un relevé journalier pourra être généré en connectant l'installation à un portail de surveillance web (de type sunnyportal). Les installateurs peuvent accéder aux données clés du système à tout moment, analyser les valeurs mesurées et visualiser les rendements pour détecter les déviations.

### 3.6 - CHAUFFE-EAU SOLAIRE INDIVIDUEL

En maintenance d'une installation individuelle, on prévoira les actions suivantes:

- Vérification du groupe de sécurité (annuelle)
- Manœuvre des vannes et soupapes (annuelle)
- Recherche de fuite visible (annuelle)
- Panneaux Solaires: contrôle visuel, nettoyage des panneaux si besoin (annuel)
- Ballon, chasse partielle (annuelle)



*Installation photovoltaïque en toiture*

## EN RÉSUMÉ

- 1 - La minimisation des besoins en entretien (bâtiment) et maintenance (équipements) est une préoccupation patrimoniale importante du maître d'ouvrage. Il s'agit de concevoir un bâtiment en termes d'enveloppe, de systèmes et d'équipements minimisant les besoins d'entretien maintenance,
- 2 - La réflexion sur l'entretien doit conduire à favoriser la simplicité et l'économie,
3. - La maintenance devra être la plus réduite et la plus facile possible,
- 4 - La pérennité de la construction est l'objectif à atteindre.





<b>1 - Qualités hygrothermiques .....</b>	<b>114</b>
1.1 - Inertie thermique.....	114
1.2 - Régulation de l'humidité.....	115
<b>2 - Entretien et durabilité .....</b>	<b>115</b>
2.1 - Durée de vie .....	116
2.2 - Mise en œuvre et destination.....	116
2.3 - Conditions d'utilisation.....	116
2.4 - Evolutivité de l'ouvrage .....	116
<b>3 - Entretien et maintenance .....</b>	<b>117</b>
<b>4 - Impact environnemental .....</b>	<b>117</b>
4.1 - Matériaux locaux.....	117
4.2 - Impact environnemental.....	119
<b>5 - Impact sanitaire.....</b>	<b>120</b>
5.1 - Valeurs d'émission de COV et formaldéhydes.....	120
5.2 - Classement CMR.....	121
5.3 - Traitement du bois .....	121

Le choix des matériaux fait l'objet d'une problématique majeure, tout au long de la conception d'un projet de bâtiment. Depuis les ouvrages de structure et d'enveloppe jusqu'aux produits de finition, il est sujet à de multiples contraintes techniques, architecturales, sanitaires et environnementales.

En Polynésie française, s'ajoute à toutes ces contraintes, la problématique de disponibilité, de transport et de coût.

Ce chapitre a pour objectif de présenter les principales thématiques associées au choix des matériaux et vient compléter les autres chapitres du guide traitant du rafraîchissement ou de l'exploitation/maintenance.

Le thème des impacts sanitaires et environnementaux des matériaux sera particulièrement traité.

## 1 - QUALITÉS HYGROTHERMIQUES

### 1.1 - INERTIE THERMIQUE

L'inertie thermique d'une paroi est caractérisée par sa **capacité à décaler les apports de chaleur**.

Cette propriété s'explique par **l'épaisseur des parois** (une onde de chaleur met davantage de temps à traverser une paroi épaisse) mais aussi par la **densité et la structure des matériaux** qui facilitent ou non le transfert de chaleur.

Les parois en matériaux lourds de la construction tels que béton, brique, pierre, etc. ont une forte inertie thermique; les parois légères en bois, métal, plâtre, etc. ont au contraire une faible inertie thermique.

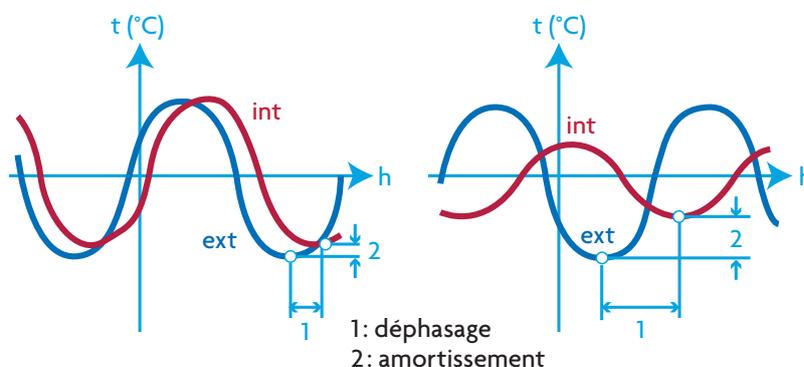
Cette capacité permet de limiter les effets d'une **variation « rapide »** de la température extérieure sur le climat intérieur par un **déphasage** entre la température extérieure et la température de surface intérieure des murs et par amortissement de l'amplitude de cette variation.

Il est donc possible d'améliorer le confort thermique de manière passive au sein d'un bâtiment en décalant l'impact de la chaleur extérieure diurne sur la température intérieure.

Toutefois, en Polynésie française, contrairement à la métropole, les écarts de température entre jour et nuit étant relativement faibles, son efficacité reste limitée.

Attention, l'inertie thermique ne se substitue pas à la **protection solaire** qui reste primordiale dans tous les cas. Par contre elle permet d'étendre les plages de confort et dans le cas de climatisation d'amortir les charges et donc de réduire la puissance frigorifique à installer.

Le choix des matériaux en contact avec le volume intérieur, selon leur caractéristique d'inertie thermique, est donc primordial: selon le type d'occupation, on choisira de déphaser la température extérieure et la température intérieure de manière plus ou moins importante.



Faible inertie thermique

Forte inertie thermique

Courbes de température extérieure et intérieure selon l'inertie de l'enveloppe

Dans le cas d'un bâtiment de bureau, dont le scénario d'occupation se situe exclusivement en journée, avec une présence possiblement importante en fin de journée, **il est pertinent de concevoir une enveloppe en matériaux avec une inertie thermique forte à très forte.**

En cas de climatisation, cette typologie est tout à fait adaptée, l'inertie favorisant un stockage des frigorifiques à l'intérieur et apportant un effet « paroi froide ». On évitera la diffusion des calories extérieures en protégeant les parois par des protections solaires adaptées et/ou une peau extérieure à faible inertie.

Ces préconisations apportent un axe de réflexion simplifié sur la catégorie d'inertie préférable pour le bâtiment. Le volume et le choix des matériaux doivent être définis en fonction du contexte, des enjeux programmatiques et des études thermiques simples ou complexes réalisées pendant la phase de conception.

Exemple de matériaux selon le type d'inertie souhaitée :

- Inertie légère :
  - Bois léger
  - Plaques de plâtres
  - Tôle métallique
- Inertie moyenne :
  - Bois dur
  - Plaques de fibrociment
  - Carreaux de plâtre
  - Blocs alvéolaires en parpaing et terre cuite,
  - Béton cellulaire
- Inertie forte :
  - Béton
  - Pierre
  - Blocs pleins de parpaing et terre cuite

## 1.2 - RÉGULATION DE L'HUMIDITÉ

Comme expliqué dans la partie « *Rafraîchissement des locaux* », le diagramme de Givoni montre que l'élevation du taux d'hygrométrie à température équivalente peut provoquer une sensation d'inconfort.

**Des matériaux permettent de réguler l'hygrométrie d'une pièce en absorbant une partie de l'humidité présente.** C'est tout à fait intéressant en milieu tropical humide où le taux élevé d'hygrométrie est le plus souvent la cause de l'inconfort.

Voici une liste non exhaustive des matériaux jouant un rôle sur la régulation de l'hygrométrie au sein des espaces intérieurs :

- La terre :
  - Enduit monocouche en terre
  - Brique en terre crue
  - Brique en terre cuite
  - Brique alvéolaire
- Le bois massif :
  - Poteaux et charpente
  - Panneaux
  - Meubles
- Le béton cellulaire
- Le plâtre :
  - Panneaux de cloison
  - Dalles de faux-plafond
  - Carreaux de plâtre
- La pierre

Plus la surface de contact entre le matériau et l'air intérieur est grande, plus la régulation hygrométrique sera efficace. Ces matériaux doivent être mis en œuvre sans peinture, lasure ou tout revêtement qui dégradent leurs qualités, notamment en termes de porosité.

## 2 - ENTRETIEN ET DURABILITÉ

Le maître d'ouvrage doit s'interroger sur la **durée de vie** qu'il souhaite pour son bâtiment : selon sa destination, son implantation (provisoire ou définitive), le contexte urbain, le bâtiment va s'inscrire dans le court, le moyen ou le long terme.

L'impact environnemental d'un bâtiment s'inscrivant à court ou moyen terme peut être fortement réduit si le processus de déconstruction et le recyclage des matériaux sont envisagés dès le stade de la conception.

Les matériaux et procédés de construction contribuent à l'adaptabilité de l'ouvrage, tant sur le court terme (jusqu'à 10 ans), que sur le moyen ou long terme (au-delà de 10 ans). L'objectif de ce chapitre est donc d'anticiper les **besoins** et les **évolutions** futurs et de préparer une vie en exploitation à **faible impact environnemental**, sans précipiter l'obsolescence de l'ouvrage.

### 2.1 - DURÉE DE VIE

Il s'agit de pousser le constructeur à réfléchir sur l'usage futur du bâtiment, sa durée de vie et son adaptabilité. Pour cela, les paramètres suivants doivent être définis :

- **Durée de vie prévisionnelle totale** du bâtiment. Elle est estimée selon plusieurs critères: la rentabilité, la capacité financière d'investissement, le contexte environnemental, etc.
- **Durée de vie « courte »** de l'ouvrage, autrement dit la durée de vie du bâtiment jusqu'à ce qu'il soit modifié, réhabilité ou réadapté. Elle est estimée selon le type d'activité prévue ou possible au sein du bâtiment et dépend de la pérennité des activités et les évolutions possibles, le développement de nouvelles activités, etc.

À la suite de cette réflexion, il est possible de définir la durée de vie de chacun des matériaux de l'ouvrage, permettant ainsi de guider les choix de conception.

### 2.2 - MISE EN ŒUVRE ET DESTINATION

Pour une meilleure **durabilité**, les matériaux de construction devront respecter les **normes et Documents Techniques Unifiés**.

Le cas échéant, le matériau doit bénéficier d'un **Avis Technique** ou tout autre **agrément** délivré par un organisme indépendant

Les conditions de mise en œuvre doivent correspondre à celles prévues par les documents références: taux d'humidité, température, stockage, risque incendie, etc.

### 2.3 - CONDITIONS D'UTILISATION

Les matériaux, notamment les revêtements intérieurs, doivent prendre en considération :

- La fréquence d'occupation des locaux
- Le type d'utilisation et d'utilisateur
- Le type d'activité

Afin de contraindre le moins possible la conception architecturale et technique de l'ouvrage, il est recommandé d'identifier, au préalable, les éléments « critiques » en termes d'utilisation.

Ces éléments bénéficieront d'une réflexion particulière sur le choix des matériaux :

- Espaces de travail :
  - Le sol est fortement sollicité par des déplacements de chaises à roues ou pied. Celui-ci doit donc montrer une bonne résistance au poinçonnement tout en permettant d'absorber les bruits pour préserver une ambiance acoustique satisfaisante (notamment pour les bureaux partagés).
- Circulations :
  - Les sols et murs doivent être adaptés à un trafic journalier important. On recherchera pour les revêtements de sol, une bonne résistance à l'usure et pour les murs, une bonne résistance à l'abrasion.

### 2.4 - ÉVOLUTIVITÉ DE L'OUVRAGE

Il s'agit d'identifier les espaces au sein de l'ouvrage dans lesquels il pourrait survenir un changement d'occupant ou une modification des activités, voire de destination, entraînant des **modifications architecturales et techniques**.

Dans le cas d'un bâtiment de bureaux, il s'agit de mener une réflexion à deux niveaux :

- La modularité des espaces de travail pour permettre à la fois d'effectuer des réaménagements :
  - Pendant la période d'occupation des locaux
  - À chaque changement d'occupant
- L'évolutivité du bâtiment pour permettre un changement de destination au cours de sa durée de vie: commerce, résidentiel, etc.

En fonction de ces paramètres, voici quelques exemples de dispositions à mettre en œuvre :

- Envisager des revêtements et équipements techniques adaptés à **plusieurs activités** différentes pour éviter leur remplacement,
- **Surdimensionner** et/ou **optimiser** les espaces techniques: plenums, gaines et armoires techniques, bouclages, etc. À titre d'exemple: on peut prévoir, en mesure conservatoire, des dispositions techniques permettant l'installation ultérieure de cuisines dans des espaces de travail pour une reconversion en bâtiment résidentiel.
- Prévoir des circulations (et des sorties de secours) dimensionnées pour un nombre d'utilisateurs prenant en compte les **évolutions possibles**, par exemple,

en cas d'évolution vers des espaces de commerce recevant plus de personnes.

- Préférer des systèmes techniques qui sont facilement démontables ou évolutifs.
- Utilisation de revêtements de sols facilement démontables.
- Selon les cas, utiliser des cloisons facilement démontables ou légères
- Systèmes de plafonds permettant une adaptabilité des espaces.

• Utiliser des principes structurels évolutifs :

- Type poteaux/poutres avec peu de murs porteurs pour une plus grande modularité des espaces
- Trames porteuses et ouvertures en façade permettant une adaptabilité horizontale aisée.
- Prévoir des hauteurs d'étage suffisamment dimensionnées pour accueillir plusieurs types d'activités

### 3 - ENTRETIEN ET MAINTENANCE

La conception de l'ouvrage doit prendre en compte les dispositions mises en place pour faciliter l'accès aux éléments de revêtements des locaux, aux cloisons et plafonds, fenêtres, menuiseries, vitrages, façades, protections solaires, toitures, dans tous les espaces.

Il s'agit ici de vérifier que ces éléments sont accessibles. Le **degré d'accessibilité** doit être déterminé au regard de la fréquence **d'entretien**.

Les matériaux de revêtement intérieur installés dans les zones ayant des contraintes d'entretien ou d'usage particuliers (sanitaires, cafétéria, espaces restauration, etc.) doivent démontrer leur **durabilité** et leur **facilité d'entretien** ou bien leur **faible besoin en entretien** et maintenance.

### 4 - IMPACT ENVIRONNEMENTAL

L'impact environnemental d'un matériau est déterminé sur la base d'une analyse de cycle de vie.

Mais s'intéresser aux produits de construction dans une démarche environnementale consiste d'une part à connaître leurs **caractéristiques intrinsèques**, et d'autre part à ramener ces données à l'échelle de l'ouvrage et du contexte local.

C'est ainsi que plusieurs critères d'appréciation se dégagent pour le choix des matériaux :

- Les impacts environnementaux des produits (énergie grise)
- La prise en compte les spécificités liées à l'insularité
- La source d'approvisionnement des matériaux (locale ou extérieure)

Dans un premier temps il s'agit de privilégier l'approvisionnement en **matériaux naturels locaux**. D'abord parce que le transport des matériaux importés représente un poids environnemental certain, et ensuite parce que les matériaux produits localement peuvent avoir un impact environnemental très réduit du fait des moyens de production réduits.

#### 4.1 - MATÉRIAUX LOCAUX

La Polynésie présente un potentiel de gisement intéressant pour les matériaux issus de ressources naturelles nécessitant peu de transformations telles que le bois et la pierre. Il est néanmoins constaté un manque de structure autour des filières de transformation qui ne demandent qu'à se développer.



Exemples de matériaux locaux

Voici une liste des ressources principales en **matériaux de construction locaux**:

Matériau	Destination	Provenance	Commentaires
Verre recyclé	Agrégats	Tahiti Moorea	le verre concassé peut être utilisé en matériau drainant en sous-couche de dalle en béton, drainage pour les murs de soutènement ou pour les bassins d'infiltration. C'est un matériau très bon marché.
Pandanus	Toiture	Moorea - Maiao Bora Bora	Filière active et organisée. Ce matériau a une durée de vie limitée et doit être renouvelé tous les 5 à 7 ans.
Pierre de Moorea	Murs, parements et murets		Filières de transformation présentes sur Tahiti. Gestion de la ressource non contrôlée
Pierre de lave	Murs, parements et murets		Filières de transformation présentes sur Tahiti
Bois	Structure / Couverture Bardage Menuiserie	Marquises Bora Bora Tahiti Australes	Les principales essences locales sont : Aito, Pinus, Bambou, cocotier, Falcata, Marumaru. Présence de nombreuses scieries et menuiseries sur Tahiti, Moorea et Raiatea mais des filières peu structurées.
Brique de terre concassée			La terre argileuse, très présente sur les îles de Polynésie, constitue une matière première intéressante pour la fabrication. Aucune filière existante.



### POUR ALLER PLUS LOIN

La filière du bois de *Pinus Polynésien* est en cours de mise en place. Des études réalisées depuis 2016 en commun par le CIRAD et le SDR visent à évaluer la qualité de l'essence pour son utilisation en construction. Les premiers retours montrent que le bois pourrait être utilisé comme bois d'œuvre, c'est-à-dire pour des ouvrages de structure, charpente et ossature de cloison (classe C18 et C24). Une procédure de classification officielle est en cours afin de valider son utilisation pour la construction de bâtiments.

## 4.2 - IMPACT ENVIRONNEMENTAL

L'appréciation de l'impact environnemental d'un matériau se fait selon différents indicateurs (Norme NF P01-010):

- La consommation de ressources énergétiques (énergie grise)
- La consommation de ressources non énergétiques
- La consommation d'eau
- La production de déchets solides (déchets valorisés et déchets éliminés)

- L'impact sur le changement climatique
- L'acidification atmosphérique
- Pollution de l'air
- Pollution de l'eau
- Destruction de la couche d'ozone stratosphérique
- Formation d'ozone photochimique

Voici une comparaison par type d'ouvrage, des impacts environnementaux selon **3 indicateurs** pertinents:

		Impact environnemental		
Famille	Matériau	Énergie grise	Changement climatique	Déchets éliminés
Structure / Couverture	Bois	Faible	Très faible	Faible
	Béton armé	Moyen	Moyen	Très fort
	Acier	Très fort	Fort	Faible

		Impact environnemental		
Famille	Matériau	Énergie grise	Changement climatique	Déchets éliminés
Parois/cloisons	Contreplaqué	Moyen	Négatif	Faible
	Fibrociment	Fort	Moyen	Faible
	Plâtre	Faible	Faible	Faible
	Blocs de parpaing	Moyen	Moyen	Fort
	Blocs de béton cellulaire	Fort	Fort	Moyen
	Briques de terre cuite	Fort	Moyen	Moyen

		Impact environnemental		
Famille	Matériau	Énergie grise	Changement climatique	Déchets éliminés
Isolants	Laine de roche	Faible	Moyen	Moyen
	Laine de verre	Moyen	Faible	Faible
	Polystyrène	Fort	Faible	Faible
	Polyuréthane	Très fort	Moyen	Faible



*Laine de roche et laine de verre*

Le bois de construction devra être issu d'une forêt durablement gérée. Des labels tels que FSC ou PEFC permettent de s'assurer de la qualité environnementale.



*Construction entièrement réalisée en bois durablement géré*

## 5 - IMPACT SANITAIRE

Les produits de construction, de par leurs caractéristiques intrinsèques, sont la source de différents impacts sur la santé et sur le confort olfactif des occupants : émissions de polluants chimiques, émissions d'odeurs, caractère favorisant ou non la croissance fongique ou bactérienne, etc.

Les polluants émis par les matériaux sont majoritairement quantifiés par leur teneur en **Composés Organiques Volatiles (COV)** et en **formaldéhyde** ainsi que le **classement CMR** (Cancérigènes, Mutagènes, Reprotoxiques).

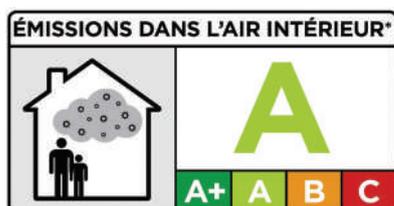
### 5.1 - VALEURS D'ÉMISSION DE COV ET FORMALDÉHYDES

Depuis plusieurs années, les tests de caractérisation de teneur en polluants sur les produits de construction se sont largement répandus.

La réglementation Européenne impose un affichage des taux de COV et formaldéhyde pour les produits en contact avec l'air intérieur. Un classement permet d'identifier rapidement le taux de polluants des matériaux.

Pour les produits constituant les surfaces sols/murs/plafond en contact avec l'air intérieur, les valeurs seuil suivantes doivent être respectées :

- Teneur en COV < 1500 µg/m<sup>3</sup> - ou Classe A
- Teneur en Formaldéhyde < 60 µg/m<sup>3</sup> - ou Classe A



Étiquette indiquant le taux de polluant des matériaux

Les COV et Formaldéhydes sont très souvent présents dans les solvants.

Pour les peintures, colles et vernis, les produits en phase aqueuse maintenant proposés par les fabricants présentent en général des qualités identiques aux produits solvantés tout en ayant des teneurs en polluant nettement plus faibles.

#### POUR ALLER PLUS LOIN

Il existe des labels environnementaux permettant de s'assurer de la qualité sanitaire des matériaux employés.

Les labels « Ecolabel Européen » et « NF Environnement » présentent des seuils d'émission en COV très laxistes, c'est pourquoi ils ne sont pas cités dans la liste des labels suivante (non exhaustive) :

- Label « Indoor Comfort Gold »
- Label « Emicode »
- « Indoor Climate Label »
- Label « GUT » (revêtements de sol uniquement)
- Label « Blue Angel »
- Label « CertiPur »
- Label « FloorScore »
- Label « AgBB »
- Label « AFSSET »
- « Green Label » et « Green Label Plus »

## 5.2 - CLASSEMENT CMR

Le règlement 1272/2008 relatif à la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et des mélanges (CLP) présente 3 catégories de dangerosité :

- **Catégorie 1A** : Effets CMR avérés pour l'homme
- **Catégorie 1B** : Effets CMR présumés pour l'homme
- **Catégorie 2** : Effets CMR suspectés pour l'homme
- **Catégorie complémentaire** : Effets sur ou via l'allaitement

Pour tous les produits de construction en contact avec l'air intérieur, **les émissions de substances CMR 1A et 1B** intentionnellement introduites dans le procédé de fabrication ou naturellement présentes dans les matières premières utilisées **doivent être connues**.

Les composants chimiques contenant des agents CMR bénéficient d'une fiche CMR consultable sur le site : [www.substitution-cmr.fr](http://www.substitution-cmr.fr).

## 5.3 - TRAITEMENT DU BOIS

Les ouvrages en bois devront être traités par un produit certifié **CTB P+** adapté à la classe de risque. Les classes de durabilité sont définies dans les normes NF EN 350-1 [2S], NF EN 350-2 [2T], NF EN 460 [2U].

## EN RÉSUMÉ



- 1 - Le choix de matériaux est effectué sur la base de différents critères qu'il convient de hiérarchiser au regard du contexte de l'opération et des objectifs environnementaux.
- 2 - Les qualités hygrométriques doivent prendre en compte la stratégie de confort envisagée et la destination du projet, définissant la catégorie d'inertie de l'enveloppe.
- 3 - Les matériaux hygrorégulateurs sont à privilégier, selon le contexte, car ils peuvent apporter un confort supplémentaire.
- 4 - La durabilité des matériaux est fonction de la durée de vie estimée de l'ouvrage et de leur destination. Un matériau de façade n'aura pas la même durabilité qu'un matériau de revêtement car la durée de vie de l'enveloppe est supérieure à celle de l'aménagement intérieur.
- 5 - Les impacts environnementaux, notamment ceux liés au transport, doivent être pris en compte et les matériaux locaux doivent être privilégiés.
- 6 - Les seuils d'émission en polluants doivent être respectés pour les matériaux de revêtement afin de limiter la pollution intérieure.





# GESTION DES DÉCHETS D'ACTIVITÉ

7

<b>1 - Déchets de chantier .....</b>	<b>126</b>
1.1 - La démarche .....	126
1.2 - Les objectifs .....	126
1.3 - Les modalités .....	128
1.4 - Catégories de déchets .....	128
<b>2 - Stratégie de recyclage .....</b>	<b>130</b>
2.1 - Gestion des déchets d'activité .....	130
2.2 - Stratégies transversales .....	131
<b>3 - Stockage des déchets .....</b>	<b>131</b>
3.1 - Conception des locaux déchets .....	131
3.2 - Dimensionnement des locaux déchets .....	132
<b>4 - Optimisation des conditions d'hygiène .....</b>	<b>132</b>

Générer moins de déchets et mieux les valoriser passe par une prise de conscience des acteurs et une amélioration des modes de collecte et de traitement. Limiter la mise en décharge aux seuls déchets ultimes induit un système de collecte et de tri interne optimal, ainsi qu'une bonne adéquation avec les systèmes de collectes extérieurs.

En matière de gestion des déchets d'usage, le contexte Polynésien induit une complexité et des particularités dont les concepteurs devront tenir compte: il existe peu de filières de récupération, recyclage ou valorisation locales et la plupart des recyclables sont exportés vers d'autres pays. L'ensemble étant compliqué

par l'étendue du territoire et par la dévolution des compétences déchets aux communes (collecte et traitement des ordures ménagères et des déchets verts).

Néanmoins, le concepteur s'attachera à rechercher une bonne gestion des déchets par:

- **L'implantation et l'adaptation de locaux** répondant à un schéma de collecte intérieure optimisée, en lien avec les contraintes des utilisateurs.
- **La cohérence entre le circuit des déchets et le comportement des usagers**
- **La sensibilisation des usagers et du personnel.**

## 1 - DÉCHETS DE CHANTIER

### 1.1 - LA DÉMARCHE

Tout chantier génère des impacts et nuisances sur l'environnement: production de déchets (non dangereux, dangereux et inertes), atteinte à la biodiversité, bruit, poussière, consommation d'énergie... Cette thématique est donc à considérer pour tout projet souhaitant s'inscrire dans la démarche FAREco.

En Polynésie française, une charte « Chantier Vert » a été élaborée par l'ensemble des acteurs du secteur du Bâtiment et des Travaux Publics (BTP) en 2015. C'est une démarche participative et partagée, permettant à tous d'avoir les mêmes objectifs:

- Limiter les risques et les nuisances causés aux riverains du chantier
- Limiter les risques sur la santé des ouvriers
- Limiter les pollutions de proximité lors du chantier
- Limiter la quantité de déchets de chantier mis en décharge
- Limiter les impacts sur la biodiversité et, d'une manière plus générale, sur les milieux
- Avoir un document de référence soutenu par l'ensemble de la profession (entreprises, bureaux d'études, maîtres d'œuvre, conducteurs d'opération...) et des maîtres d'ouvrage.

### 1.2 - LES OBJECTIFS

Les **Chantiers Verts** ont pour but principal de **gérer les nuisances environnementales engendrées par les différentes activités liées au chantier**, leur objectif est de mieux identifier les enjeux liés aux questionnements environnementaux sur les chantiers et

de mettre en évidence des solutions tant techniques qu'organisationnelles pour y répondre.

Pour un chantier de construction, réduire les nuisances environnementales répond à deux objectifs, selon deux échelles:

- Celle du chantier et de sa proximité. Il s'agit alors des nuisances ressenties par les usagers, extérieurs ou intérieurs au chantier: le personnel du chantier, les riverains, les occupants dans le cas de réhabilitation, les usagers de la voie publique. Ces nuisances sont par exemple le bruit, les salissures, les circulations, les stationnements.
- **Celle de l'atteinte à l'environnement et à la population** en général. L'objet est alors de préserver les ressources naturelles et de réduire l'impact des chantiers sur l'environnement. Cet objectif revêt une importance particulière au regard des nuisances provoquées par l'ensemble des chantiers de bâtiment, surtout en termes de déchets produits et de pollutions induites.

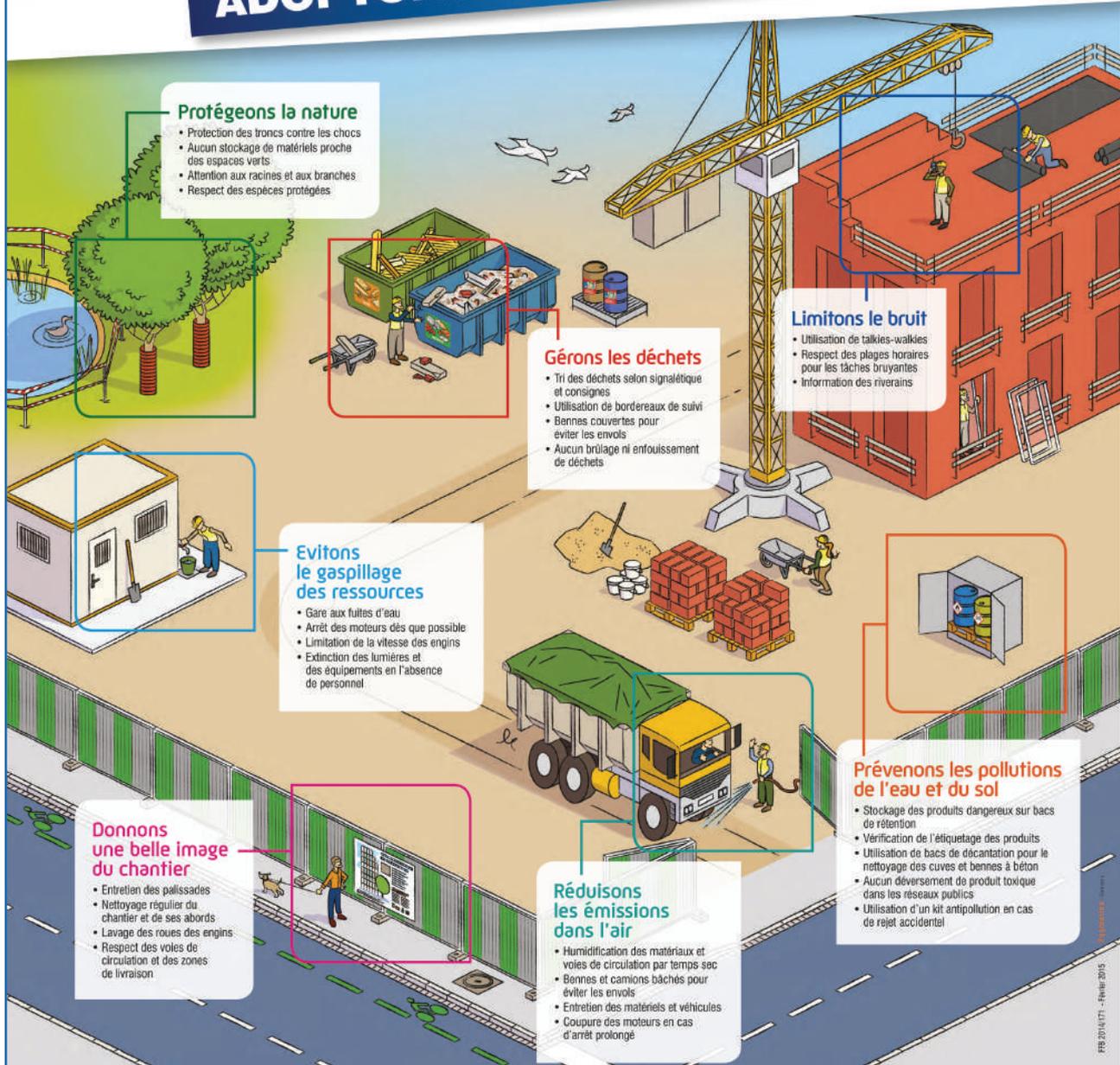
On distingue **trois types de cibles** pour la mise en œuvre d'actions de gestion et de réduction des nuisances environnementales:

- **Les flux entrants du chantier**: engins et matériels utilisés sur le chantier, matériaux et produits mis en œuvre...
- **Le chantier lui-même**: techniques employées, gestion des déchets...
- **Les flux sortants du chantier**: déchets évacués, nuisances générées vis-à-vis des riverains...

Réduire toutes ces nuisances, dans les contraintes économiques difficiles de la construction, peut sembler

# CHANTIER PROPRE

## ADOPTONS LES BONS GESTES !



Affiche « chantier propre » issue de la démarche chantier vert de Nouvelle Calédonie

une gageure. Cependant, tous les acteurs sont concernés, chacun peut y trouver un intérêt propre.

**La maîtrise d'ouvrage** répond ainsi mieux aux besoins de ses clients, des usagers et de la collectivité dont

elle dépend; **la maîtrise d'œuvre** peut proposer des améliorations globales à moindre coût; **l'entreprise** travaille différemment ce qui peut devenir un atout, pour elle, vis-à-vis de la concurrence.

### 1.3 - LES MODALITÉS

La démarche « Chantier Vert » est une démarche volontaire qui s'adresse aux maîtres d'ouvrage, ainsi qu'aux professionnels du BTP et artisans. Cette démarche est portée en premier lieu par le Maître de l'Ouvrage qui étudie cette option dès la phase programmation et l'intègre au bilan prévisionnel de l'opération. Il sera assisté par l'Assistant à la Maîtrise d'Ouvrage Environnementale et par le Maître d'œuvre lors des phases de conception et de réalisation.

La démarche se décompose en deux parties :

- La **charte « Chantier Vert »** qui définit les bonnes pratiques à respecter
- Des **préconisations techniques** qui reprennent la charte et proposent des mesures pour aller plus loin dans le respect de l'environnement

Afin de faire respecter cette charte, le maître d'ouvrage la fait signer par toutes les entreprises intervenant sur le chantier ou l'intègre dans les pièces contractuelles du marché de travaux. Le maître d'œuvre transcrit alors le projet en spécifications techniques qui seront imposées contractuellement à l'entreprise par un Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP). Le maître d'œuvre peut compléter ces spécifications par des dispositions concernant le déroulement du chantier, visant à diminuer les nuisances propres à celui-ci (bruit, poussière...).

Il définit alors les objectifs environnementaux du chantier et peut demander à l'entreprise d'élaborer un plan d'assurance environnement et de le mettre en œuvre. Il peut demander que les principales actions prévues par ce plan soient décrites dans le mémoire technique remis avec l'offre de l'entreprise et en tenir compte dans la recherche du mieux-disant.

Les entreprises décrivent dans le mémoire technique remis avec l'offre les principales actions à mener conformément aux objectifs environnementaux. Elles prennent toutes les dispositions nécessaires au respect de la démarche « Chantier Vert » et à leur mise en pratique **dès le début du chantier, et ce jusqu'à la phase de repli**.

À noter que cela implique **une réflexion en amont de la phase de chantier**, voire des études préalables pour la mise en place de dispositifs conséquents (exemple : mise en place d'un plan raisonné de gestion des eaux de ruissellement, audit des bâtiments avant démolition, etc.).

### 1.4 - CATÉGORIES DE DÉCHETS

Les déchets sont issus des chantiers de toutes tailles (construction, rénovation, démolition, dépollution des sols). Ils se répartissent en 3 catégories :

- Les déchets inertes (terres, cailloux, béton, matériaux de démolition de chaussées, matériaux de construction)
- Les déchets non dangereux (déchets industriels banals, bois, plâtres, métaux, plastiques)
- Les déchets dangereux (aérosols, huile, amiante, peinture, terres polluées, goudron et produits associés, huiles, hydrocarbures et produits associés, piles, accumulateurs, bois traités et produits de traitement du bois, emballages souillés par des produits dangereux)

La diversité des déchets concernés et de leur mode de valorisation nécessite une approche globale de gestion, et notamment la mise à disposition de matériel de collecte adapté et l'organisation du tri à la source (formation au tri sélectif, conseil sur les filières de valorisation...). Les communes ne sont pas dans l'obligation de collecter et traiter les déchets liés à une activité professionnelle. Le maître d'ouvrage devra donc s'assurer en amont de son projet de l'existence d'une filière de traitement des déchets qu'il a choisi de recycler.

Selon les types de déchets concernés, on agira de la façon suivante :

- Pour les déchets inertes :
  - Préparation des déchets inertes à la réutilisation, en remblaiement notamment, ou stockage dans des installations dédiées
- Pour les déchets non dangereux :
  - Extraction des matières valorisables (plastiques, métaux, câbles, verres, palettes...) et recyclage
  - Valorisation énergétique des produits non dangereux
  - Traitement des déchets non valorisables en Centre d'enfouissement technique
- Pour les déchets industriels dangereux :
  - Stabilisation et stockage en centre d'enfouissement technique
  - Valorisation énergétique et matière en cimenterie
  - Traitement et valorisation en incinération spécifique
  - Régénération de solvants et fuels

## Étapes de la mise en place d'un chantier vert

AVANT LE CHANTIER	Intégrer la démarche chantier vert dans l'opération	MO		
	Intégrer les coûts dans l'enveloppe financière	MO		
	Définir le niveau de contraintes liées à la démarche <i>PROGRAMME ET/OU CONCEPTION</i> <i>Pilote environnement ou BET environnement dans le groupement de MOe</i> <i>Intégration dans le programme de points spécifiques à la démarche</i> <i>Analyse de l'état initial du site (cf. EIE)</i> <i>Définition des filières de valorisation et d'élimination</i> <i>Choix de l'organisation financière</i> <i>Estimation des coûts d'aménagement et de gestion des déchets, des coûts liés à la mise en œuvre de la charte</i> <i>Élaboration de documents type (PAE, SOGED/PGD, charte chantier...)</i> <i>Plan d'organisation du chantier</i>	MO	MOe	
	Intégrer les prescriptions dans le DCE <i>Éléments dans le CCTP de chaque lot et dans le tableau de prix DPGF</i> <i>SOGED/PGD type et responsable chantier vert/environnement</i>		MOe	
	Répondre conformément aux prescriptions du DCE			ENT
	Prendre en compte les éléments de réponse liés à la démarche dans l'analyse des offres	MO	MOe	
	Lettre et formulaire d'engagement dans la charte Chantier vert	MO		
	PENDANT LE CHANTIER	Préparation de chantier spécifique à la démarche <i>Identification d'un responsable environnement / chantier vert</i> <i>Élaboration et signature des contrats de prestation déchets</i>		
Informé et coordonner les intervenants <i>information sur la gestion environnementale du chantier</i> <i>Définir le rôle des acteurs et la répartition des tâches</i> <i>Information sur l'organisation financière retenue (gestion des déchets, référent environnement chantier au prorata...)</i> <i>Répartition des rôles.</i> <i>Formation et sensibilisation des employés / sous-traitants</i>		MO	MOe	ENT
Mise en œuvre et suivi <i>Intégrer le suivi du chantier vert aux visites/réunions de chantier périodiques</i> <i>Intégrer l'aspect chantier vert aux PV de chantier</i> <i>Appliquer les pénalités définies au CCTP</i>		MO	MOe	ENT

Le maître d'ouvrage (MO) peut s'il le souhaite s'appuyer sur les compétences d'un référent environnement (assurant à maîtrise d'ouvrage en qualité environnementale du bâtiment -AMO QEB-, maître d'œuvre -MOe-, bureau d'études techniques -BET-) dès l'origine du projet afin de l'assister dans la mise en place des objectifs environnementaux liés au projet et au chantier.



**POUR ALLER PLUS LOIN**

Des informations complémentaires pourront être recherchées dans la version pilote de la Charte Chantier Vert émise par la CCISM et l'ADEME. Ces entités ont également rédigé un guide des déchets des entreprises de Polynésie française.

Ces deux documents sont téléchargeables sur le site de l'ADEME: [www.polynesie-française.ademe.fr](http://www.polynesie-française.ademe.fr)

**2 - STRATÉGIE DE RECYCLAGE**

**2.1 - GESTION DES DÉCHETS D'ACTIVITÉ**

La gestion des déchets concerne essentiellement la phase d'exploitation du bâtiment, où ceux-ci sont générés par les activités présentes dans le bâtiment et sur sa parcelle. L'enjeu environnemental est de **limiter la production** de déchets ultimes et donc la saturation des centres d'enfouissements techniques ou des décharges communales.

Pour cela il convient de mettre en œuvre les dispositions qui assureront la séparation des déchets en phase d'exploitation en vue d'une valorisation optimale, en relation avec les filières de valorisation locales. Afin d'être efficace, cette démarche devra être simple et fonctionnelle et garantir le confort au quotidien des usagers :

- Établir avec cohérence le choix des déchets à recycler en fonction des filières de collecte et de

traitement existantes sur le territoire. Pour rappel, les Communes ne sont pas dans l'obligation de collecter et traiter les déchets liés à une activité professionnelle. Une prise de contact avec d'autres acteurs (Enviropol, TSP...) peut être établie.

- **L'implication** de l'ensemble des acteurs de l'établissement dans le processus est une des clefs d'une meilleure gestion des déchets.
- La **communication** avec les usagers et personnel exploitant est la clé de la tenue dans le temps de la démarche. Une note explicative devra être remise avec le dossier d'exploitation du bâtiment qui identifiera le circuit des déchets, les moyens mis en œuvre, les spécificités du recyclage dans la commune et toute autre information nécessaire.
- Mettre en place une **stratégie de gestion** du tri sélectif: concevoir des locaux spécifiques, ainsi que des conteneurs adaptés et bien signalisés.



Illustration des déchets d'activité dans les bureaux



fonctionnaire et par an). Peu de sortes de déchets différents sont générés, ce qui facilite la mise en place d'un tri. Les déchets sont simples et les filières de recyclage existent au niveau local. C'est un avantage par rapport à d'autres secteurs économiques où les déchets peuvent être plus nombreux et complexes à gérer.

### 3-2 - DIMENSIONNEMENT DES LOCAUX DÉCHETS

Pour le dimensionnement précis des locaux de stockage des déchets, les éléments suivants devront être pris en compte :

- **Nombre d'utilisateurs** par lieu de stockage des déchets concernés
- **Type de flux** (ordures ménagères, emballages et journaux-magazines, verre, etc.)
- **Nombre de collectes** par semaine et par type de flux
- **Ratios de production** théorique de déchets par an, par personne et par flux

Typologies déchets	Part	Quantité (kg/an.p)	Masse volumique kg/m <sup>3</sup>
Déchets organiques	4 %	17	300
Papiers/carton	71 %	302	300
Verre	0 %	0	300
Plastiques	3 %	13	300
Métaux	3 %	13	100
Autres déchets	19 %	81	200
<b>TOTAL</b>	<b>100 %</b>	<b>425</b>	

Si le maître d'ouvrage ne souhaite pas procéder au dimensionnement précis du local, une méthode forfaitaire peut être appliquée. Chaque local de stockage doit être d'une taille suffisante pour le positionnement des conteneurs et leur déplacement, en respectant une des règles suivantes, selon le nombre d'utilisateurs se rapportant au local étudié :

- Surface local  $\geq 5,5 + (0,14 \times \text{nombre d'utilisateurs}) \text{ m}^2$ , si le nombre d'utilisateurs  $< 50$
- Surface local  $\geq 8 + (0,09 \times \text{nombre d'utilisateurs}) \text{ m}^2$ , si le nombre d'utilisateurs  $\geq 50$

## 4 - OPTIMISATION DES CONDITIONS D'HYGIÈNE

La maturation des déchets est accélérée par le climat tropical humide dont bénéficie la Polynésie. Il s'agit de limiter les désagréments occasionnés par ces conditions et permettre le nettoyage des locaux en optimisant les conditions d'hygiène des locaux de collecte.

Il convient donc que le local soit :

- Protégé des vents et de la pluie
- Bien éclairé
- Équipé d'un point d'eau et d'une évacuation par un siphon de sol, pour l'entretien des conteneurs et du local
- Aéré et ventilé en dépression (présence d'une bouche d'extraction d'air raccordée à un système de ventilation) afin d'éviter la propagation des odeurs
- Pourvu d'une signalétique avec pictogrammes et consignes de tri
- Équipé d'une porte de largeur supérieure ou égale à 1 mètre (dimension de l'ouvrant) et donnant sur l'extérieur
- Équipé d'un revêtement de sol permettant un entretien aisé (lavable) et une résistance au roulement des bacs correcte (carrelage ou équivalent - classement U4P4E3C2) sur la totalité du sol
- Conçu pour que le revêtement mural permette un entretien aisé (carrelage ou équivalent) sur au moins 1,40 m de hauteur pour l'ensemble des murs
- Conçu pour que le revêtement des sols du parcours des bacs soit de même classement UPEC que celui du local de stockage des déchets pour les dépendances et circulations intérieures





# ANNEXES

<b>1 - Tableau des seuils .....</b>	<b>136</b>
Gestion de l'énergie .....	136
Maîtrise des apports solaires .....	137
Rafraîchissement des locaux .....	138
Entretien / Maintenance .....	139
Confort acoustique et visuel.....	140
Matériaux.....	141
Gestion des déchets .....	142
<b>2 - Abaques des coefficients de masque (Cm) globaux.....</b>	<b>144</b>
Mode de calcul des coefficients de masque .....	144
Méthode et hypothèses de calcul .....	145
Auvent avec ou sans joues gauche et droite.....	146
Brise-soleils horizontaux.....	159
Brise-soleils verticaux.....	163
Débord de toiture .....	164
<b>3 - Banque de données des matériaux .....</b>	<b>165</b>
Terre, Pierre.....	165
Métaux et plastiques .....	165
Bétons et plâtres .....	165
Isolants.....	165
Briques et parpaings.....	166
Bois et végétaux.....	166
Vitrages.....	167
Isolants Mince Réfléchissants (IMR).....	167

## 1 - TABLEAU DES SEUILS

GESTION DE L'ÉNERGIE		
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions
Sobriété énergétique	Environnement immédiat	Réaliser une analyse de site simplifiée sous l'angle énergétique
	Usages et activités	Lister les différentes activités au sein du bâtiment. Pour chaque activité, caractériser le type d'occupant, les scénarii d'occupation, etc.
	Niveau de confort	Définir un niveau de confort pour chaque thème identifié : hygrothermique, eau chaude, acoustique, etc.
Efficacité énergétique par la conception du bâti	Implantation et volumétrie	Selon la stratégie de rafraîchissement déterminée, à justifier selon le projet
	Enveloppe	Inertie moyenne à forte ou réalisation d'une étude justifiant l'inertie choisie
	Aménagement intérieur	Assurer une cohérence climatique : faire un zonage thermique : regrouper les locaux climatisés, créations de zones tampons (« SAS thermiques »), etc.
Efficacité énergétique des systèmes	Régulation et pilotage	Mise en place d'outils de pilotage adaptés à l'opération (sonde de détection, minuterie, lecteur de carte, horloge)
	Rafraîchissement : climatisation et ventilation	Classe énergétique A minimum. Compléments à voir dans la partie "RAFRAÎCHISSEMENT DES LOCAUX"
	Eau chaude sanitaire	Favoriser l'utilisation des systèmes de production d'ECS à énergie renouvelable Si impossibilité d'une installation à partir d'énergie renouvelable, dérogation possible sous conditions : - Chauffe-eau électrique de classe énergétique A - Chauffe-eau gaz : rendement > 93 % A minima, un des équipements de gestion/surveillance suivants au choix : - Témoin lumineux marche/arrêt - Module complémentaire simple de temporisation - Module complémentaire multifonction
	Éclairage	Voir partie "CONFORT ACOUSTIQUE ET VISUEL (Éclairage artificiel)"
Énergies renouvelables	Eau chaude sanitaire	100 % des besoins couverts par une installation solaire, si le besoin est justifié.
		Productivité minimale de l'installation solaire en kWh/m <sup>2</sup> /an = 450 x (365 - nombre de jours de non-utilisation de l'ECS) / 365
		En cas de production solaire centralisée, respect des prescriptions du guide
	Solaire photovoltaïque	Autoconsommation ≥ 80 %
	Éolien	À étudier selon contexte
Comptage et tarification	Comptabilité énergétique	- Comptage pour chaque poste de consommation : ECS, ventilation/rafraîchissement et éclairage - Sous-comptage par zone et/ou activité pour le poste de consommation le plus important

GESTION DE L'ÉNERGIE (SUITE)		
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions
Comptage et tarification (suite)	Comptabilité énergétique (suite)	- Mise en place d'un processus de suivi des consommations avec a minima un circuit de facturation - Option : sous-comptage par zone et/ou activité pour chaque poste de consommation
	Approche en coût global	Option : Réalisation d'une étude en coût global simplifiée pour le choix des équipements
	Optimisation tarifaire de l'énergie	Étudier une stratégie de limitation des pics de puissance et optimiser la courbe de charge

MAÎTRISE DES APPORTS SOLAIRES				
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions		
Facteur solaire	Toiture	S <sub>max</sub> = 0,015* Teintes sombres et noires interdites		
	Murs	Nord / Sud	0,08	
		NE / SE / SO / NO	0,07	
		Est / Ouest	0,06	
	Baies		Non clim	Clim
		Horizontal	0,15**	interdit
		Nord / Sud	0,6	0,4
NE / SE / SO / NO		0,5	0,3	
	Est / Ouest	0,4	0,3	
Isolants	Certificat ACERMI	Certificat ACERMI en adéquation avec l'emploi projeté. IMR à éviter ou en utilisation par défaut en complément d'isolation.		
Protection solaire de la toiture	Types de solutions envisageables	Favoriser les toitures avec combles ventilés ou surtoitures. Respect des épaisseurs d'isolants préconisées selon le type de toiture retenue		
	Impact environnemental	Choix de matériaux adaptés à leur usage et faciles d'entretien		
Protection solaire des baies	Types de solutions envisageables	Favoriser les protections solaires extérieures. Type à déterminer selon orientation et type de baie		
	Impact environnemental	Intégration paysagère, choix des matériaux utilisés, entretien et maintenance, confort visuel de la pièce		
Protection solaire des murs	Types de solutions envisageables	Protections horizontales, verticales ou isolation à déterminer selon orientation et type de murs. Teintes sombres à proscrire		
	Impact environnemental	Impact en termes d'énergie grise		
Protection solaire par le végétal	Végétalisation des abords	≥ 10 % des surfaces extérieures de la parcelles		
	Toiture végétalisée	Respect des épaisseurs d'isolants préconisés selon le type de toiture retenue		
	Protection solaire végétale des façades	Supports horizontaux pour les façades Nord et Sud, supports verticaux ou arbres/buissons en façades Est et Ouest		

\* avec  $\alpha$  (alpha) à 0,6 minimum quand bien même toiture claire (du fait de l'encrassement)

\*\* autorisé uniquement pour les espaces de circulation non climatisé

RAFRAÎCHISSEMENT DES LOCAUX				
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions		
Stratégie de confort	Confort thermique	Respect des conditions de confort représentées par le diagramme de Givoni		
	Ventilation naturelle et climatisation	A déterminer selon l'approche méthodologique du guide FAREco ou bien justifié par une étude spécifique		
	Bâtiment réversible	Asservissement de la climatisation à l'ouverture des fenêtres, et des portes si celles-ci donnent sur un espace non climatisé		
Ventilation naturelle traversante	Pression / dépression	Créer une différence de pression entre façades afin d'accentuer la circulation de l'air dans les locaux		
	Potentiel de ventilation	Déterminer le potentiel de ventilation du site d'implantation		
	Orientation des bâtiments	Orientation aux vents dominants : - De secteur nord-est (avec une tolérance de plus ou moins 45°) OU - Etude spécifique déterminant le sens des vents dominants		
		Espaces traversants	Traversant direct	
	Porosité extérieure	P1 > Préf et P2 > Préf selon tableau des porosités		
	Porosité intérieure	So_int ≥ So_ext correspondant à une porosité P ≥ Préf pour chaque zone ventilée naturellement		
	Brasseurs d'air	Éclairage et brasseurs d'air	Calepinage afin d'éviter l'effet stroboscopique	
Hauteur sous plafond		Hauteur sous plafond : Non imposée mais préférer ≥ 2,50 mètres Hauteur sous pales : ≥ 2,3 mètres Option : au moins 30 cm sous plafond		
		Nombre de brasseurs minimums	Local < 20 m <sup>2</sup> -> 1 Local < 35 m <sup>2</sup> -> 2 Local < 50 m <sup>2</sup> -> 3 Local < 65 m <sup>2</sup> -> 4 etc.	
Régulation			Espaces de travail : Horloge ou GTB Espaces occupés de façon intermittente : sonde de détection	
Caractéristiques			Efficacité > 120 m <sup>3</sup> /Wh Variateur de vitesse (au moins 3 positions) Option : diamètre des pales ≥ 1,40 m	
Climatisation performante	Étanchéité des menuiseries	Local non climatisé -> A1 Local climatisé -> A2		
	Centralisation	Climatisation centralisée si besoin froid ≥ 30 kWf		
	EER Eurovent ou équivalent (ou ESEER)	Individuelle (< 12 kWf)	3,2 (ou 5,1)	
		Centralisée	3,7 (ou 5,6)	

Climatisation performante (suite)	Régulation	Espaces de travail : Horloge ou GTB Espaces occupés de façon intermittente : Sonde de détection Option : sonde de détection au CO2 pour les salles de réunion Option : asservissement à l'ouverture des fenêtres même si le bâtiment n'est pas réversible.
	Température de consigne	26 °C (± 1,5 °C)
Ventilation hygiénique	Pièces climatisées	25 m <sup>3</sup> /h/personne
	WC / Salles de bains	15 m <sup>3</sup> /h
	Préconisations VMC	Asservissement à l'occupation, sur horloge ou bien hygrovariable Efficacité ≤ 0,25 Wh/m <sup>3</sup> Entretien régulier

## ENTRETIEN / MAINTENANCE

Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions
Conception du bâti pour un entretien et une maintenance simplifiés	Choix des matériaux et équipements	Durabilité, conception simple, robuste, facile à maintenir
	Accessibilité des éléments et équipements techniques	Accessibilité à 100 % par tout type de dispositif adéquat
	Prise en compte des besoins spécifiques	Locaux techniques à identifier, dimensionner et intégrer en conception
	Dossier d'exploitation du bâtiment	A fournir à la livraison, voir détail dans le guide
Entretien et maintenance du bâtiment en exploitation	Niveau de maintenance	Organisation optimale de la maintenance (entretien de routine, entretien programmé, surveillance périodique)
	Prise en compte des usagers	Influence du comportement des usagers, favoriser l'information
Maintenance des performances des systèmes	Climatisation	Mise en place d'un contrat d'entretien / maintenance et d'un suivi des consommations (détection des défauts et pilotage sectorisé). Protection des équipements en toiture ou en façade
	Ventilation hygiénique	Mise en place d'un contrat d'entretien / maintenance et d'une détection des défauts. Accessibilité des moteurs VMC
	Éclairage	Mise en place d'un suivi d'entretien/maintenance incluant le suivi du remplacement des luminaires
	Gestion de l'eau	Mise en place d'un suivi d'entretien/maintenance incluant la surveillance des compteurs d'eau
	Champ photovoltaïque	Contrat d'entretien / maintenance
	Chauffe-eau solaire	Contrat d'entretien / maintenance si installation collective

CONFORT ACOUSTIQUE ET VISUEL				
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions		
Confort acoustique	Bruits aériens extérieurs	Isolements acoustiques $\geq 30$ dB		
	Bruits aériens intérieurs	Isolements acoustiques entre espaces de travail $\geq 35$ dB		
	Bruits d'impact (hors pluie)	Niveau de pression pondéré transmis $\leq 60$ dB		
	Bruit d'équipements	Niveau de pression acoustique émis $\leq 40$ dB(A)		
Éclairage naturel	Lumière du jour et vues extérieures	100 % des espaces de travail y ont accès		
	Éblouissement	100 % des espaces de travail en sont protégés		
	Niveau d'éclairage naturel	FLJ <sub>min</sub> * espace de travail et salle de réunion	$\geq 0,6$ % (base) ou $\geq 0,9$ % (performant) pour 80 % de la surface de la zone de premier rang dans 80 % des pièces concernées (en surface)	
		FLJ <sub>min</sub> * hall d'accueil et circulation (performant)	$\geq 0,6$ % pour 70 % de la surface de la zone	
		ALJ* espace de travail et salle de réunion	70 % (base) ou 85 % (performant) pour 80% des pièces concernées (en surface), pour un éclairage minimum de 300 lux	
		ALJ* hall et circulation (performant)	60 % pour 70% des pièces concernées (en surface), pour un éclairage minimum de 100 lux	
	Préconisations	Surface de vitrage / surf. de plancher	$\geq 20$ %	
		Facteur transmission lumineuse	$\geq 70$ %	
		Revêtement intérieur	Couleur claire et aspect lisse	
		Aménagement intérieur	Favoriser la lumière de second jour	
Éclairage artificiel	Niveaux d'éclairage minimum (au niveau du plan de travail)	- Bureaux : 300 lux - Salles de réunion : 500 lux - Hall & cafétéria : 100 lux - Circulations : 100 lux - Sanitaires : 120 lux		
	Performance	Sources lumineuses $> 60$ lm/W Puissance installée $< 4$ W /m <sup>2</sup>		
	Température de couleur (TC)	Activités courantes : 3 000 K $< TC < 4$ 000 K Activités demandant une distinction fine des couleurs : TC $> 4$ 000 K		

Éclairage artificiel (suite)	Indice de rendu des couleurs (IRC)	Activités courantes: IRC > 80 Activités demandant une distinction fine des couleurs: IRC > 90		
	Sources lumineuses et consommation	Note de calcul et bilan de consommation à produire. Favoriser les néons T5 et T8, fluo compactes ou LED		
	Stratégie d'éclairage	Concevoir l'éclairage artificiel de manière modulaire par rapport à l'éclairage naturel: sectorisation, gradation, etc.		
	Régulation (à adapter en fonction du type de local)	Espace de travail	- Horloge et interrupteur manuel - 3 zones de commande selon la proximité aux façades (1 <sup>er</sup> , 2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> rang)	
		Circulations	Détection de présence OU Interrupteur équipé d'une minuterie **	
		Sanitaires	Détection de présence	
		Extérieur (ambiance)	Horloge crépusculaire	
		Extérieur (circulation)	Détection de mouvement et horloge crépusculaire	
Éclairage extérieur	Si besoin, 20 lux			

\* Facteur de transmission lumineuse à prendre en compte dans les calculs de FLJ, ALJ et éventuellement Simulation Thermique Dynamique, dans une réflexion globale de contrôle des apports solaires et d'accès à la lumière naturelle.

\*\* Si les locaux (ou espaces) ont accès à la lumière du jour, ces systèmes seront associés à une horloge crépusculaire

MATÉRIAUX		
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions
Qualités hygrothermiques	Inertie thermique	Inertie de l'enveloppe fonction de l'usage (occupation) et de la stratégie de rafraîchissement des espaces
	Régulation de l'humidité	Favoriser dès que possible la mise en œuvre d'un ou plusieurs matériaux apportant une régulation de l'hygrométrie
Entretien et durabilité	Durée de vie	Définition de la durée de vie prévisionnelle totale et la durée de vie "courte"
	Mise en œuvre et destination	Respect des normes et DTU
	Conditions d'utilisation	Adéquation des matériaux mis en œuvre dans les espaces de travail et de circulation
	Evolutivité de l'ouvrage	Prévoir au moins deux dispositions pour assurer l'évolutivité de l'ouvrage
Entretien et maintenance	Conception	Vérifier l'accessibilité des éléments, leur durabilité et leur facilité d'entretien
Impact environnemental	Matériaux "locaux"	Option: 10, 20 ou 30 % du coût de construction en matériaux locaux, selon le contexte du projet
	Impact environnemental	- Faible impact pour au moins 1 des 3 familles de matériaux - Option: 70 % du bois en volume issu d'une forêt durablement gérée

Impact sanitaire	COV et formaldéhydes	Pour les produits constituant les surfaces sols/murs/plafond en contact avec l'air intérieur, les valeurs seuil suivantes doivent être respectées : - Teneur en COV < 1500 µg/m <sup>3</sup> - ou Classe A - Teneur en Formaldéhyde < 60 µg/m <sup>3</sup> - ou Classe A
	Classement CMR	Pour tous les produits de construction en contact avec l'air intérieur, les émissions de substances CMR 1A et 1B doivent être connues.
	Traitement du bois	Les ouvrages en bois devront être traités par un produit certifié CTB P+ adapté à la classe de risque

GESTION DES DÉCHETS		
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions
Déchets de chantier	Démarche	Réduction des impacts et nuisances sur l'environnement
	Objectifs	Maîtrise des flux entrants, du chantier et des flux sortants
	Modalités	Mise en place d'une charte de chantier vert
	Catégories de déchets	Démarche spécifique selon type de déchets (inertes, non dangereux et industriels dangereux)
Stratégie de recyclage	Gestion des déchets d'activité	Séparation des déchets selon filières de valorisation existantes A minima : tri du papier et du carton
	Stratégies transversales	Stratégie d'éco-gestion (choix d'équipements et de fournitures, réduction des consommables à usage unique, choix de fournitures recyclées type papier ou cartouches).
Stockage des déchets	Conception des locaux	Équipements de collecte en nombre et volume suffisants Locaux en nombre suffisant et correctement localisés
	Dimensionnement	A justifier
Optimisation des conditions d'hygiène	Fourniture et consommables	Permettre l'aération et le nettoyage des locaux



## 2 - ABAQUES DES COEFFICIENTS DE MASQUE (CM) GLOBAUX

Les abaques ci-dessous donnent les valeurs des coefficients de masque ( $C_m$ ) globaux pour les protections solaires suivantes :

- Auvent avec ou sans joues gauche et droite (baie)
- Brise-soleil horizontaux (baie)
- Brise-soleil verticaux (baie)
- Débord de toiture (paroi opaque)

Ils ont été calculés à partir des coordonnées géographiques suivantes :

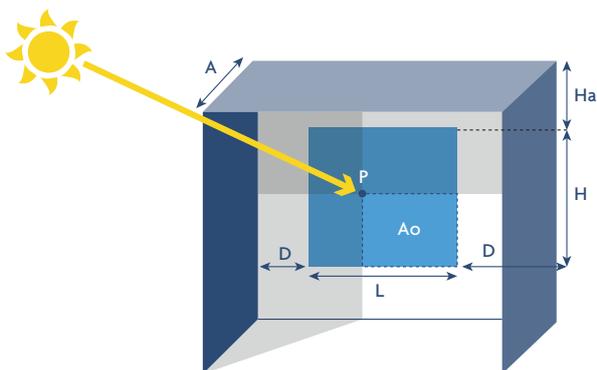
- Tahiti (latitude 17°32' Sud)
- Atuona (latitude 9°48' Sud)
- Tubuai (latitude 23°22' Sud)

Les coefficients de masque de Tahiti sont valables pour les îles de la Société et les Tuamotu, ceux de Atuona, pour les Marquises, et ceux de Tubuai, pour les Australes et les îles Gambiers.

### MODE DE CALCUL DES COEFFICIENTS DE MASQUE

#### Formule de calcul du coefficient de masque direct

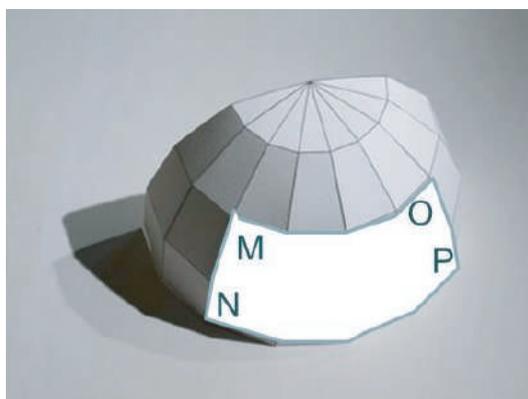
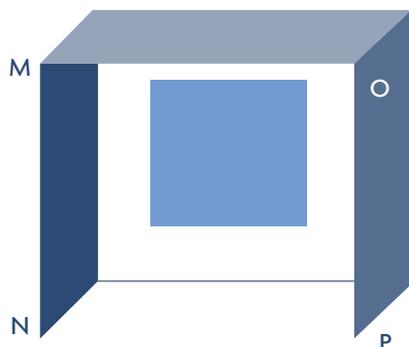
Quel que soit le masque proche utilisé, le coefficient de masque direct calculé heure par heure sera toujours le même, et sera calculé en fonction de l'aire éclairée  $A_o$  sur la surface totale du composant étudié.



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 directe 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 globale 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 :

*	$\delta$ (delta) = 0.5 x f
**	$\delta$ (delta) = 2 x f
***	La joue est toujours placée du côté le plus judicieux en fonction de l'orientation de la paroi.
	$b < 0,1 \times f$

Les périodes de références considérées pour Tahiti 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
Période	Mars et avril	Mars et avril	Novembre à janvier	Mars et avril				
Heure de début	1417	1417	7297	7297	7297	7297	7297	1417
Heure de fin	2880	2880	9504	9504	9504	9504	9504	2880
Position joue	Gauche	Droite	Droite	Gauche	Gauche	Droite	Gauche	Gauche

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

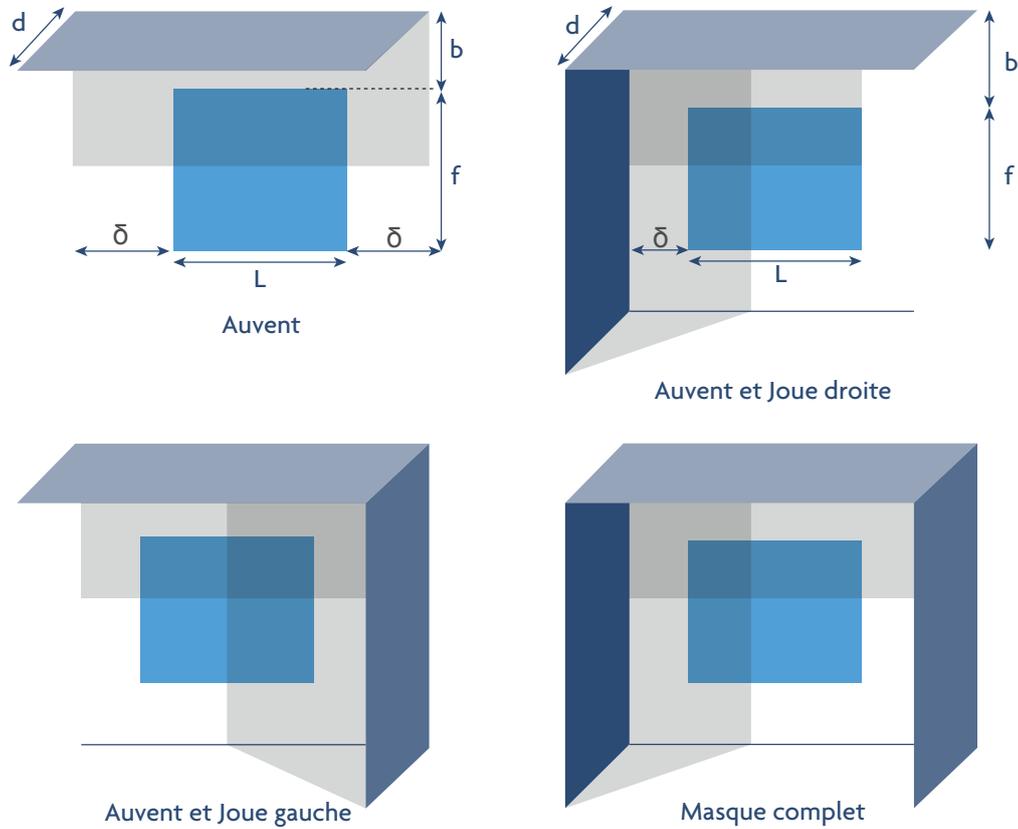
Période de simulation et position de la joue	Nord	Nord-Ouest	Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-est	Est	Nord-Est
Période	Mars et avril	Mars et avril	Novembre à janvier	Mars et avril				
Heure de début	1417	1417	7297	7297	7297	7297	7297	1417
Heure de fin	2880	2880	9504	9504	9504	9504	9504	2880
Position joue	Droite	Droite	Droite	Gauche	Gauche	Droite	Gauche	Gauche

Les périodes de références considérées pour Tubuai 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
Période	Mars et avril	Mars et avril	Novembre à janvier	Mars et avril				
Heure de début	1417	1417	7297	7297	7297	7297	7297	1417
Heure de fin	2880	2880	9504	9504	9504	9504	9504	2880
Position joue	Droite	Droite	Droite	Gauche	Gauche	Droite	Gauche	Gauche

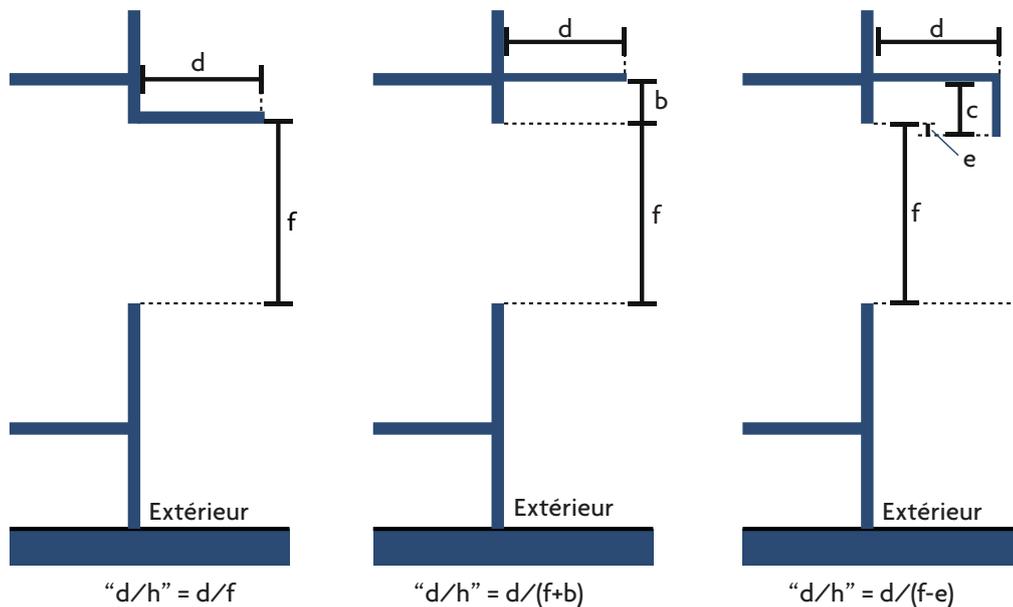
## AUVENT AVEC OU SANS JOUES GAUCHE ET DROITE

Un auvent peut être complété d'une joue à gauche, à droite ou des deux côtés.



Il peut être collé ou décollé de la baie, droit ou incliné, ainsi que fini, étendu ou infini.

Pour un auvent, la valeur du coefficient de masque ( $C_m$ ) se détermine en fonction du rapport "d/h", du rapport  $L/f$  et de  $\delta$  (delta). En fonction de ces configurations, les rapports "d/h" à considérer sont les suivants:



Avec :

- **d** la profondeur de l'auvent
- **f** la hauteur de la baie
- **L** la largeur de la baie
- **b** la distance verticale entre le haut de la baie et le débord de l'auvent
- **δ** (delta) la distance horizontale entre le bord de la baie et l'extrémité du auvent

Comme vu précédemment, un débord sera considéré :

- fini si  $\delta$  (delta) est nul
- étendu si  $\delta$  (delta) = 0,5 x f
- infini si  $\delta$  (delta)  $\geq 2$  x f

Pour toute valeur "d/h" intermédiaire ou pour des valeurs intermédiaires de prolongement de débord ( $\delta$ ) de part et d'autre de la baie, le coefficient  $C_m$  peut être estimé par interpolation linéaire.

### COEFFICIENTS DE MASQUE GLOBAUX POUR TAHITI

Orientation	Type de protection	L/f	"d/h"								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Nord	Débord fini	0,25	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81	0,80	0,80	0,79
		0,5	1,00	0,91	0,84	0,78	0,74	0,72	0,70	0,69	0,69
		Entre 1 et 2	1,00	0,90	0,80	0,71	0,64	0,58	0,55	0,51	0,50
	Débord étendu	0,25	1,00	0,90	0,79	0,69	0,62	0,56	0,52	0,50	0,48
		0,5	1,00	0,89	0,79	0,69	0,60	0,54	0,50	0,47	0,46
		Entre 1 et 2	1,00	0,89	0,78	0,68	0,58	0,51	0,47	0,42	0,40
	Débord infini	0,25	1,00	0,89	0,78	0,67	0,57	0,49	0,44	0,38	0,36
		0,5	1,00	0,89	0,78	0,67	0,57	0,49	0,44	0,38	0,36
		Entre 1 et 2	1,00	0,89	0,78	0,67	0,57	0,49	0,44	0,38	0,35
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,76	0,60	0,52	0,48	0,45	0,44	0,43	0,42
		0,5	1,00	0,83	0,68	0,58	0,51	0,46	0,43	0,41	0,40
		Entre 1 et 2	1,00	0,88	0,76	0,65	0,56	0,49	0,45	0,40	0,38
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,60	0,35	0,22	0,16	0,12	0,10	0,07	0,06
		0,5	1,00	0,75	0,54	0,38	0,28	0,22	0,18	0,14	0,12
		Entre 1 et 2	1,00	0,85	0,71	0,59	0,48	0,41	0,35	0,29	0,26

Orientation	Type de protection	L/f	"d/h"								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Nord-Ouest	Débord fini	0,25	1,00	0,94	0,89	0,85	0,82	0,80	0,78	0,77	0,76
		0,5	1,00	0,93	0,87	0,82	0,77	0,73	0,70	0,67	0,66
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,86	0,78	0,72	0,66	0,62	0,56	0,52
	Débord étendu	0,25	1,00	0,93	0,85	0,77	0,71	0,65	0,60	0,53	0,49
		0,5	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,64	0,60	0,53	0,48
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,64	0,59	0,51	0,46
	Débord infini	0,25	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,64	0,59	0,51	0,46
		0,5	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,64	0,59	0,51	0,46
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,64	0,59	0,51	0,46
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,82	0,66	0,53	0,44	0,39	0,36	0,33	0,32
		0,5	1,00	0,89	0,76	0,65	0,55	0,48	0,42	0,35	0,31
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,83	0,74	0,66	0,59	0,54	0,45	0,39
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,74	0,50	0,33	0,22	0,16	0,12	0,08	0,06
		0,5	1,00	0,85	0,69	0,54	0,42	0,32	0,26	0,17	0,13
		Entre 1 et 2	1,00	0,91	0,82	0,72	0,63	0,56	0,49	0,39	0,33
Ouest	Débord fini	0,25	1,00	0,95	0,90	0,86	0,83	0,80	0,78	0,76	0,75
		0,5	1,00	0,94	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,69	0,67
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,88	0,82	0,77	0,72	0,68	0,62	0,57
	Débord étendu	0,25	1,00	0,94	0,88	0,82	0,76	0,71	0,67	0,61	0,56
		0,5	1,00	0,94	0,88	0,82	0,76	0,71	0,67	0,60	0,55
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,88	0,81	0,76	0,70	0,66	0,59	0,54
	Débord infini	0,25	1,00	0,94	0,88	0,81	0,76	0,70	0,66	0,58	0,53
		0,5	1,00	0,94	0,88	0,81	0,76	0,70	0,66	0,58	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,88	0,81	0,76	0,70	0,66	0,58	0,53
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,84	0,69	0,58	0,49	0,43	0,37	0,30	0,27
		0,5	1,00	0,90	0,79	0,69	0,61	0,54	0,49	0,41	0,35
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,86	0,78	0,72	0,66	0,61	0,52	0,46
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,79	0,58	0,43	0,32	0,24	0,18	0,10	0,07
		0,5	1,00	0,89	0,74	0,61	0,50	0,42	0,35	0,25	0,19
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,63	0,57	0,48	0,40

Orientation	Type de protection	L/f	"d/h"								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Sud-Ouest	Débord fini	0,25	1,00	0,95	0,91	0,88	0,87	0,87	0,86	0,86	0,85
		0,5	1,00	0,94	0,89	0,85	0,82	0,80	0,78	0,76	0,75
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,88	0,82	0,77	0,73	0,69	0,64	0,60
	Débord étendu	0,25	1,00	0,94	0,88	0,81	0,76	0,71	0,67	0,61	0,57
		0,5	1,00	0,94	0,87	0,81	0,76	0,71	0,67	0,60	0,56
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,81	0,76	0,70	0,66	0,59	0,54
	Débord infini	0,25	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,70	0,66	0,59	0,53
		0,5	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,70	0,66	0,58	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,70	0,66	0,58	0,53
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,79	0,60	0,47	0,37	0,32	0,31	0,29	0,28
		0,5	1,00	0,88	0,75	0,63	0,54	0,47	0,42	0,34	0,30
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,84	0,77	0,70	0,64	0,58	0,50	0,44
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,73	0,48	0,31	0,19	0,13	0,11	0,08	0,07
		0,5	1,00	0,86	0,69	0,54	0,43	0,34	0,27	0,18	0,14
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,84	0,75	0,68	0,61	0,55	0,45	0,38
Sud	Débord fini	0,25	1,00	0,95	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90
		0,5	1,00	0,93	0,90	0,89	0,87	0,86	0,85	0,84	0,83
		Entre 1 et 2	1,00	0,91	0,84	0,80	0,77	0,75	0,73	0,70	0,68
	Débord étendu	0,25	1,00	0,90	0,83	0,79	0,77	0,75	0,73	0,70	0,69
		0,5	1,00	0,90	0,82	0,78	0,75	0,73	0,71	0,68	0,66
		Entre 1 et 2	1,00	0,90	0,82	0,76	0,72	0,69	0,66	0,63	0,60
	Débord infini	0,25	1,00	0,90	0,82	0,75	0,70	0,66	0,63	0,58	0,56
		0,5	1,00	0,90	0,82	0,75	0,70	0,66	0,63	0,58	0,55
		Entre 1 et 2	1,00	0,90	0,82	0,75	0,70	0,66	0,63	0,58	0,55
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,72	0,62	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47	0,46
		0,5	1,00	0,81	0,69	0,63	0,58	0,55	0,52	0,49	0,47
		Entre 1 et 2	1,00	0,88	0,78	0,71	0,66	0,62	0,58	0,53	0,50
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,56	0,37	0,27	0,21	0,17	0,14	0,11	0,09
		0,5	1,00	0,74	0,55	0,44	0,36	0,30	0,26	0,21	0,18
		Entre 1 et 2	1,00	0,86	0,75	0,66	0,60	0,54	0,50	0,43	0,38

Orientation	Type de protection	L/f	"d/h"								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Sud-Est	Débord fini	0,25	1,00	0,94	0,90	0,88	0,86	0,86	0,85	0,85	0,84
		0,5	1,00	0,94	0,88	0,84	0,81	0,78	0,77	0,75	0,74
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,87	0,81	0,75	0,71	0,67	0,62	0,58
	Débord étendu	0,25	1,00	0,93	0,86	0,80	0,74	0,69	0,65	0,59	0,56
		0,5	1,00	0,93	0,86	0,80	0,74	0,69	0,65	0,58	0,55
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,86	0,79	0,73	0,68	0,64	0,57	0,52
	Débord infini	0,25	1,00	0,93	0,86	0,79	0,73	0,68	0,63	0,56	0,52
		0,5	1,00	0,93	0,86	0,79	0,73	0,68	0,63	0,56	0,52
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,86	0,79	0,73	0,68	0,63	0,56	0,51
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,80	0,62	0,50	0,42	0,39	0,37	0,36	0,35
		0,5	1,00	0,88	0,75	0,64	0,56	0,49	0,45	0,39	0,37
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,84	0,76	0,69	0,63	0,58	0,50	0,45
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,73	0,47	0,31	0,20	0,15	0,13	0,10	0,08
		0,5	1,00	0,86	0,68	0,53	0,42	0,33	0,27	0,20	0,16
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,83	0,75	0,67	0,60	0,54	0,44	0,38
Est	Débord fini	0,25	1,00	0,94	0,89	0,85	0,81	0,79	0,77	0,75	0,74
		0,5	1,00	0,94	0,88	0,83	0,78	0,74	0,72	0,68	0,65
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,80	0,75	0,69	0,65	0,59	0,55
	Débord étendu	0,25	1,00	0,94	0,87	0,80	0,74	0,69	0,65	0,58	0,54
		0,5	1,00	0,94	0,86	0,80	0,74	0,69	0,64	0,58	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,86	0,80	0,73	0,68	0,63	0,56	0,51
	Débord infini	0,25	1,00	0,94	0,86	0,79	0,73	0,68	0,63	0,56	0,51
		0,5	1,00	0,94	0,86	0,79	0,73	0,68	0,63	0,56	0,51
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,86	0,79	0,73	0,68	0,63	0,56	0,51
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,84	0,69	0,58	0,50	0,45	0,41	0,36	0,33
		0,5	1,00	0,90	0,78	0,68	0,60	0,53	0,48	0,42	0,38
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,64	0,59	0,51	0,45
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,78	0,54	0,39	0,29	0,22	0,17	0,11	0,08
		0,5	1,00	0,88	0,72	0,58	0,47	0,38	0,32	0,23	0,18
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,84	0,76	0,68	0,61	0,55	0,45	0,38

<b>Nord-Est</b>	Débord fini	0,25	1,00	0,94	0,88	0,84	0,80	0,78	0,77	0,75	0,74
		0,5	1,00	0,93	0,86	0,80	0,75	0,71	0,68	0,65	0,63
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,64	0,60	0,53	0,49
	Débord étendu	0,25	1,00	0,92	0,84	0,76	0,69	0,63	0,58	0,50	0,45
		0,5	1,00	0,92	0,84	0,76	0,69	0,62	0,57	0,49	0,44
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,84	0,76	0,68	0,62	0,56	0,48	0,43
	Débord infini	0,25	1,00	0,92	0,84	0,76	0,68	0,62	0,56	0,48	0,42
		0,5	1,00	0,92	0,84	0,76	0,68	0,62	0,56	0,48	0,42
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,84	0,76	0,68	0,62	0,56	0,48	0,42
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,82	0,65	0,52	0,44	0,38	0,35	0,31	0,30
		0,5	1,00	0,88	0,75	0,64	0,54	0,46	0,40	0,33	0,30
		Entre 1 et 2	1,00	0,91	0,82	0,73	0,65	0,57	0,51	0,42	0,36
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,74	0,50	0,33	0,23	0,16	0,12	0,08	0,06
		0,5	1,00	0,85	0,68	0,53	0,41	0,32	0,25	0,16	0,12
		Entre 1 et 2	1,00	0,91	0,81	0,71	0,62	0,54	0,47	0,37	0,30

## COEFFICIENTS DE MASQUE GLOBAUX POUR ATUONA

Orientation	Type de protection	L/f	"d/h"								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
<b>Nord</b>	Débord fini	0,25	1,00	0,94	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85
		0,5	1,00	0,93	0,87	0,83	0,81	0,79	0,79	0,77	0,76
		Entre 1 et 2	1,00	0,91	0,83	0,76	0,70	0,67	0,65	0,62	0,60
	Débord étendu	0,25	1,00	0,91	0,82	0,75	0,69	0,66	0,64	0,61	0,60
		0,5	1,00	0,91	0,82	0,74	0,68	0,64	0,62	0,59	0,57
		Entre 1 et 2	1,00	0,91	0,81	0,72	0,66	0,61	0,58	0,55	0,53
	Débord infini	0,25	1,00	0,91	0,81	0,71	0,64	0,59	0,56	0,52	0,49
		0,5	1,00	0,91	0,81	0,71	0,64	0,59	0,56	0,52	0,49
		Entre 1 et 2	1,00	0,91	0,81	0,71	0,64	0,59	0,55	0,51	0,49
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,77	0,64	0,57	0,53	0,51	0,49	0,47	0,46
		0,5	1,00	0,84	0,71	0,63	0,57	0,53	0,51	0,48	0,46
		Entre 1 et 2	1,00	0,89	0,78	0,69	0,62	0,58	0,55	0,50	0,47
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,62	0,38	0,26	0,19	0,15	0,13	0,10	0,09
		0,5	1,00	0,77	0,57	0,43	0,34	0,28	0,24	0,19	0,16
		Entre 1 et 2	1,00	0,87	0,75	0,64	0,56	0,50	0,46	0,40	0,35

Orientation	Type de protection	L/f	"d/h"								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Nord-Ouest	Débord fini	0,25	1,00	0,95	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83
		0,5	1,00	0,95	0,90	0,85	0,82	0,79	0,77	0,75	0,74
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,88	0,82	0,77	0,73	0,69	0,64	0,60
	Débord étendu	0,25	1,00	0,94	0,88	0,82	0,76	0,71	0,67	0,61	0,58
		0,5	1,00	0,94	0,88	0,82	0,76	0,71	0,67	0,61	0,57
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,88	0,81	0,75	0,70	0,66	0,59	0,54
	Débord infini	0,25	1,00	0,94	0,88	0,81	0,75	0,70	0,66	0,58	0,53
		0,5	1,00	0,94	0,88	0,81	0,75	0,70	0,66	0,58	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,88	0,81	0,75	0,70	0,66	0,58	0,53
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,80	0,61	0,47	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
		0,5	1,00	0,88	0,75	0,63	0,54	0,46	0,40	0,34	0,32
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,69	0,63	0,58	0,49	0,43
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,73	0,47	0,29	0,19	0,14	0,11	0,09	0,07
		0,5	1,00	0,86	0,69	0,53	0,41	0,32	0,25	0,17	0,14
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,84	0,75	0,67	0,60	0,54	0,44	0,37
Ouest	Débord fini	0,25	1,00	0,96	0,92	0,89	0,87	0,85	0,84	0,83	0,83
		0,5	1,00	0,95	0,91	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74	0,72
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,89	0,84	0,79	0,74	0,70	0,64	0,60
	Débord étendu	0,25	1,00	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,69	0,62	0,58
		0,5	1,00	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,69	0,62	0,57
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,68	0,61	0,55
	Débord infini	0,25	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,67	0,60	0,55
		0,5	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,67	0,60	0,55
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,67	0,60	0,54
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,83	0,67	0,55	0,46	0,40	0,34	0,29	0,27
		0,5	1,00	0,90	0,79	0,69	0,60	0,53	0,48	0,40	0,34
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,80	0,73	0,67	0,62	0,53	0,47
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,78	0,55	0,40	0,29	0,21	0,15	0,09	0,07
		0,5	1,00	0,88	0,74	0,60	0,49	0,41	0,34	0,25	0,18
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,86	0,78	0,71	0,64	0,58	0,48	0,41

Orientation	Type de protection	L/f	"d/h"								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Sud-Ouest	Débord fini	0,25	1,00	0,95	0,90	0,87	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82
		0,5	1,00	0,94	0,89	0,84	0,80	0,77	0,75	0,73	0,72
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,81	0,76	0,72	0,68	0,62	0,59
	Débord étendu	0,25	1,00	0,94	0,87	0,81	0,76	0,71	0,67	0,60	0,56
		0,5	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,70	0,66	0,59	0,55
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,70	0,65	0,58	0,53
	Débord infini	0,25	1,00	0,94	0,87	0,80	0,75	0,70	0,65	0,58	0,53
		0,5	1,00	0,94	0,87	0,80	0,75	0,70	0,65	0,58	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,80	0,75	0,70	0,65	0,58	0,53
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,81	0,63	0,50	0,40	0,33	0,30	0,28	0,28
		0,5	1,00	0,89	0,76	0,65	0,56	0,49	0,43	0,35	0,30
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,84	0,77	0,70	0,64	0,58	0,50	0,44
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,75	0,51	0,34	0,22	0,14	0,10	0,08	0,07
		0,5	1,00	0,87	0,70	0,56	0,45	0,36	0,29	0,19	0,14
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,84	0,75	0,68	0,61	0,55	0,45	0,38
Sud	Débord fini	0,25	1,00	0,93	0,90	0,89	0,88	0,88	0,87	0,87	0,86
		0,5	1,00	0,91	0,86	0,83	0,81	0,80	0,79	0,78	0,78
		Entre 1 et 2	1,00	0,90	0,81	0,74	0,69	0,66	0,64	0,62	0,60
	Débord étendu	0,25	1,00	0,90	0,79	0,71	0,67	0,65	0,64	0,62	0,60
		0,5	1,00	0,90	0,79	0,70	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57
		Entre 1 et 2	1,00	0,90	0,79	0,69	0,62	0,58	0,56	0,53	0,51
	Débord infini	0,25	1,00	0,90	0,79	0,69	0,61	0,56	0,52	0,47	0,45
		0,5	1,00	0,90	0,79	0,69	0,61	0,56	0,52	0,47	0,45
		Entre 1 et 2	1,00	0,90	0,79	0,69	0,61	0,56	0,52	0,47	0,44
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,71	0,59	0,54	0,51	0,49	0,48	0,47	0,46
		0,5	1,00	0,81	0,66	0,58	0,54	0,51	0,49	0,46	0,45
		Entre 1 et 2	1,00	0,87	0,75	0,65	0,58	0,54	0,51	0,47	0,44
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,53	0,31	0,21	0,17	0,13	0,11	0,09	0,07
		0,5	1,00	0,73	0,48	0,36	0,29	0,24	0,21	0,17	0,14
		Entre 1 et 2	1,00	0,85	0,71	0,59	0,50	0,44	0,40	0,35	0,31

Orientation	Type de protection	L/f	"d/h"								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Sud-Est	Débord fini	0,25	1,00	0,94	0,89	0,85	0,82	0,81	0,80	0,79	0,79
		0,5	1,00	0,93	0,87	0,82	0,78	0,74	0,72	0,69	0,68
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,86	0,79	0,73	0,68	0,64	0,58	0,54
	Débord étendu	0,25	1,00	0,93	0,85	0,78	0,72	0,67	0,62	0,56	0,51
		0,5	1,00	0,93	0,85	0,78	0,72	0,67	0,62	0,55	0,50
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,78	0,72	0,66	0,61	0,54	0,48
	Débord infini	0,25	1,00	0,93	0,85	0,78	0,71	0,66	0,61	0,53	0,48
		0,5	1,00	0,93	0,85	0,78	0,71	0,66	0,61	0,53	0,47
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,78	0,71	0,66	0,61	0,53	0,47
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,81	0,63	0,50	0,41	0,35	0,32	0,30	0,29
		0,5	1,00	0,88	0,75	0,64	0,54	0,47	0,42	0,35	0,31
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,83	0,75	0,67	0,61	0,55	0,47	0,41
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,75	0,50	0,33	0,22	0,15	0,11	0,08	0,07
		0,5	1,00	0,86	0,69	0,54	0,43	0,34	0,27	0,19	0,14
		Entre 1 et 2	1,00	0,91	0,82	0,73	0,65	0,58	0,52	0,42	0,35
Est	Débord fini	0,25	1,00	0,95	0,91	0,87	0,85	0,83	0,82	0,81	0,80
		0,5	1,00	0,95	0,89	0,84	0,80	0,77	0,74	0,70	0,68
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,88	0,81	0,76	0,71	0,66	0,60	0,55
	Débord étendu	0,25	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,70	0,65	0,58	0,53
		0,5	1,00	0,94	0,87	0,81	0,74	0,69	0,64	0,57	0,52
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,80	0,74	0,69	0,64	0,56	0,50
	Débord infini	0,25	1,00	0,94	0,87	0,80	0,74	0,68	0,63	0,55	0,49
		0,5	1,00	0,94	0,87	0,80	0,74	0,68	0,63	0,55	0,49
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,80	0,74	0,68	0,63	0,55	0,49
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,82	0,66	0,54	0,46	0,40	0,35	0,31	0,29
		0,5	1,00	0,89	0,78	0,67	0,58	0,51	0,46	0,39	0,34
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,64	0,58	0,50	0,43
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,77	0,53	0,38	0,27	0,20	0,15	0,09	0,07
		0,5	1,00	0,88	0,72	0,58	0,47	0,38	0,31	0,22	0,17
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,76	0,68	0,61	0,55	0,45	0,37

<b>Nord-Est</b>	Débord fini	0,25	1,00	0,94	0,90	0,86	0,84	0,82	0,81	0,80	0,80
		0,5	1,00	0,94	0,88	0,83	0,78	0,75	0,73	0,71	0,70
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,86	0,79	0,73	0,68	0,64	0,58	0,55
	Débord étendu	0,25	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,67	0,63	0,56	0,53
		0,5	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,62	0,55	0,51
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,86	0,78	0,72	0,66	0,61	0,53	0,49
	Débord infini	0,25	1,00	0,93	0,86	0,78	0,71	0,66	0,61	0,53	0,48
		0,5	1,00	0,93	0,86	0,78	0,71	0,66	0,61	0,53	0,48
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,86	0,78	0,71	0,65	0,61	0,53	0,48
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,81	0,63	0,51	0,43	0,39	0,36	0,34	0,33
		0,5	1,00	0,88	0,75	0,64	0,54	0,47	0,43	0,37	0,35
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,83	0,75	0,67	0,61	0,55	0,47	0,42
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,74	0,48	0,31	0,21	0,15	0,12	0,09	0,08
		0,5	1,00	0,86	0,68	0,53	0,41	0,32	0,26	0,18	0,15
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,83	0,73	0,65	0,57	0,51	0,41	0,35

## COEFFICIENTS DE MASQUE GLOBAUX POUR TUBUAI

Orientation	Type de protection	L/f	"d/h"								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
<b>Nord</b>	Débord fini	0,25	1,00	0,94	0,90	0,87	0,85	0,84	0,83	0,82	0,82
		0,5	1,00	0,93	0,87	0,82	0,78	0,76	0,74	0,72	0,72
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,84	0,76	0,69	0,63	0,59	0,55	0,53
	Débord étendu	0,25	1,00	0,92	0,83	0,75	0,67	0,62	0,57	0,53	0,52
		0,5	1,00	0,92	0,83	0,74	0,66	0,60	0,56	0,51	0,49
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,83	0,74	0,65	0,58	0,52	0,46	0,44
	Débord infini	0,25	1,00	0,92	0,83	0,73	0,64	0,56	0,50	0,42	0,39
		0,5	1,00	0,92	0,83	0,73	0,64	0,56	0,50	0,42	0,39
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,83	0,73	0,64	0,56	0,50	0,42	0,39
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,78	0,64	0,56	0,52	0,49	0,47	0,46	0,45
		0,5	1,00	0,86	0,73	0,63	0,55	0,50	0,47	0,44	0,42
		Entre 1 et 2	1,00	0,90	0,80	0,70	0,62	0,55	0,49	0,43	0,40
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,63	0,38	0,25	0,18	0,14	0,11	0,08	0,07
		0,5	1,00	0,79	0,59	0,43	0,32	0,25	0,20	0,16	0,13
		Entre 1 et 2	1,00	0,88	0,76	0,65	0,55	0,47	0,40	0,33	0,29

Orientation	Type de protection	L/f	"d/h"								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Nord-Ouest	Débord fini	0,25	1,00	0,95	0,92	0,88	0,86	0,84	0,82	0,81	0,80
		0,5	1,00	0,95	0,90	0,86	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,89	0,82	0,77	0,72	0,67	0,61	0,57
	Débord étendu	0,25	1,00	0,94	0,88	0,82	0,76	0,70	0,66	0,59	0,54
		0,5	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,70	0,65	0,58	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,88	0,81	0,75	0,69	0,64	0,57	0,51
	Débord infini	0,25	1,00	0,94	0,88	0,81	0,75	0,69	0,64	0,56	0,50
		0,5	1,00	0,94	0,88	0,81	0,75	0,69	0,64	0,56	0,50
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,88	0,81	0,75	0,69	0,64	0,56	0,50
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,83	0,67	0,55	0,48	0,43	0,39	0,36	0,34
		0,5	1,00	0,90	0,78	0,68	0,58	0,51	0,45	0,38	0,34
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,86	0,78	0,71	0,64	0,58	0,49	0,43
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,75	0,50	0,34	0,24	0,18	0,13	0,09	0,07
		0,5	1,00	0,87	0,70	0,56	0,44	0,34	0,27	0,19	0,14
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,84	0,76	0,67	0,60	0,53	0,43	0,35
Ouest	Débord fini	0,25	1,00	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,78	0,75	0,73
		0,5	1,00	0,95	0,90	0,85	0,81	0,77	0,74	0,70	0,67
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,69	0,63	0,58
	Débord étendu	0,25	1,00	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,69	0,63	0,58
		0,5	1,00	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,69	0,62	0,57
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,68	0,61	0,56
	Débord infini	0,25	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,68	0,60	0,55
		0,5	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,68	0,60	0,55
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,68	0,60	0,55
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,86	0,72	0,62	0,54	0,47	0,42	0,35	0,31
		0,5	1,00	0,92	0,81	0,72	0,64	0,57	0,52	0,44	0,38
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,81	0,74	0,68	0,63	0,55	0,48
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,80	0,59	0,45	0,35	0,27	0,21	0,13	0,09
		0,5	1,00	0,90	0,76	0,63	0,52	0,44	0,37	0,27	0,21
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,79	0,72	0,65	0,59	0,49	0,42

Orientation	Type de protection	L/f	"d/h"								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Sud-Ouest	Débord fini	0,25	1,00	0,96	0,94	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89
		0,5	1,00	0,96	0,92	0,89	0,86	0,84	0,82	0,81	0,80
		Entre 1 et 2	1,00	0,96	0,90	0,85	0,81	0,76	0,73	0,68	0,64
	Débord étendu	0,25	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,71	0,65	0,61
		0,5	1,00	0,95	0,90	0,84	0,79	0,74	0,70	0,64	0,60
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,90	0,84	0,79	0,74	0,70	0,63	0,58
	Débord infini	0,25	1,00	0,95	0,90	0,84	0,79	0,74	0,69	0,62	0,57
		0,5	1,00	0,95	0,90	0,84	0,79	0,74	0,69	0,62	0,57
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,90	0,84	0,79	0,74	0,69	0,62	0,57
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,80	0,61	0,47	0,39	0,35	0,34	0,32	0,31
		0,5	1,00	0,89	0,76	0,65	0,56	0,49	0,44	0,37	0,33
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,86	0,79	0,73	0,67	0,62	0,53	0,47
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,73	0,47	0,30	0,19	0,14	0,12	0,09	0,08
		0,5	1,00	0,87	0,70	0,55	0,44	0,35	0,28	0,19	0,15
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,86	0,78	0,71	0,64	0,58	0,48	0,41
Sud	Débord fini	0,25	1,00	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94
		0,5	1,00	0,97	0,96	0,94	0,93	0,91	0,90	0,89	0,88
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,91	0,88	0,85	0,82	0,80	0,76	0,74
	Débord étendu	0,25	1,00	0,94	0,91	0,88	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76
		0,5	1,00	0,94	0,90	0,87	0,84	0,82	0,79	0,76	0,74
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,89	0,84	0,81	0,78	0,75	0,71	0,68
	Débord infini	0,25	1,00	0,94	0,88	0,83	0,78	0,74	0,71	0,66	0,63
		0,5	1,00	0,94	0,88	0,83	0,78	0,74	0,71	0,66	0,63
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,88	0,83	0,78	0,74	0,71	0,65	0,62
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,78	0,68	0,61	0,57	0,55	0,53	0,51	0,49
		0,5	1,00	0,86	0,77	0,70	0,65	0,61	0,58	0,54	0,51
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,85	0,80	0,74	0,70	0,66	0,61	0,57
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,63	0,43	0,31	0,24	0,19	0,16	0,13	0,11
		0,5	1,00	0,79	0,63	0,51	0,42	0,35	0,30	0,24	0,20
		Entre 1 et 2	1,00	0,90	0,82	0,75	0,68	0,62	0,58	0,50	0,44

Orientation	Type de protection	L/f	"d/h"								
			0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
Sud-Est	Débord fini	0,25	1,00	0,96	0,93	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,88
		0,5	1,00	0,95	0,91	0,87	0,84	0,82	0,81	0,79	0,78
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,89	0,84	0,78	0,74	0,70	0,65	0,61
	Débord étendu	0,25	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,68	0,62	0,59
		0,5	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,67	0,61	0,57
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,89	0,82	0,76	0,71	0,66	0,59	0,54
	Débord infini	0,25	1,00	0,95	0,89	0,82	0,76	0,71	0,66	0,58	0,53
		0,5	1,00	0,95	0,89	0,82	0,76	0,71	0,66	0,58	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,95	0,89	0,82	0,76	0,71	0,66	0,58	0,53
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,80	0,61	0,48	0,42	0,39	0,38	0,36	0,35
		0,5	1,00	0,89	0,76	0,65	0,56	0,49	0,45	0,39	0,37
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,86	0,78	0,71	0,65	0,60	0,52	0,46
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,73	0,46	0,29	0,20	0,16	0,13	0,10	0,09
		0,5	1,00	0,86	0,69	0,54	0,42	0,33	0,27	0,20	0,16
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,69	0,61	0,55	0,45	0,39
Est	Débord fini	0,25	1,00	0,95	0,89	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
		0,5	1,00	0,94	0,88	0,83	0,79	0,74	0,71	0,66	0,63
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,70	0,66	0,59	0,54
	Débord étendu	0,25	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,70	0,66	0,59	0,54
		0,5	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,70	0,65	0,58	0,53
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,69	0,64	0,57	0,51
	Débord infini	0,25	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,69	0,64	0,56	0,51
		0,5	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,69	0,64	0,56	0,51
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,81	0,74	0,69	0,64	0,56	0,51
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,86	0,72	0,62	0,55	0,49	0,44	0,38	0,34
		0,5	1,00	0,91	0,81	0,71	0,63	0,56	0,51	0,43	0,38
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,51	0,46
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,79	0,58	0,43	0,34	0,26	0,21	0,13	0,10
		0,5	1,00	0,89	0,74	0,61	0,50	0,41	0,34	0,25	0,19
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,62	0,56	0,46	0,39

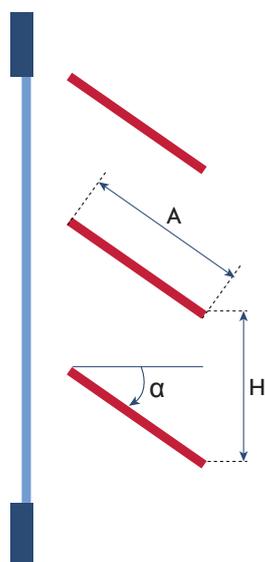
<b>Nord-Est</b>	Débord fini	0,25	1,00	0,95	0,90	0,87	0,84	0,81	0,79	0,77	0,76
		0,5	1,00	0,94	0,89	0,84	0,79	0,75	0,72	0,68	0,66
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,80	0,74	0,68	0,64	0,56	0,52
	Débord étendu	0,25	1,00	0,94	0,87	0,80	0,73	0,67	0,62	0,54	0,49
		0,5	1,00	0,94	0,87	0,80	0,73	0,67	0,61	0,53	0,48
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,79	0,72	0,66	0,60	0,52	0,46
	Débord infini	0,25	1,00	0,94	0,87	0,79	0,72	0,66	0,60	0,52	0,46
		0,5	1,00	0,94	0,87	0,79	0,72	0,66	0,60	0,51	0,46
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,79	0,72	0,66	0,60	0,51	0,46
	Débord avec une joue	0,25	1,00	0,85	0,70	0,59	0,51	0,46	0,42	0,38	0,36
		0,5	1,00	0,90	0,79	0,69	0,60	0,53	0,47	0,40	0,36
		Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,63	0,57	0,47	0,41
	Débord avec deux joues	0,25	1,00	0,76	0,52	0,37	0,26	0,19	0,15	0,10	0,07
		0,5	1,00	0,87	0,71	0,56	0,45	0,36	0,29	0,20	0,15
		Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,84	0,75	0,66	0,58	0,52	0,41	0,34

## BRISE-SOLEILS HORIZONTAUX

Pour les brise-soleils horizontaux opaques, la valeur du coefficient de masque ( $C_m$ ) se détermine en fonction du rapport  $A/H$  et l'angle  $\alpha$ .

Avec:

- **H** la distance entre deux lames
- **A** la profondeur de la lame
- **$\alpha$**  (alpha) l'angle indiqué ci-contre



## COEFFICIENTS DE MASQUE GLOBAUX POUR TAHITI

A/H	$\alpha$ alpha	Nord	Nord-Ouest	Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est
0,50	5	0,68	0,71	0,73	0,73	0,72	0,70	0,70	0,70
	10	0,65	0,68	0,70	0,70	0,71	0,68	0,68	0,68
	20	0,61	0,64	0,66	0,67	0,68	0,65	0,65	0,63
	30	0,58	0,61	0,63	0,64	0,66	0,63	0,62	0,60
	40	0,57	0,59	0,61	0,62	0,65	0,62	0,61	0,58
	45	0,56	0,59	0,61	0,61	0,65	0,62	0,61	0,58
	50	0,56	0,58	0,60	0,61	0,66	0,62	0,61	0,57
	55	0,57	0,59	0,61	0,61	0,66	0,63	0,62	0,58
	60	0,58	0,60	0,61	0,62	0,68	0,64	0,63	0,59
1,0	5	0,43	0,48	0,53	0,53	0,54	0,49	0,48	0,47
	10	0,39	0,44	0,48	0,49	0,50	0,45	0,45	0,42
	20	0,32	0,36	0,40	0,41	0,44	0,39	0,38	0,34
	30	0,26	0,29	0,33	0,34	0,38	0,34	0,33	0,28
	40	0,22	0,24	0,27	0,28	0,33	0,29	0,28	0,22
	45	0,20	0,22	0,24	0,25	0,30	0,27	0,26	0,20
	50	0,19	0,20	0,22	0,23	0,28	0,25	0,24	0,19
	55	0,17	0,18	0,20	0,21	0,26	0,23	0,22	0,17
	60	0,16	0,17	0,18	0,19	0,24	0,22	0,21	0,16
2,0	5	0,23	0,27	0,32	0,33	0,35	0,29	0,28	0,24
	10	0,19	0,22	0,26	0,27	0,30	0,25	0,24	0,20
	20	0,14	0,14	0,16	0,17	0,21	0,18	0,18	0,13
	30	0,10	0,10	0,10	0,11	0,14	0,13	0,12	0,09
	40	0,10	0,10	0,10	0,11	0,14	0,13	0,12	0,09

## COEFFICIENTS DE MASQUE GLOBAUX POUR ATUONA

A/H	$\alpha$ alpha	Nord	Nord-Ouest	Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est
0,50	5	0,69	0,73	0,74	0,72	0,69	0,70	0,72	0,70
	10	0,67	0,71	0,72	0,70	0,67	0,68	0,70	0,68
	20	0,64	0,67	0,68	0,66	0,64	0,64	0,66	0,65
	30	0,62	0,64	0,65	0,63	0,61	0,61	0,63	0,62
	40	0,61	0,62	0,62	0,61	0,60	0,60	0,61	0,61
	45	0,61	0,62	0,62	0,60	0,60	0,59	0,61	0,61
	50	0,62	0,62	0,62	0,60	0,60	0,59	0,61	0,61
	55	0,63	0,62	0,62	0,60	0,60	0,60	0,61	0,62
	60	0,64	0,63	0,62	0,61	0,61	0,61	0,62	0,63
1,0	5	0,47	0,53	0,55	0,53	0,49	0,49	0,51	0,48
	10	0,44	0,49	0,50	0,48	0,45	0,45	0,46	0,44
	20	0,38	0,41	0,42	0,40	0,39	0,37	0,38	0,37
	30	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,31	0,32	0,32
	40	0,29	0,28	0,28	0,27	0,27	0,26	0,26	0,27
	45	0,27	0,26	0,25	0,24	0,25	0,24	0,24	0,25
	50	0,25	0,23	0,22	0,22	0,23	0,22	0,22	0,23
	55	0,24	0,21	0,20	0,20	0,21	0,20	0,20	0,21
	60	0,22	0,19	0,18	0,18	0,20	0,18	0,19	0,20
2,0	5	0,29	0,33	0,33	0,32	0,30	0,27	0,28	0,27
	10	0,26	0,27	0,26	0,26	0,25	0,23	0,23	0,23
	20	0,19	0,17	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,17
	30	0,13	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12
	40	0,13	0,11	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,12

## COEFFICIENTS DE MASQUE GLOBAUX POUR TUBUAI

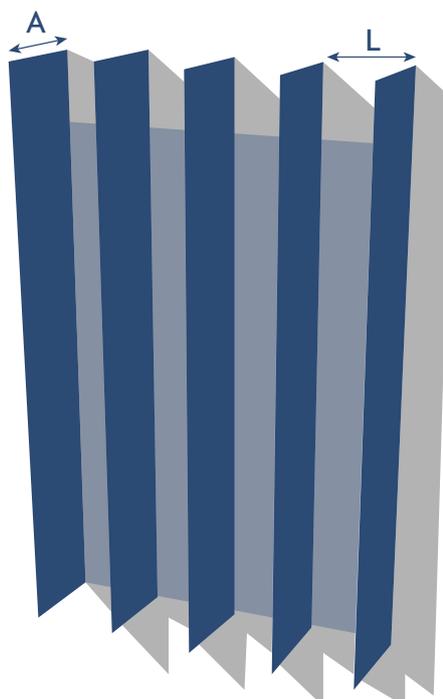
A/H	$\alpha$ alpha	Nord	Nord-Ouest	Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est
0,50	5	0,71	0,74	0,74	0,75	0,77	0,73	0,71	0,72
	10	0,68	0,72	0,71	0,73	0,75	0,71	0,69	0,70
	20	0,65	0,68	0,67	0,69	0,73	0,68	0,66	0,66
	30	0,62	0,64	0,64	0,66	0,71	0,65	0,63	0,63
	40	0,60	0,62	0,62	0,65	0,71	0,64	0,62	0,61
	45	0,60	0,62	0,62	0,64	0,71	0,64	0,61	0,61
	50	0,60	0,61	0,62	0,64	0,71	0,64	0,62	0,61
	55	0,60	0,62	0,62	0,64	0,72	0,65	0,62	0,61
	60	0,61	0,62	0,63	0,65	0,73	0,66	0,63	0,62
1,0	5	0,46	0,52	0,54	0,56	0,59	0,52	0,50	0,48
	10	0,42	0,48	0,50	0,52	0,55	0,48	0,46	0,44
	20	0,35	0,39	0,41	0,44	0,49	0,41	0,39	0,36
	30	0,29	0,32	0,34	0,36	0,43	0,35	0,32	0,30
	40	0,24	0,26	0,28	0,30	0,37	0,30	0,27	0,25
	45	0,22	0,24	0,25	0,27	0,35	0,28	0,25	0,23
	50	0,21	0,22	0,23	0,25	0,32	0,26	0,23	0,21
	55	0,19	0,20	0,21	0,23	0,30	0,24	0,21	0,20
	60	0,18	0,18	0,19	0,21	0,28	0,22	0,20	0,18
2,0	5	0,25	0,30	0,33	0,35	0,39	0,30	0,28	0,26
	10	0,21	0,25	0,26	0,28	0,33	0,26	0,23	0,21
	20	0,15	0,16	0,17	0,18	0,24	0,19	0,17	0,16
	30	0,11	0,10	0,11	0,12	0,16	0,13	0,12	0,11
	40	0,11	0,10	0,11	0,12	0,16	0,13	0,12	0,11

## BRISE-SOLEILS VERTICAUX

Pour les brise-soleils verticaux opaques, la valeur du coefficient de masque ( $C_m$ ) se détermine en fonction du rapport  $A/L$ .

Avec :

- $L$  la distance entre deux lames
- $A$  la profondeur de la lame



### COEFFICIENTS DE MASQUE POUR TAHITI, ATUONA ET TUBUAI

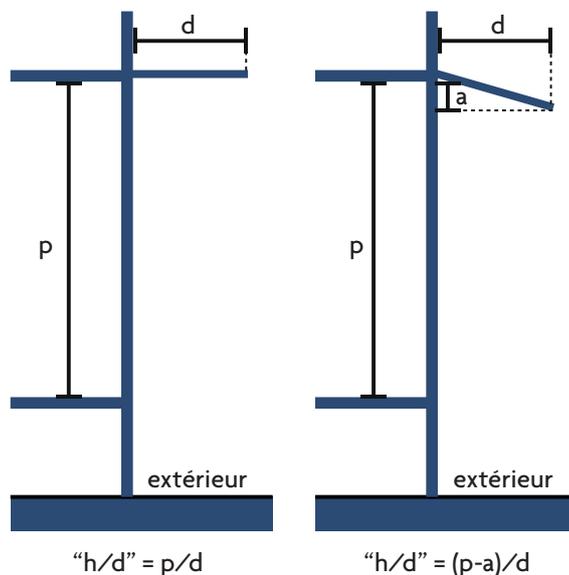
Orientation	A/L	Tahiti	Atuona	Tubuai	Orientation	A/L	Tahiti	Atuona	Tubuai
Nord	0,50	0,50	0,48	0,52	Sud	0,50	0,43	0,40	0,49
	1,0	0,33	0,33	0,34		1,0	0,32	0,27	0,36
	1,5	0,26	0,27	0,27		1,5	0,26	0,23	0,30
Nord-Ouest	0,50	0,67	0,64	0,66	Sud-Est	0,50	0,63	0,68	0,60
	1,0	0,48	0,42	0,46		1,0	0,42	0,49	0,36
	1,5	0,37	0,30	0,36		1,5	0,28	0,35	0,25
Ouest	0,50	0,74	0,70	0,74	Est	0,50	0,68	0,69	0,63
	1,0	0,59	0,52	0,61		1,0	0,49	0,53	0,44
	1,5	0,49	0,40	0,53		1,5	0,39	0,44	0,34
Sud-Ouest	0,50	0,65	0,68	0,61	Nord-Est	0,50	0,68	0,65	0,68
	1,0	0,42	0,49	0,38		1,0	0,49	0,45	0,50
	1,5	0,26	0,35	0,25		1,5	0,37	0,33	0,40

## DÉBORD DE TOITURE

Pour un débord de toiture, la valeur du coefficient de masque ( $C_m$ ) se détermine en fonction du rapport "h/d". En fonction de ces configurations, les rapports "h/d" à considérer sont les suivants :

Avec :

- **d** la profondeur du débord
- **p** la hauteur sous plafond
- **a** la distance entre le haut du plafond et le bas du débord



	"h/d"															
	10	6	4	3,5*	3	2,8*	2,5*	2,3*	2	1,8*	1,6*	1,4*	1,2*	1	0,8*	0,5
Nord	0,95	0,92	0,87	0,84	0,82	0,80	0,77	0,75	0,72	0,69	0,65	0,61	0,58	0,54	0,50	0,44
Nord-Est	0,96	0,92	0,87	0,85	0,83	0,81	0,78	0,76	0,73	0,70	0,67	0,63	0,60	0,56	0,53	0,47
Est	0,97	0,94	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,79	0,77	0,74	0,71	0,68	0,65	0,62	0,57	0,51
Sud-Est	0,98	0,96	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85	0,84	0,82	0,79	0,76	0,73	0,71	0,68	0,64	0,58
Sud	0,98	0,96	0,93	0,92	0,90	0,89	0,87	0,86	0,84	0,81	0,78	0,76	0,73	0,70	0,66	0,60
Sud-Ouest	0,97	0,94	0,91	0,89	0,87	0,85	0,83	0,82	0,79	0,76	0,73	0,70	0,67	0,64	0,59	0,51
Ouest	0,96	0,93	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,78	0,75	0,72	0,68	0,65	0,61	0,58	0,52	0,44
Nord-Ouest	0,95	0,92	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77	0,76	0,73	0,69	0,66	0,62	0,58	0,54	0,49	0,42

\* Valeurs de "h/d" calculées par interpolation linéaire

### 3 - BANQUE DE DONNÉES DES MATÉRIAUX

Terre, Pierre	$\lambda$ (W/m.K)
Granites	2,8
Terre cuite Masse volumique nominale 2 400	1,04
Basaltes	1,6
Pierres naturelles poreuses (ex : laves)	0,55
Ponces naturelles	0,12

Métaux et plastiques	$\lambda$ (W/m.K)
Cuivre	380
Aluminium	230
Zinc	110
Acier	50
Polycarbonates ( $\rho=1200$ )	0,2
Résine polyester ( $\rho=1400$ )	0,19
Matières plastiques synthétiques compactes Naturel ( $\rho=910$ )	0,13

Bétons et plâtres	$\lambda$ (W/m.K)
Béton plein armé, Masse volumique ( $2300 < \rho < 2400$ )	2,3
Béton plein, masse volumique ( $2300 < \rho < 2600$ )	2
Béton Plein, Masse volumique ( $2000 < \rho < 2300$ )	1,75
Béton Plein, Avec sable de rivière ou de carrière	1,4
Béton Plein, Avec laitier granulé	0,8
Béton de ponce naturelle, Masse volumique ( $950 < \rho < 1150$ )	0,46
Bétons de perlite ou de vermiculite ( $600 < \rho < 800$ )	0,31
Béton de copeaux de bois ( $450 < \rho < 650$ )	0,16
Plâtre gâché serré ou très serré ( $1200 < \rho < 1500$ )	0,56
Plâtre courant d'enduit intérieur ( $\rho < 1000$ )	0,4
Plaques de plâtres à parement de carton ( $750 < \rho < 900$ )	0,25

Isolants	$\lambda$ (W/m.K)
Polyuréthane ( $25 < \rho < 45$ )	0,03
Polystyrène extrudé ( $25 < \rho < 40$ )	0,032
Polystyrène expansé ( $24 < \rho < 29$ )	0,04
Laines de roches ( $15 < \rho < 25$ )	0,05
Laines de roches ( $25 < \rho < 40$ )	0,044
Laines de verres ( $20 < \rho < 30$ )	0,041
Plaque de perlite supérieure à 80 % ( $180 < \rho < 220$ )	0,06
Plaques alvéolaires, Épaisseur $< 60$ mm, ( $28 < \rho < 40$ )	0,041
Plaques CFC sans peau de surface	0,033

<b>Briques et parpaings</b>		<b>R (m<sup>2</sup>.K/W)</b>
<b>Légende: AxBxC A = Épaisseur; B = Hauteur; C = Longueur</b>		
Plaquettes de parement (Format 2,5 x 6 x 22 cm)		0,03
Briques de terre cuite pleines Épaisseur E de 10,5 cm		0,12
Blocs de béton creux courants		
5x20x50 cm <sup>3</sup>	Nra : 1	0,07
7,5x20x50 cm <sup>3</sup>	Nra : 1	0,1
10x20x50 cm <sup>3</sup>	Nra : 1	0,12
12,5x20x50 cm <sup>3</sup>	Nra : 1	0,13
15x20x50 cm <sup>3</sup>	Nra : 1	0,14
(15x20x50 cm <sup>3</sup> ) ou (15x25x50 cm <sup>3</sup> )	Nra : 2	0,18
17,5x20x50 cm <sup>3</sup>	Nra : 2	0,21
(20x20x50 cm <sup>3</sup> ) ou (20x25x50 cm <sup>3</sup> )	Nra : 2	0,23 (0,21)
20x20x50 cm <sup>3</sup>	Nra : 3	0,29 (0,26)
22,5x20x50 cm <sup>3</sup>	Nra : 2	0,24
25x20x50 cm <sup>3</sup>	Nra : 3	0,32 (0,28)
27,5x20x50 cm <sup>3</sup>	Nra : 3	0,34 (0,30)

<b>Bois et végétaux</b>	<b>λ (W/m.K)</b>
Epicéa, Sapin Blanc, Western Red Cedar	0,11
Acajou, Cèdre, Douglas, Framiré, Mélèze, Meranti light red	0,13
Limba/Fraké, Taurari, Tiama, Tola	0,15
Meranti dark light, Niangon, Sapelli, Sipo, Teck	0,16
Blintangvr, Bossé foncé, Chêne, Curupixa, Robinier	0,18
Panneaux contreplaqués (750 < ρ < 900)	0,24
Panneaux à lamelles longues et orientées (ρ < 650)	0,13
Panneaux de particules (640 < ρ < 820)	0,18
Feuillus très lourds (ρ > 870)	0,29
Feuillus lourds (750 < ρ < 870)	0,23
Feuillus mi-lourds (565 < ρ < 750)	0,18
Feuillus légers (435 < ρ < 565)	0,15
Feuillus très légers (200 < ρ < 435)	0,13

Vitrages	U (W/m <sup>2</sup> .K)	S
Verre classique 6 mm	5,7	0,85
Verre float teinté		
BRONZE 4 mm	5,8	0,69
GRIS 4 mm	5,8	0,67
VERT 4 mm	5,8	0,64
Verre contrôle solaire		
ARGENT 6 mm	5,7	0,665
ÉMERAUDE 6 mm	5,7	0,465
HAVANE 6 mm	5,7	0,425
BRONZE 6 mm	5,7	0,44
GRIS 6 mm	5,7	0,42
VERT 6 mm	5,7	0,36

Isolants Minces Réfléchissants (IMR)					
Avec lame d'air fortement ventilée (valeur de R(m <sup>2</sup> .K/W))					
Type - Épaisseur	0 mm	5 mm	10 mm	20 mm	40 mm
à Bulles	0	0,06	0,1	0,2	0,48
multicouches	0	0,1	0,2	0,4	0,8
Avec lame d'air faiblement ou non ventilée (valeur de R(m <sup>2</sup> .K/W))					
Type - Épaisseur	Émissivité	Mur	Toiture		
Lame d'air faiblement ventilée	0,05	0,27	0,46		
	0,1	0,24	0,37		
	0,2	0,2	0,27		
	0,5	0,17	0,16		
	> 0,8	0,1	0,11		
Lame d'air non ventilée	0,05	0,53	0,92		
	0,1	0,47	0,74		
	0,2	0,39	0,54		
	0,5	0,34	0,31		
	> 0,8	0,19	0,22		

## LAURE PARENT

Architecte DPLG et gérante associée de l'agence Ora Architecte. Elle est spécialisée dans la qualité environnementale et la conception bioclimatique de bâtiments en climat tropical. Elle œuvre en particulier dans l'accompagnement des Maîtres d'Ouvrages et Maîtres d'œuvre, notamment pour l'application de la démarche de Qualité Environnementale depuis plus de 8 ans.

En complément de sa formation principale d'Architecte, elle est titulaire d'une formation délivrée par l'IUT de Nîmes (« Architecture et techniques pour le développement durable »), approfondie par une formation spécifique aux pays tropicaux (« Écoconstruction en milieu tropical : architecture bioclimatique, énergie et coût global ») proposée par le Service des Énergies et l'Ademe Tahiti en partenariat avec la CCISM.

Laure Parent a réalisé de nombreuses missions d'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage ou Maîtrise d'œuvre environnementale sur des opérations de logements collectifs, d'établissements scolaires, et de bureaux; Elle a également participé à l'élaboration de la réglementation énergétique des bâtiments en Polynésie française.

## GUILLAUME BRENNER

Ingénieur généraliste diplômé de l'École Nationale Supérieure des Mines de Douai, bénéficie d'une expérience de 10 ans dans le secteur du bâtiment. Il est spécialisé depuis 6 ans dans le domaine de la qualité environnementale, l'énergie et la conception bioclimatique.

Ayant, dans un premier temps, exercé le métier de maître d'œuvre d'exécution et d'OPC, il a ensuite été amené à assurer des missions d'assistance à maîtrise d'ouvrage et à maîtrise d'œuvre spécialisée dans le développement durable et l'énergie.

En Polynésie depuis 2013, il s'est forgé une solide expérience dans le domaine du bioclimatisme en milieu tropical en travaillant sur diverses missions de maîtrise d'œuvre d'exécution et de conception bioclimatique et environnementale.

## LAURENT CLAUDOT

Ingénieur conseil, directeur de MDE Conseil, bureau d'études spécialisé en Guyane.

Diplômé de l'INSA de Rennes, a plus de 20 ans d'expérience dans le domaine de l'Efficacité Énergétique et des Énergies Renouvelables, de la conception thermique des bâtiments en climat chaud humide et de la Qualité Environnementale Amazonienne (QEA).

Il a réalisé de nombreuses missions dans les domaines de la Maîtrise de la Demande en Électricité, en site isolé ou sur le littoral guyanais, la conception thermique du bâtiment, bioclimatique (Label ECODOM) ou climatisé (charte QUALICLIM), la maîtrise d'œuvre d'installations solaires de production d'eau chaude sanitaire et d'installations photovoltaïques raccordées réseau, l'assistance à Maître d'Ouvrage pour la conception de bâtiments de Haute Qualité Environnementale. Également enseignant à l'Université de Guyane il intervient régulièrement lors de formations auprès des professionnels.

Graphisme et mise en forme : Claire Joffredo, gérante de ItiClic Infographie.





### **SERVICE DES ÉNERGIES**

B.P. 3829 • 98713 Papeete • TAHITI • Polynésie française  
Immeuble Brugmann, 13 av. Pouvanaa Oopa  
Tel: (+689) 40 50 50 90 - Fax: (689) 40 41 30 67  
E-mail: [secretariat@energie.gov.pf](mailto:secretariat@energie.gov.pf)  
Site internet: <https://www.service-public.pf/sde/>



### **ADEME Polynésie française**

BP 115 • 98713 PAPEETE • TAHITI • Polynésie française  
Rue Dumont Durville  
Tél.: (689) 40 46 84 72  
E-Mail: [ademe.polynesie@ademe.fr](mailto:ademe.polynesie@ademe.fr)  
Site internet: [www.polynesie-francaise.ademe.fr](http://www.polynesie-francaise.ademe.fr)