FARECO

LE GUIDE POLYNÉSIEN de l'éco-construction



Secteur de l'enseignement





SOMMAIRE

AVAN I-PROPOS	
OUTILS MÉTHODOLOGIQUES	
IMPLANTATION DES BÂTIMENTS	
1 - Choix du site	
MAÎTRISE DES APPORTS SOLAIRES	
1 - Facteur solaire	
2 - Isolants	
3 - Protection solaire de la toiture	
4 - Protection solaire des baies	
5 - Protection solaire des murs	
6 - Protection solaire par le végétal	
RAFRAÎCHISSEMENT DES LOCAUX	
1 - Stratégie de confort	
2 - Ventilation naturelle traversante	
3 - Brasseur d'air	
4 - Climatisation performante	
5 - Ventilation hygiénique	56
MATÉRIAUX	59
1 - Qualités hygrothermiques	60
2 - Entretien et durabilité	61
3 - Entretien et maintenance	
4 - Impact environnemental	
5 - Impact sanitaire	66
ENTRETIEN ET MAINTENANCE	71
1 - Conception du bâti pour un entretien et une maintenance simplifiés	72
2 - Entretien et maintenance du bâtiment en exploitation	78
3 - Maintenance des performances des systèmes	80
CONFORT ACOUSTIQUE ET VISUEL	87
1 - Confort acoustique	88
2 - Éclairage naturel	92
3 - Éclairage artificiel	97
GESTION DE L'ÉNERGIE	107
1 - Sobriété énergétique	
2 - Efficacité énergétique par la conception du bâti	109
3 - Efficacité énergétique des systèmes	
4 - Énergies renouvelables	116
5 - Comptage et coûts énergétiques	131
GESTION DE L'EAU	135
1 - Diminution de la consommation d'eau potable	
2 - Gestion des eaux pluviales	
3 - Traitement des eaux usées	
ANNEXES	100
PRÉSENTATION DES AUTEURS	
PRESENTATION DES AUTEURS	186

AVANT-PROPOS

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 3 vise à orienter les maîtres d'ouvrage et concepteurs vers la réalisation de **bâtiments d'enseignement** d'architecture néo polynésienne, 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'usager 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 de l'enseignement. 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 récapitulant les 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-coller 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.

OUTILS MÉTHODOLOGIQUES

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

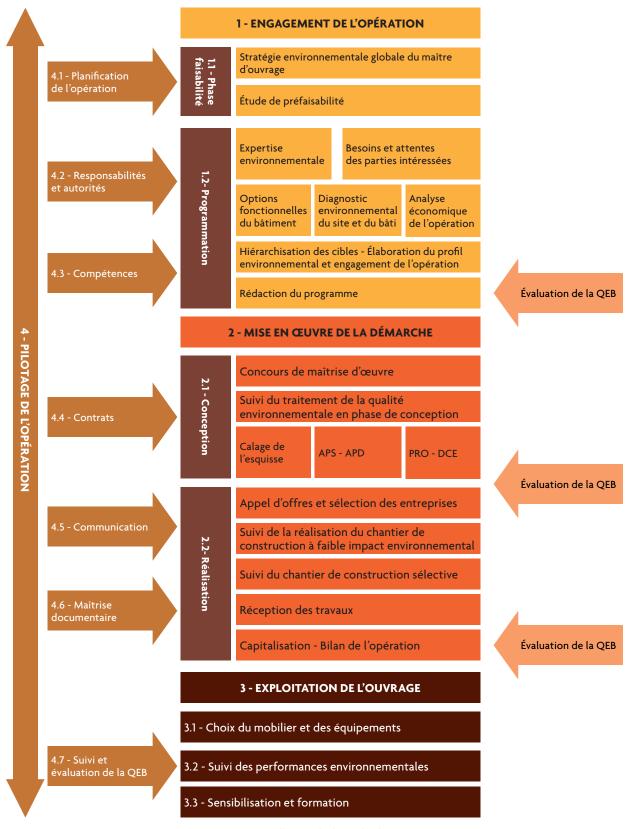
La réussite de la mise en place d'un système de management de l'opération nécessite :

- 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

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



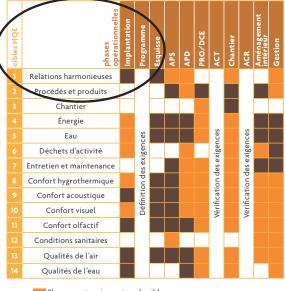
Logigramme illustrant la démarche du SMO



IMPLANTATION DES BÂTIMENTS

1 - Choix du site	10
1.1 - Le bâtiment et son environnement	11
1.2 - Implantation et ventilation naturelle	11
13 - Implantation et protection solaire	13

La recherche d'une implantation optimale des bâtiments sur un site est la première étape de la conception environnementale.



Phase ayant un impact sur la cible

Phase ayant un impact important sur la cible

Les cibles de la QEB au fil des étapes opérationnelles du projet (La Qualité Environnementale des Bâtiments - ADEME)

Elle revêt un caractère incontournable dans le cas de constructions bioclimatiques, et d'autant plus pour un fonctionnement en ventilation naturelle traversante pour des locaux comme les salles de classe, les réfectoires et les espaces polyvalents. C'est à cet usage qu'a été principalement rédigé le chapitre suivant.

1 - CHOIX DU SITE

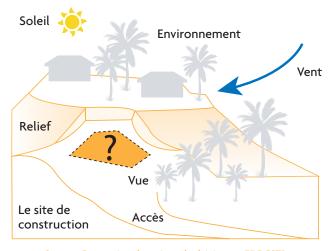
Pour atteindre des objectifs de confort élevés à un coût maîtrisé, la connaissance, le choix et l'exploitation des atouts et contraintes d'un site sont essentiels. On peut citer:

- 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.

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... mais sans dévoyer le projet! C'est tout le talent du concepteur!

Néanmoins il faut aussi savoir reconnaître les impossibilités à concilier certaines contraintes avec une architecture bioclimatique réellement performante. Ainsi la ventilation naturelle traversante s'accommode mal d'une densité urbaine trop élevée qui concentre les nuisances (acoustiques notamment) et réduit le potentiel de vent. Il faudra, dans ce cas, soit dégrader la qualité environnementale du projet, soit trouver un autre site.

Le choix du site d'implantation d'une construction scolaire bioclimatique doit donc être pensé en amont de l'aménagement du quartier... et non pas considérer que le dernier terrain disponible peut « faire l'affaire ».



Source: Conception thermique des bâtiments EDF CSTB

1.1 - LE BÂTIMENT ET SON ENVIRONNEMENT

La connaissance des atouts et contraintes du site passe par une bonne connaissance de la parcelle à aménager:

- Les règlements qui la concernent (urbanisme, cahier des charges de ZAC, etc.)
- Le sol, sa structure pour définir les fondations, sa perméabilité, les écoulements naturels
- La forme de la parcelle, les possibilités de voies d'accès, la gestion des eaux pluviales, les contraintes de voisinage
- Les masques au vent ou au soleil créés par l'urbanisme ou le relief aux alentours
- La biodiversité, les éléments paysagers...

Ainsi il faut construire « avec » le site et non pas « contre » le site. En effet, d'une part, procéder à des déblais-remblais par exemple a un impact financier important et, d'autre part, aller contre les équilibres principaux du site peut entraîner des perturbations parfois inattendues et au final nuire à l'harmonie du projet.

Il est donc indispensable de concevoir une architecture qui dialogue avec le site, par exemple par une ouverture du projet sur des éléments du paysage ou éléments urbains attractifs, par une relation avec le patrimoine bâti ou un espace naturel proche qui sera positivement appréciée par les usagers (élèves, professeurs, élèves, parents) et contribuera à une bonne perception de l'aménagement.

1.2 - IMPLANTATION ET VENTILATION NATURELLE

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 et idéalement en période diurne. 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 a minima pendant la période d'occupation) 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.

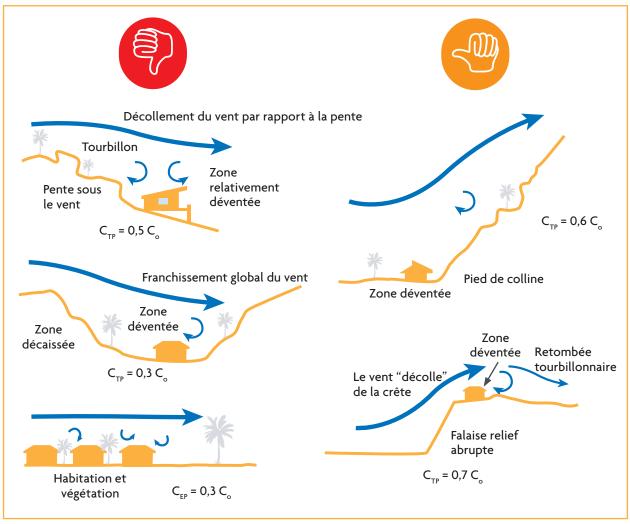
Deux facteurs sont à considérer. Il s'agit de l'exposition d'une part et de l'orientation d'autre part aux vents dominants.

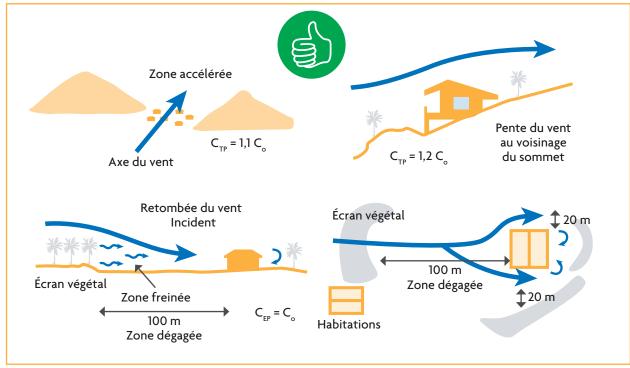
1.2.1 - EXPOSITION AUX VENTS DOMINANTS

Des exemples (liste non exhaustive) de situations favorables ou défavorables sont présentés ci-dessous.



Illustrations de situations défavorables créées par l'urbanisme (Conception thermique des bâtiments EDF CST)





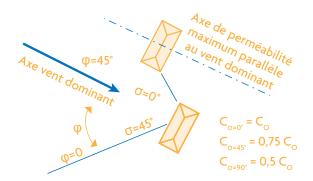
Quantification des effets de la topographie ou de la végétation (CSTB Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide)

1.2.2 - ORIENTATION AUX VENTS DOMINANTS

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).

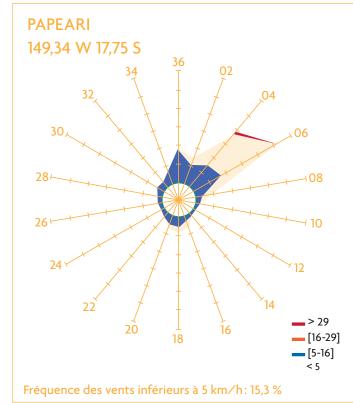
Dans un objectif de ventilation de confort, particulièrement utile en saison chaude, dans le cas général, on doit donc privilégier une orientation aux vents dominants de secteur nord-est (avec une tolérance acceptable de plus ou moins 45° par rapport à cette direction).



 C_0 est le coefficient de ventilation naturelle de référence C_α est le coefficient de ventilation naturelle selon la valeur de l'angle

Une orientation à 45° de l'axe du vent dominant permet de garder 75 % du potentiel et à 90° seulement 50 % (CSTB Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide)

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



FF	[5-16]	[16-29]	> 29	Total
Dir	km/h	km/h	km/h	Totat
02	4,9	2,0	0,1	7,0
04	7,5	10,8	0,7	19,0
06	8,4	17,1	0,3	25,8
08	1,5	2,1	0,3	4,0
10	0,5	0,1	0,0	0,5
12	0,1	0,0	0,0	0,1
14	0,3	0,1	0,0	0,4
16	1,0	1,4	0,4	2,8
18	2,3	1,5	0,0	3,8
20	2,2	0,9	0,0	3,1
22	0,5	0,1	0,0	0,6
24	0,2	0,1	0,0	0,3
26	0,5	0,0	0,0	0,5
28	0,7	0,0	0,0	0,7
30	1,7	0,0	0,0	1,7
32	1,5	0,0	0,0	1,5
34	3,5	0,0	0,0	3,5
36	8,9	0,3	0,0	9,2
Total	46,3	36,5	1,9	84,7

Le signe indique une fréquence non nulle mais inférieure à 0,05

Rose des vents de Papeari qui montre un potentiel de vent majoritairement nord est (Programme technique École Muturea – Climat)

1.3 - IMPLANTATION ET PROTECTION SOLAIRE

Idéalement, 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, soit orienter aux vents dominants (Alizés
- à l'est) la façade la plus favorable à une ventilation traversante
- 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

À noter que dans le cas d'une exposition favorable à la ventilation naturelle traversante, a priori donc moins favorable à la protection solaire, des solutions existent telles que renforcer les protections solaires de type écran proche par exemple, tandis qu'à l'inverse un choix privilégiant la protection solaire n'offre pas de solution compensatoire pour la ventilation... sauf à installer des brasseurs d'air.

Dans le cas de bâtiments d'enseignement, il faut donner la priorité de l'implantation aux salles de classe à orienter autant que possible favorablement à la ventilation naturelle. Les bâtiments administratifs ou salles spécifiques prévues climatisées sont à orienter nord / sud. De plus certains espaces de stockage peuvent servir d'espace tampon en protégeant les espaces du soleil.

Dans ces approches il ne faut pas non plus négliger les espaces extérieurs (cour de récréation, terrains de sport, préaux, etc.) qui doivent aussi être protégés du soleil, de la pluie et ventilés sauf au risque de les rendre la plupart du temps inutilisables.

EN RÉSUMÉ



L'implantation de bâtiments d'enseignement doit :

- 1 Très en amont, s'appuyer sur le programme environnemental du projet qui précise les surfaces, ambiances et qualités des espaces à créer mais surtout les interactions et fonctionnalités à l'intérieur de l'établissement d'enseignement.
- 2 S'effectuer sur un site assez favorable, après analyse approfondie de ses atouts et contraintes, pour des salles de classe en priorité en ventilation naturelle.
- 3 Refléter une architecture qui dialogue avec le site.
- 4- Rechercher des compromis architecturaux entre ventilation naturelle et protection solaire selon les ambiances à créer.
- 5 En définitive, nécessiter de nombreux allers retours et concertations, pour aboutir à un optimum entre la fonctionnalité au niveau scolaire et les considérations techniques de l'écoconstruction.



MAÎTRISE DES APPORTS SOLAIRES

1 - Facteur solaire	19
1.1 - Toiture et murs	19
1.2 - Baies	21
2 - Isolants	21
3 - Protection solaire de la toiture	22
3.1 - Types de solutions envisageables	23
3.2 - Impact environnemental	25
4 - Protection solaire des baies	26
4.1 - Types de solutions envisageables	27
4.2 - Impact environnemental	31
5 - Protection solaire des murs	
5.1 - Types de solutions envisageables	33
5.2 - Impact environnemental	36
6 - Protection solaire par le végétal	36
6.1 - Végétalisation des abords	
6.2 - Toiture végétalisée	38
6.3 - Protection solaire végétale des façades	

La maîtrise des apports solaires est très importante dans les bâtiments scolaires, car elle peut parfois faire la différence entre un projet qui nécessite un rafraîchissement quotidien par climatisation et un projet qui peut s'en passer.

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)

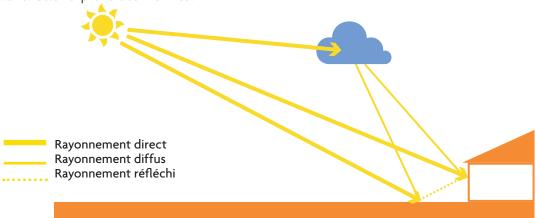
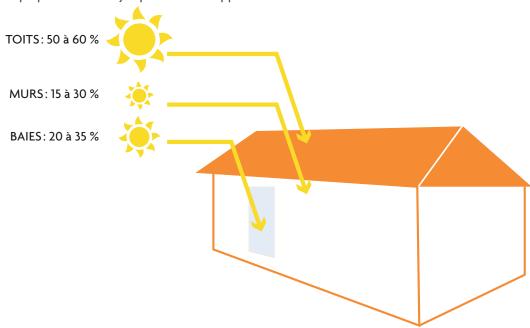


Illustration des trois formes du rayonnement solaire

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 nature, pour les chambres par exemple.

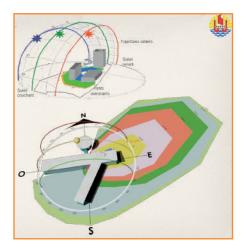


Illustration de l'implantation des bâtiments fonction de la rose des vents et de la course solaire

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

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

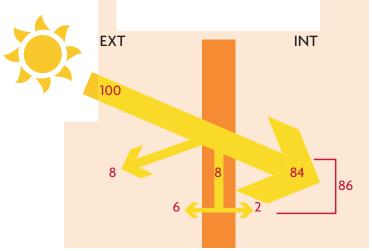
1- FACTEUR SOLAIRE

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:

$S = 0.07.\alpha.f.Kcorr. Cm / (Rt + 0.2)$

Avec:

- α = Coefficient d'absorption de la paroi dont la valeur dépend de la teinte
- Rt = Résistance thermique de la paroi (1 ou plusieurs matériaux) en m².K/W
- 0,2 = Résistance superficielle totale de la paroi
- 0,07 = Résistance d'échange superficiel extérieure
- f = Facteur de masque lointain (relief)
- Kcorr = 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 α À UTILISER
Claire	Blanc, jaune, orange, beige, crème, rouge clair	0,4
Moyenne	Rouge sombre, vert clair, bleu clair, gris clair	0,6
Sombre	Brun, vert sombre, bleu vif, gris moyen, bleu sombre	0,8
Noire	Gris foncé, brun sombre, noir	1

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

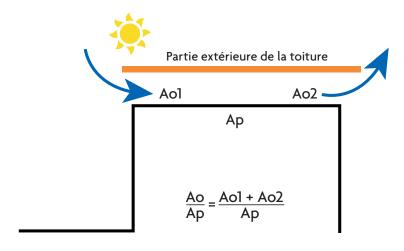
Ainsi, quelles que soient les parois, une démarche FAREco est incompatible avec une teinte noire. D'autre part, compte tenu des champignons (cryptogames notamment) qui assombrissent les toitures, le coefficient α ne pourra être inférieur à 0,6 dans le cas de toitures.

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:

- Ao la surface d'ouverture totale en m²
- Ap la surface totale de la toiture (du plafond)
- R la résistance thermique de la surtoiture

Rapport Ao/Ap (%)	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	α = 0.4	α = 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'une baie est défini par:

$$S = S_0 \cdot C_m \cdot f$$

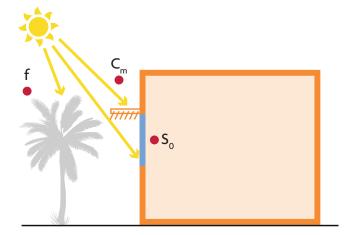
Avec

 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_a = 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:

- 1: Caractérise l'aptitude de l'isolant à résister à l'effet d'une compression (incompressibilité)
- S: Permet de juger de la stabilité dans le temps des dimensions initiales de l'isolant sous l'influence de la chaleur, de l'humidité et des sollicitations mécaniques
- O: Caractérise le comportement à l'eau de l'isolant (imperméabilité, absorption d'eau...)
- L: Caractérise la cohésion et la rigidité de l'isolant après essais mécaniques en traction

• E: Caractérise l'aptitude de l'isolant à s'opposer au passage de la vapeur d'eau



Chacune de ces caractéristiques est notée de 1 à 5, selon son niveau de qualité. Plus la note est élevée, plus 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'empoussièrement 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 influer d'un point de vue thermique sur le complexe. De fait, les fuites d'air doivent être inférieures à 1500 mm² par mètre linéaire de mur (fente acceptable: moins de 1,5 mm d'ouverture) ce qui correspond à une pose soignée de produits bien tendus, agrafés et pincés par des profilés pour assurer une étanchéité périphérique correcte.

Généralement, la lame d'air est de 2 à 4 cm, et peut être doublée sur 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).

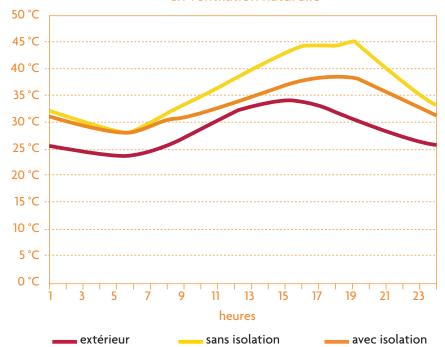
3 - PROTECTION SOLAIRE DE LA TOITURE

Le niveau de performance des toitures est fixé dans le référentiel FAREco à S < Smax avec Smax = 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.

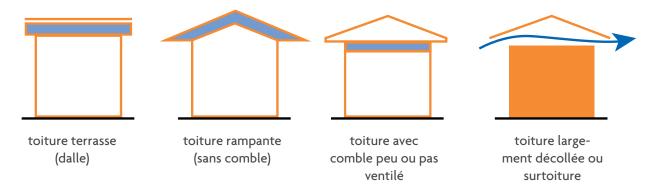
Évolution journalière des températures d'un local en ventilation naturelle



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 m².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

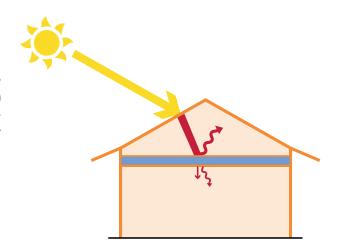
L'isolant peut être intercalé entre la dalle béton et l'étanchéité sous réserve d'un classement ISOLE compatible. Il peut aussi être placé en sous face de dalle, d'une épaisseur sensiblement inférieure s'il est revêtu d'un placo avec ou sans lame d'air.

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).



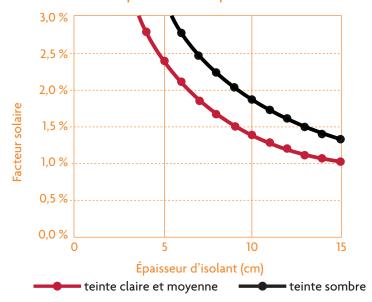
Les épaisseurs minimales (en cm) d'isolant à mettre en place sont définies dans le tableau suivant :

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

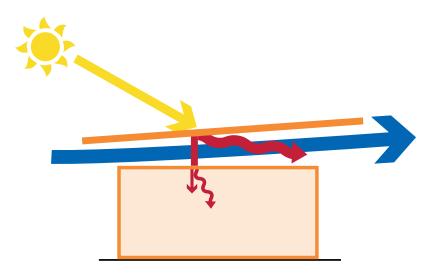


Une solution standard est donc par exemple la pose d'un isolant de 10 cm d'épaisseur en excluant le choix de teintes sombres.

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 Ao au moins égale à 15 % de la surface totale de la toiture (du plafond) Ap. 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 Ao/Ap = 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/m3)*	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 CO₂ (800 à 1100 kg∕m³)	
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

<u>N.B.:</u> 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 ».

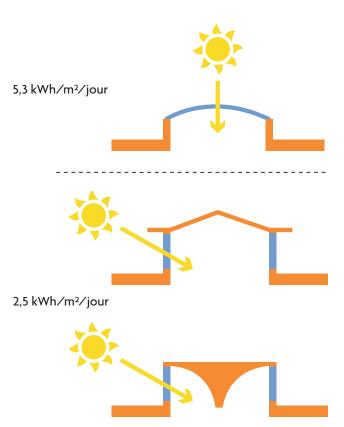
Ils sont liés à l'énergie emmagasinée par les ouvertures d'une maison, qu'il s'agisse d'une fenêtre par « effet de serre » ou d'une porte, car elles sont généralement moins « étanches » à la chaleur que des matériaux plus lourds qui constituent les murs.

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 _{max}		
Orientation	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}			
Orientation	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, elles ne sont pas compatibles avec le référentiel FAREco compte tenu des apports importants de chaleur qu'elles 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/m²/jour contre 5,3 kWh/m²/jour). Leur traitement en termes de protection solaire correspond à celui d'un vitrage vertical.

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

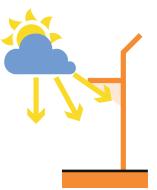
Rayonnement direct

Façades Sud et Nord Bonne protection

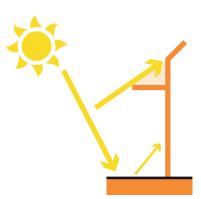


Façades Ouest et Est Peu recommandé

Rayonnement indirect



Rayonnement diffus Protection moyenne



Rayonnement réfléchi Protection en partie haute seulement

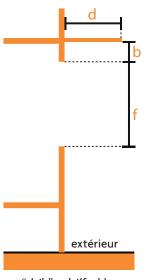
La valeur qui va ici servir de référence pour évaluer les dimensions minimales des auvents à respecter est celle de "d/h", qui est définie à partir:

- 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

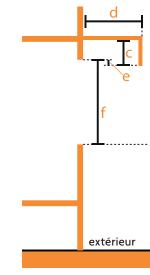
Il y a 2 cas de "d/h" pour les baies:

- 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.





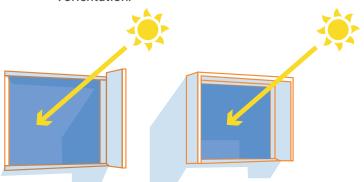


d/h'' = d/(f - e)

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.

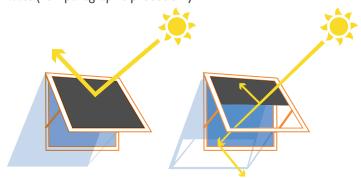
Les brise-soleil à lames peuvent être à lames fixes ou orientables (en particulier à l'Est et à l'Ouest). Dans ce cas, leur manipulation peut se faire manuellement, ou avec l'aide d'un dispositif électrique élaboré.

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 la baie. Si la protection solaire est de teinte sombre, alors la paroi ou la baie devra respecter une résistance thermique supérieure à 0.15 m².K / W.

L'efficacité d'un brise-soleil correspond à l'effet de masque qu'il apporte. Les valeurs des coefficients de masques Cm 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

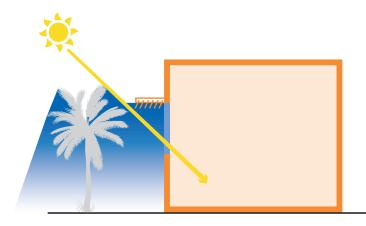
Le troisième type de protection solaire est une solution rapportée qui est de type store intérieur ou extérieur ou film solaire qui a l'avantage de pouvoir être posée a posteriori en correctif mais le désavantage d'être d'autant plus efficaces qu'ils obstruent la lumière naturelle.

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.

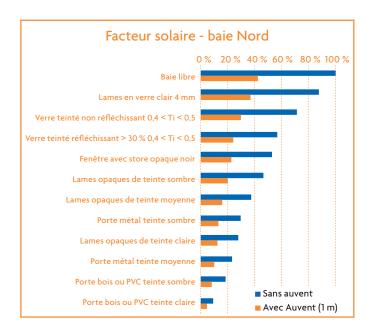


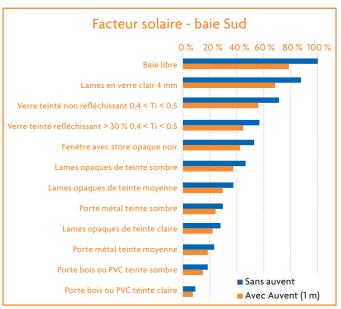
Ceux-ci sont constitués par des éléments extérieurs, comme un bâtiment proche, un relief important ou de la végétation arborée, qui peuvent dispenser d'un traitement local sur le bâtiment, pour protéger un (ou une paroi entière). Leur efficacité est cependant aléatoire, et ils ne sont souvent intéressants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

4.1.6 - SOLUTIONS MIXTES

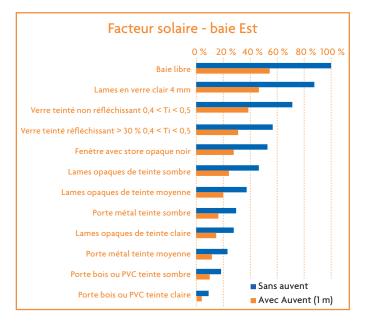
Dans le cas de solutions alliant plusieurs types de protections solaires, on se référera à la formule de calcul de Facteur solaire ($S = f \times S_0 \times Cm$), et aux différents coefficients donnés.

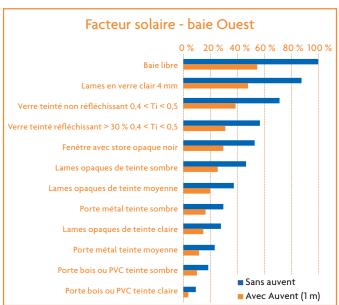
Les graphiques ci-dessous présentent différentes solutions de protection solaire de baies avec auvent (de type étendu pour une baie de hauteur 1,2 m) ou sans.





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).

4.2.2 - 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).

4.2.3 - ENTRETIEN ET MAINTENANCE

Les brise-soleil 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.

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

5 - PROTECTION SOLAIRE DES MURS

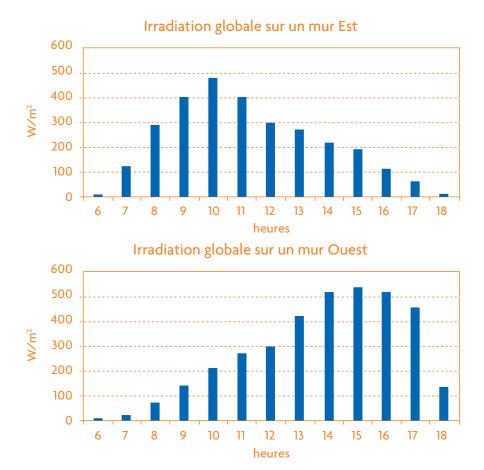
La dernière source d'apport solaire d'un local se situe au niveau de l'absorption et de la rediffusion de la chaleur par les murs (parois verticales). L'efficacité d'un mur à retransmettre cette chaleur se mesure ici aussi par son facteur solaire S. Dans Le niveau de performance des murs est fixé dans le référentiel FAREco à S < Smax avec les valeurs Smax 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

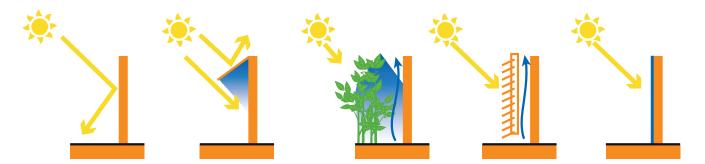


On notera que les murs de teinte sombre et noire ne sont pas évoqués dans les tableaux suivants, car incompatibles avec une démarche d'écoconstruction.

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.

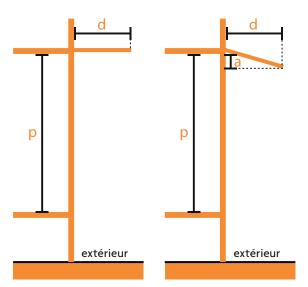
À l'Est et à l'Ouest, quelques centimètres suffisent généralement.

5.1.2 - PROTECTION HORIZONTALE

On retrouve ici les mêmes types de protections que pour les baies. Une nouvelle fois, on se base sur la distance « h/d » pour déterminer le facteur solaire de la paroi. Les différentes valeurs de Cm 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 $C_{\rm m}$ sont les mêmes que pour les baies. 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 décollement 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

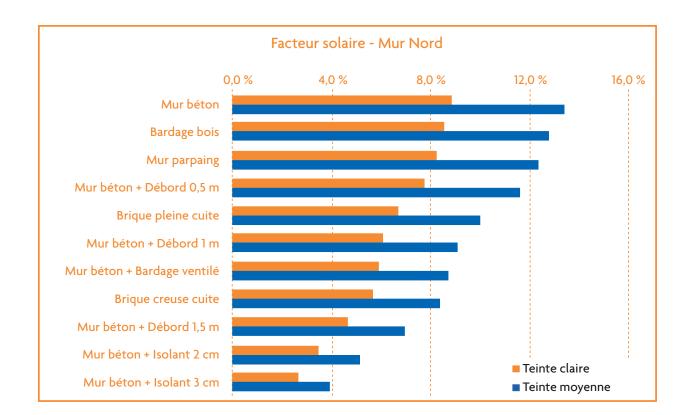
Valeurs comparées des épaisseurs des matériaux (en cm) nécessaires pour une même résistance à la chaleur.

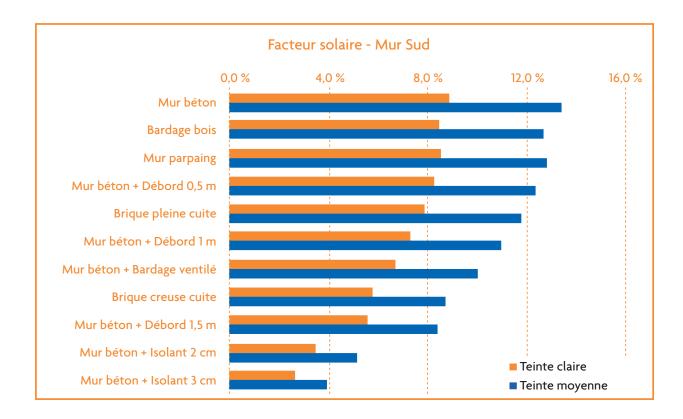
5.1.6 - MASQUES LOINTAINS

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

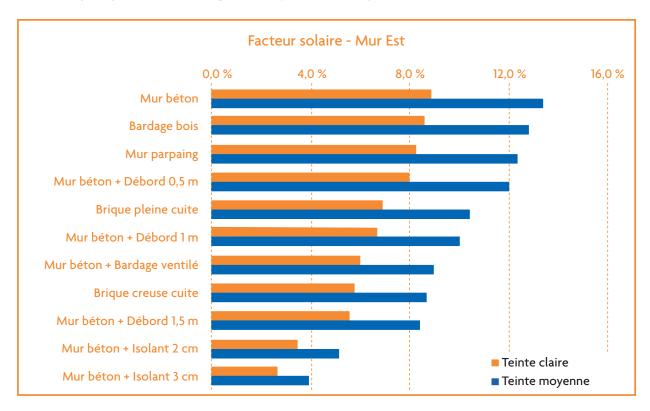
5.1.7 - COMPARAISON DES SOLUTIONS

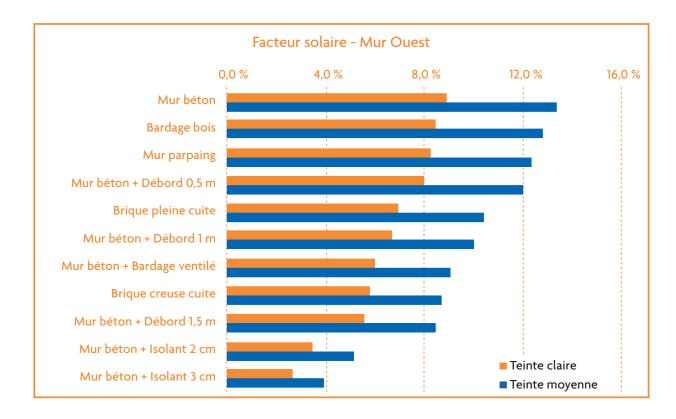
Les graphiques ci-dessous présentent différentes solutions de protection solaire de murs avec débord de toiture (pour un mur de hauteur 2,5 m) ou sans.





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.

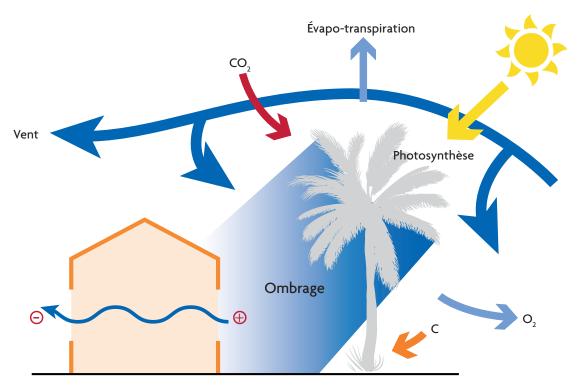
6 - PROTECTION SOLAIRE PAR LE VÉGÉTAL

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 sont fonction des conditions de substrat, d'humidité, etc. et restent donc relativement difficiles 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 ou 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 50 % 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 Evergreer

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

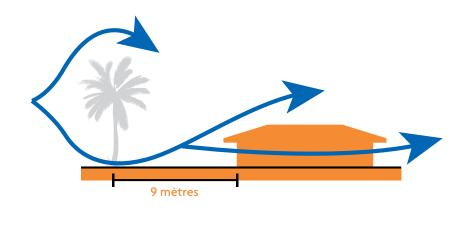
La meilleure végétation pour les **façades Sud et Nord** est une végétation qui se développe horizontalement sur des supports type treillis, tonnelle ou bien des arbres hauts s'ils sont suffisamment près du bâtiment.

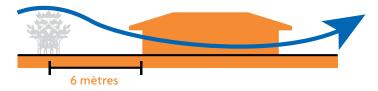
Pour les **façades Est et Ouest**, il vaut mieux planter une végétation verticale: arbres, buissons.

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.





hauteur, pour une maison à un niveau, est à 6 mètres cement idéal est à 9 m. de distance de la façade exposée au vent.

L'emplacement optimal d'une haie de 3 mètres de Pour un arbre avec un feuillage à 1,5 m du sol, l'empla-

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

1 - Strategie de confort	42
1.1 - Le confort thermique	42
1.2 - Critères de choix entre ventilation naturelle et climatisation	43
1.3 - Bâtiment réversible	43
2 - Ventilation naturelle traversante	44
2.1 - Pression dépression	45
2.2 - Espaces traversants	46
2.3 - Porosité extérieure	48
2.4 - Porosité intérieure	49
3 - Brasseur d'air	
3.1 - Éclairage et brasseur d'air	52
3.2 - Hauteur sous plafond et brasseur d'air	
3.3 - Mode d'intermittence, variateur de vitesse?	52
4 - Climatisation performante	53
4.1 - Le programme	
4.2 - Le bâti	53
4.3 - Le dimensionnement	54
4.4 - Le choix du système	54
4.5 - La mise en œuvre	55
4.6 - Les réglages	56
4.7 - La maintenance	56
5 - Ventilation hygiénique	56
5.1 - La réglementation	
5.2 - Les solutions	56
5.3 - La VMC	57

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 précisés plus bas.

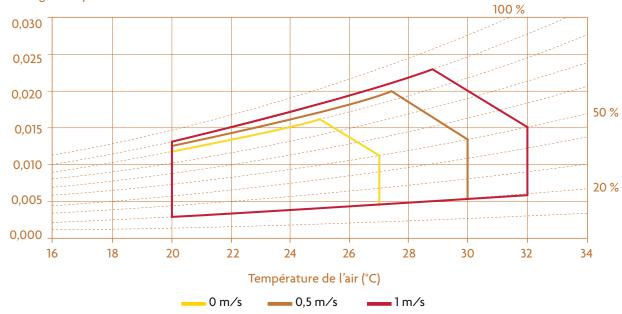
1.1 - LE CONFORT THERMIQUE

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.

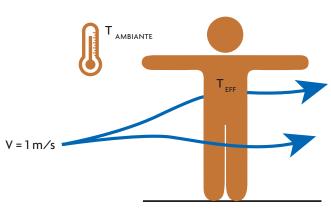
Humidité Spécifique (Kg eau / kg air sec)

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.

Vitesse d'air



V_{1 m/s} -> T_{EFFECTIVE} = T_{AMBIANTE} - 4°

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 ⁽¹⁾	Ex. Zones de campagne et semi-urbaines, zones côtières sous le vent (2)	Ex. Zones urbaines (3)
Orientation aux vents dominants	Ventilation naturelle	Ventilation naturelle	Ventilation naturelle ou climatisation tolérée
Orientation à plus de 45° du vent dominant	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

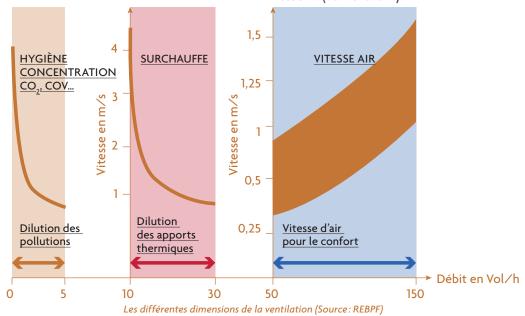
solaire; ces compromis réduisent la performance énergétique

Aussi cette disposition n'est préconisée dans la démarche FAREco que pour l'hôtellerie et les bureaux (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

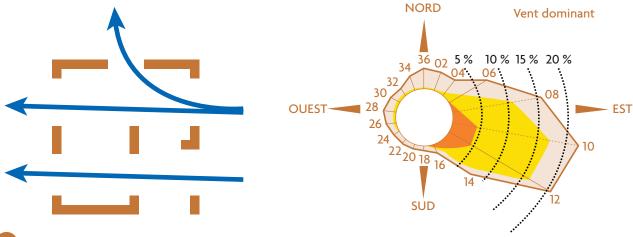
La ventilation naturelle présente plusieurs avantages; elle permet de:

- 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).

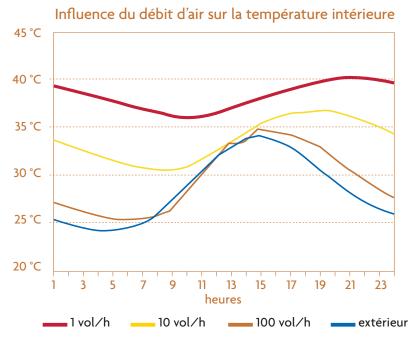


Le degré de ventilation naturelle d'un bâtiment dépend de:

- 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.



Hypothèses: Journée type de janvier; Toiture avec isolation: S = 1,5 %; Murs: S = 7 %

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

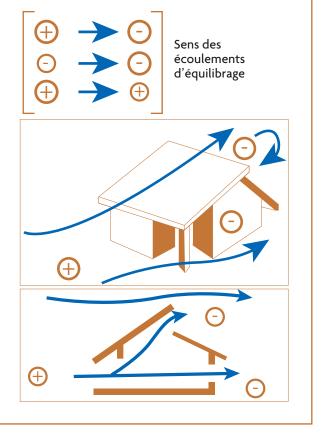
2.1 - PRESSION DÉPRESSION

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 - 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, ouvrants 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
- Impérativement se limiter à une salle de classe par trame car le potentiel de ventilation naturel est grandement diminué lorsqu'il y a plus de 10 à 12

- mètres entre les deux façades. Cette disposition va également dans le sens du confort visuel (répartition homogène des ouvertures, pas de vis-à-vis) et acoustique (propagation du son entre classes)
- 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)

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

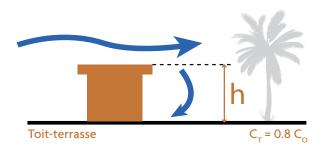
Le traversant indirect fait référence à 2 façades adjacentes, le traversant à 2 façades opposées, le traversant orienté à une conception traversante avec une exposition dans l'axe des vents dominants.

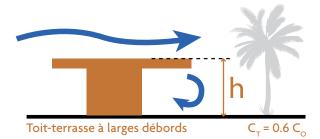
Pour atteindre 100 volumes par heure, 25 % de porosité sont suffisants avec une orientation et un traversant mais il faut près de 50 % de porosité avec un traversant seul.

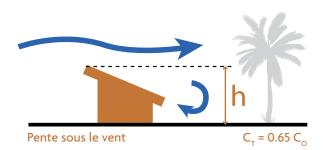
Remarques:

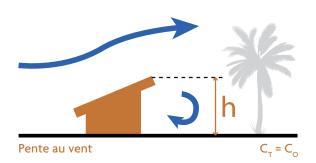
- À 45° des vents dominants, le potentiel de ventilation est 25 % moins important que face à ces mêmes vents, et à 90°, il est 50 % moins élevé
- Les baies coulissantes permettent de doser le débit de l'air sans modifier l'écoulement, mais elles divisent la surface ouvrable par 2 (sauf dans le cas de 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 m² de fenêtre avec moustiquaire ne représente en réalité qu'un équivalent de 0,9 m² d'ouverture
- Certaines formes architecturales sont plus ou moins favorables à la ventilation naturelle

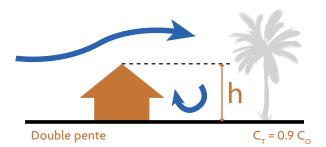






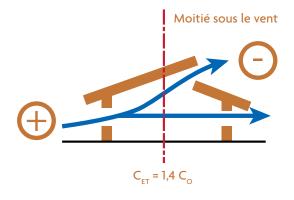


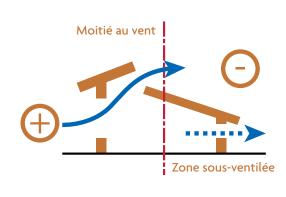


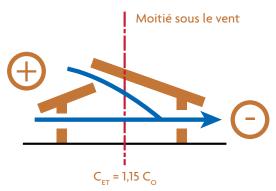


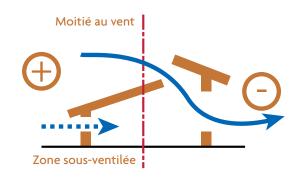
 ${\sf C_0}$ est le coefficient de ventilation naturelle de référence ${\sf C_T}$ est le coefficient de ventilation naturelle avec une toiture fermée ${\sf C_{ET}}$ est le coefficient de ventilation naturelle avec une toiture ouverte

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)

2.3 - POROSITÉ EXTÉRIEURE

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.

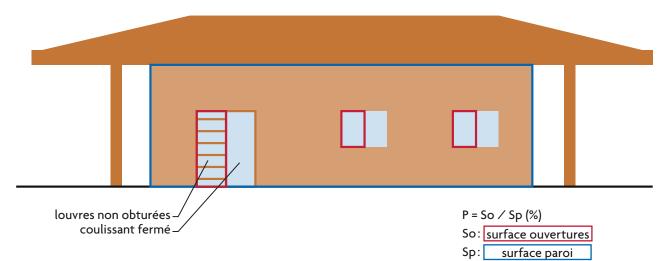
On peut définir la porosité d'une paroi par la formule :

P = So/Sp

Avec:

- Sp la surface de la paroi
- So la surface d'ouverture de la paroi (ou la somme des surfaces d'ouverture)

Exemple: une fenêtre de 1 m² sur un mur de 10 m², P = 1/10 soit 10 %



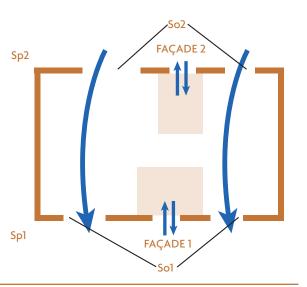
La porosité extérieure qui concerne la paroi au vent et la paroi sous le vent est définie par la formule:

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

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

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.

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

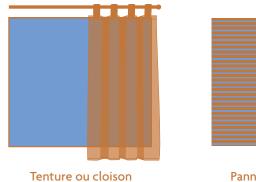
Les coefficients de pondération oscillent donc entre 0,8 et 1,4, en conséquence de quoi les exigences de porosité Préf varient de 20 à 35 % en se basant sur une porosité de base de 25 %.

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

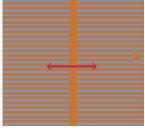
2.4 - POROSITÉ INTÉRIEURE

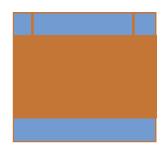
La porosité extérieure peut être sans effet si le flux d'air est freiné par de petites ouvertures dans les cloisons intérieures, c'est-à-dire une faible porosité des parois intérieures des zones de ventilation.

Aussi pour chaque zone homogène de ventilation, la surface des ouvertures intérieures Soint, perpendiculaire au sens du flux, doit être supérieure ou égale à la surface des ouvrants de la paroi extérieure Soext qui a la porosité la plus faible. Ces surfaces intérieures doivent par ailleurs être réparties uniformément.



rétractable (acoustique)





Panneau coulissant

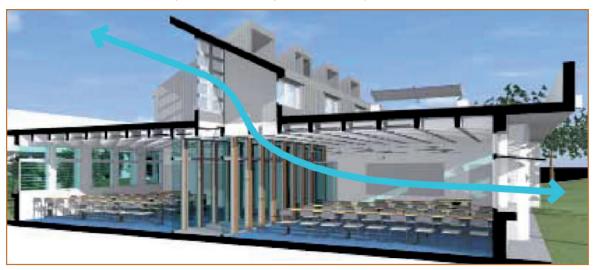
Cloison ouverte en partie supérieure et inférieure

Un projet FAREco doit avoir So_{int} > So_{ext} correspondant à une porosité P ≥ P_{réf} pour toute zone en ventilation naturelle.

De plus, sous réserve d'une étude aéraulique poussée, des solutions architecturales originales sont possibles.



Système d'ouvrants sur pivots associés à des jalousies bois



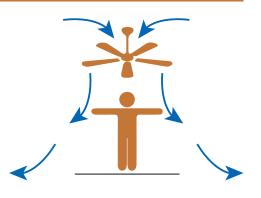


Exemple du bâtiment M du Campus Universitaire Le Tampon à la Réunion qui fonctionne par écopes dépressionnaires calculées après modélisation en soufflerie (vue en coupe et détails des écopes).

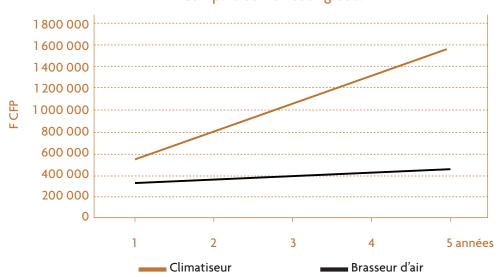
3 - BRASSEUR D'AIR

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 en BT pro et entretien) d'un climatiseur ou d'un brasseur d'air pour le rafraîchissement d'une classe de 50 m².

Hypothèses: toit isolé; EER = 3; fonctionnement 6 heures par jour; 5 jours par semaine et 26 semaines par an Puissance Clim: 5 kW; Puissance BA: 300 W

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 m³/Wh et avec la répartition par tranche selon le tableau ci-dessous.

Surface de la pièce (m²)	Nb de brasseurs d'air
Jusqu'à 20 m²	1
De 20,1 à 35 m²	2
De 35,1 à 50 m²	3
De 50,1 à 65 m²	4
Etc.	

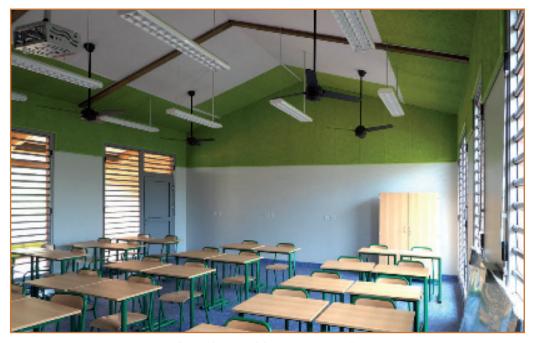
Le brasseur d'air peut aussi être utilisé en complément d'un climatiseur pour pouvoir augmenter la température de consigne et rendre plus homogène la température dans la pièce.

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!



Extension collège Nelson Mandela, Doujani Mamoudzou (Mayotte)

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 blessures, même minimes, rapportées 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 des salles de classe doit être réservée à des cas particuliers soit nécessités par l'usage, soit du fait d'un environnement très défavorable. 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)
- Rafraîchissement (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:

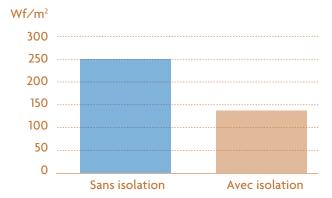
- La protection solaire de la toiture, des baies et des murs, commune à l'architecture bioclimatique mais qui peut être poussée au-delà car très rentable (voir le chapitre « Maîtrise des apports solaires »)
- La maîtrise de l'air neuf qui concerne l'étanchéité du bâti en adéquation avec un dispositif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

Ainsi, s'il est recommandé que toutes les menuiseries 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.)

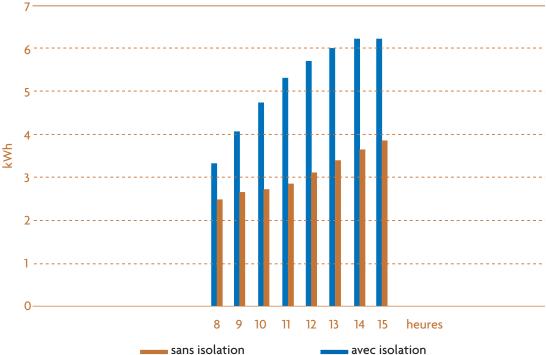
Puissance frigorifique de la climatisation pour maintenir 24 °C



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: Journée type 1^{er} janvier; Toiture sans isolation: S = 10 %; Toiture avec isolation: S = 1,5 %; Murs: S = 7 % Fenêtres: S = 40 %, Renouvellement d'air neuf = 25 m³/h; EER = 3; Climatisation 8 heures par jour

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.

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.

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).

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
В	≥ 4,6
C	≥ 4,1
D	≥ 3,6
Е	≥ 3,1
F	≥ 2,6
G	≤ 2,6

Ration d'Efficacité Énergétique Mode Froid

- A EER > 3,20
- B $3,20 \ge EER > 3,00$
- $3,00 \ge EER > 2,80$
- $2,80 \ge EER > 2,60$
- E 2,60 ≥ EER > 2,40
- F $2,40 \ge EER > 2,20$
- 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 2 5,6 ou EER 2 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'usager 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 m².°C/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 réfection 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 CO₂ 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 CO₂) 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, sanitaires). 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, article R232-5-3, version en vigueur du 01/07/2003.

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 m²). 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 sanitaires, un renouvellement d'air naturel avec environ 0,5 m² d'ouverture par WC
- Pour les pièces climatisées, un renouvellement d'air de 18 m³/h/personne
- Pour les salles de classe climatisées, un renouvellement d'air de 15 m³/h/personne
- Pour les pièces humides sans ouverture extérieure, entre 15 (WC et salle de bains) et 45 m³/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).

Cette solution reste la plus adaptée pour les salles de classe; même si on comprend bien les réticences des responsables qui y voient surtout un coût supplémentaire en investissement et en exploitation car une VMC sans entretien ne fonctionne pas longtemps!

Aussi, au final, il est bien plus avantageux, sur le plan économique ainsi que sur celui de la qualité de l'air, de construire des classes qui fonctionnent en ventilation naturelle!

– 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 bénéfice 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).



60
60
61
61
62
62
62
62
63
63
63
65
66
66
67
67

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

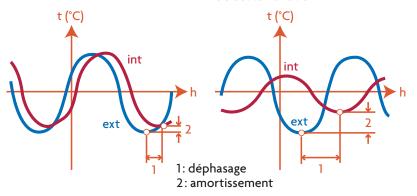
1.1 - INERTIE THERMIQUE

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.



Faible inertie thermique

Forte inertie thermique

Courbes de température extérieure et intérieure selon l'inertie de l'enveloppe

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.

Dans le cas d'un bâtiment scolaire, dont le scénario d'occupation se situe essentiellement tôt le matin et jusqu'en milieu d'après-midi, il est pertinent de

concevoir une enveloppe en matériaux avec une inertie thermique moyenne à forte.

En cas de climatisation, cette typologie est adaptée, l'inertie favorisant un stockage des frigories 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'élévation 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 prévus 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:

- Tous les espaces accessibles aux élèves: salles de classe, salles communes et 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
 - Dans les salles de classe, le sol est fortement sollicité par des déplacements de chaises et aux chutes d'objet. Celui-ci doit donc montrer une excellente résistance au poinçonnement quitte à délaisser les caractéristiques acoustiques (qui pourront être compensées par le type de plafond ou le mobilier par exemple)
- La présence des élèves provoque un risque de dégradation prématuré plus important:
 - Les portes et fenêtres doivent être adaptées à une utilisation fréquente et résister aux manipulations peu précautionneuses
 - Idem pour les interrupteurs électriques et surtout les équipements sanitaires (robinets, chasses d'eau, vasques, WC, etc.) qui doivent être adaptés à de fortes sollicitations

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.

L'enjeu pour un établissement scolaire est de pouvoir s'adapter aux évolutions des méthodes d'enseignement, pouvant influer sur l'aménagement externe et interne des espaces de travail, mais aussi de prévoir l'augmentation de la population et du nombre d'élèves à accueillir.

Voici quelques exemples de dispositions à mettre en œuvre:

- Envisager des revêtements et équipements techniques adaptés à plusieurs activités différentes pour éviter leur remplacement: par exemple la reconversion d'une salle commune en salles de classe et vice-versa
- Surdimensionner et/ou optimiser les espaces techniques: plénums, gaines et armoires techniques, bouclages, etc.
- Prévoir des circulations (et des sorties de secours) dimensionnées pour un nombre d'usagers prenant en compte les évolutions possibles, comme le

rajout de salles de classe augmentant l'effectif de l'établissement

- 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, notamment les espaces communs que l'on peut rendre modulaires et évolutifs

grâce à, par exemple, un tramage avec des dalles de faux-plafond

- 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 (cuisines, sanitaires, salles de travaux pratiques, 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 ou PEFC permettent de s'assurer de la qualité forêt durablement gérée. Des labels tels que FSC 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).

La ventilation des espaces à occupation prolongée est indispensable afin d'évacuer les polluants et les taux de renouvellement d'air réglementaires doivent être respectés.

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 < 1000 μg/m³ ou Classe A+
- Teneur en Formaldéhyde < 10 µg/m³ 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.

Le mobilier est également un formidable émetteur de polluants et il est recommandé de s'informer auprès des fabricants des émissions en COV et formaldéhyde.

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.

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 RÉSUMÉ



Pour le choix de matériaux, il convient de hiérarchiser les critères au regard du contexte de l'opération et des objectifs environnementaux:

- 1 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.
- 2 Les matériaux hygrorégulateurs sont à privilégier, selon le contexte, car ils peuvent apporter un confort supplémentaire.
- 3 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.
- 4 Les impacts environnementaux, notamment ceux liés au transport, doivent être pris en compte et les matériaux locaux doivent être, dans la mesure du possible, privilégiés.
- 5 Les seuils d'émission en polluants doivent être respectés pour les matériaux de revêtement : les enfants sont plus vulnérables à la pollution que les adultes.

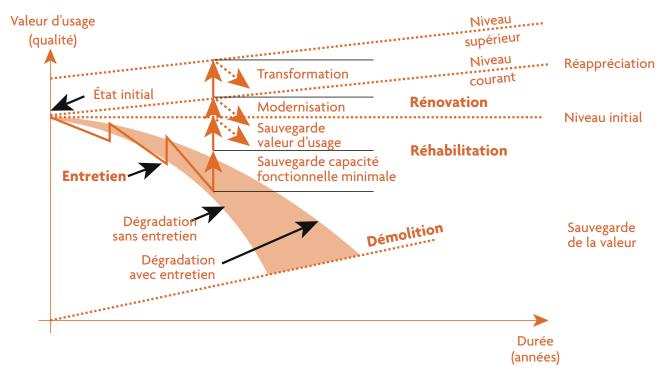


ENTRETIEN ET MAINTENANCE

1 - Conception du bâti pour un entretien et une maintenance si	implifiés 72		
1.1 - Choix des matériaux et équipements	73		
1.2 - Accessibilité des éléments et équipements techniques	75		
1.3 - Prise en compte des besoins spécifiques	76		
1.4 - Dossier d'exploitation du bâtiment	77		
2 - Entretien et maintenance du bâtiment en exploitation	78		
2.1 - Maintenir un niveau de maintenance élevé			
2.2 - Prise en compte des usagers et des occupants	79		
3 - Maintenance des performances des systèmes	80		
3.1 - Climatisation	81		
3.2 - Ventilation hygiénique	81		
3.3 - Éclairage			
3.4 - Gestion de l'eau	82		
3.5 - Champ photovoltaïque	83		
3.6 - Chauffe-eau solaire			

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 de l'enseignement**, le taux d'occupation, la tranche d'âge des usagers et le type d'activité 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



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

	Estimation de la durabilité									
Ouvrages extérieurs					on de able					
Ouvrages souterrains	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Abris de protection civile										
Ouvrages souterrains										
Murs extérieurs	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										
Couverture	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										
Ferblanterie	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										
Fenêtres et portes extérieures	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										
Serrurerie	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Grilles et balustrades										
Ferrements portes et fenêtres										
Protection solaire extérieure	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										
Peintures extérieures	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			Estir							
Enduits en plâtre	5	10	20	30	40	en a i	nnee 60	s 70	80	100
Sur plafonds de salles de séjour	,	10	20	30	40	30	00	70	00	100
Idem pour bains et cuisines										
Idem sur murs										
	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Serrurerie métallique Portes intérieures en métal	3	10	20	30	40	30	80	70	80	100
Serrurerie intérieure										
Menuiserie	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
	3	10	20	30	40	30	80	70	80	100
Portes, résineux ou bois dur										
Armoires murales, rayonnage										
Revêtements en bois										
Escaliers en résineux										
Escaliers en bois dur	_									
Revêtements de sol	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Chapes au ciment sur dalle										
Matière plastique et linoléum										
Moquettes textiles ou tapis										
Pierre naturelle ou artificielle										
Carrelage céramique, klinker										
Parquet en lame de résineux										
Parquet en hêtre et en chêne										
Revêtements de parois	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Papier, textile et synthétique										
Pierre naturelle ou artificielle										
Carrelage céramique										
Bois										
Revêtements de plafonds	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Métal, plâtre, bois, fibreux										
Peintures intérieures	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
À base de chaux, dispersion										
Dispersion, locaux humides										
Dispersion, salle d'habitation										
À l'huile sur radiateurs										
Peinture sur boiseries										
Peinture sur sol										
Aménagements extérieurs	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Plantations, haies										
Clôtures en bois										
Clôtures métalliques										
Murs										
Dallages										
Routes et places	5	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Route sans revêtement										
Chaussée revêtue d'enrobé										
Chaussée revêtue de béton										
Pavés sur lit de sable										
Pavés sur chape de béton										
. a.										

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 de l'enseignement, 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	Bois	Bonne sous réserve d'entretien régulier – Exposition Est sensible	Lasure, saturateur, vernis	6 mois à 1 an
Façade	Menuiserie	Aluminium	Excellente	Joints silicones	5 ans
Couverture	Toiture	Bois	Bonne sous réserve d'une pente suffisante pour permettre l'écoulement (15°)	Nettoyage et démoussant selon situation	1 an
Couverture	Isolant	Laine de verre	Tassement important, absorption d'humidité	Remplacement	8 ans
Plancher	Terrasse	Bois	Bonne selon essence et classe de bois choisie	Lasure, saturateur, vernis	6 mois à 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.

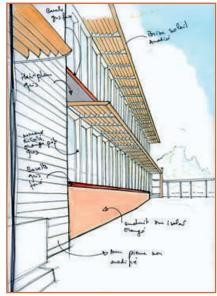
1.2.1 - ACCÈS ET CHEMINEMENTS

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 sera facilité 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 skydomes 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 pentes 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'une école, 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).



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.



Mise en conformité électrique des réseaux en faux-plafond

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 technique et administratif, enseignants), un carnet 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.

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 (type gestion de l'eau de pluie ou ventilation naturelle 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 variateurs de brasseurs d'air ou des différentes commandes d'allumage de l'éclairage artificiel

- 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.).
 - Affichage de la production photovoltaïque si existante

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).



Affichage pédagogique des productions photovoltaïque

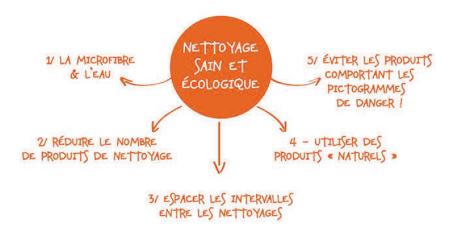


Illustration de sensibilisation des occupants

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 de l'enseignement 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 administratives et communes (bureaux, bibliothèque, infirmerie, 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 au personnel administratif.

- Les salles de classe. Dans ces locaux, le contrôle est effectué par l'enseignant. La gestion et le suivi des performances doivent tenir compte des horaires variables d'occupation.
- Les locaux techniques. Ces locaux (office, locaux techniques, stockages, etc.) ne sont pas occupés par les élèves et sont utilisés ponctuellement. Le recours à un système de rafraîchissement n'est pas obligatoire. Ces locaux sont souvent traités

indépendamment de la zone de classes, la gestion devra être envisagée de manière différenciée.

3.1 - CLIMATISATION

En fonction du site d'implantation de l'établissement, le recours à un système de rafraîchissement n'est pas obligatoire dans les zones occupées par les élèves. Néanmoins, les zones de bureaux et autres locaux nécessitant un certain calme favoriseront l'usage de la climatisation, d'où l'enjeu important de pérenniser ses performances.

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

Un contrat de maintenance sera passé avec l'installateur ou une entreprise à même de le réaliser. Les opérations suivantes devront être menées:

- 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 an



Illustration de l'entretien de climatiseurs type split systèmes

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 de l'enseignement, l'éclairage n'est pas un poste de consommations prépondérant. Néanmoins, on concentrera les efforts sur les solutions efficaces et performantes qui permettent de réduire les consommations d'énergie liées à l'éclairage, notamment dans les locaux pouvant être utilisés tardivement (salles de réunion, locaux administratifs, préau, éclairage nocturne de sécurité, etc.). 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 un établissement scolaire, on prendra par exemple en compte:
 - Sanitaires et douches
 - Restaurant
 - Arrosage
 - 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 de l'enseignement, les consommations d'eau sont relativement importantes, 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 percement ou le déclenchement trop régulier et l'usure de la pompe)



Entretien des raccords de sanitaires

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.

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 sont à contrôler 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

3.6.1 - CHAUFFE-EAU CENTRALISÉ (CESC)

En maintenance d'une installation centralisée, on prévoira les actions suivantes :

- Manœuvre des vannes et soupapes (annuelle)
- Nettoyage du corps des pompes (annuel)
- Ballons, chasse partielle (annuelle)
- Armoire électrique: signalétique, resserrage des connexions, contrôle des alarmes, nettoyage et dépoussiérage, réglage des horloges (annuel)
- Contrôle et réglage de la vanne thermostatique sur le départ ECS (annuel)
- Contrôle de fonctionnement du thermoplongeur d'appoint: tension, intensité, consigne, thermostat, connexions (annuel)
- Contrôle de la pression d'entrée EF (semestriel)
- Purges, points hauts et pompes (semestrielles)
- Vérification des soupapes (semestrielle)
- Recherche de fuite visible (semestrielle)
- Panneaux solaires: contrôle visuel, vérification des isolants, nettoyage des panneaux (si besoin), recherche de fuite (semestriel)
- Régulation et compteur d'énergie: contrôle de la valeur des sondes, contrôle des points de consigne, vérification des seuils d'enclenchement et de déclenchement (semestriel)

 Contrôle des températures d'eau chaude sanitaire (semestriel)

Attention, cet entretien ne porte pas sur les réseaux secondaires de plomberie (distribution de l'eau chaude sanitaires dans les unités d'hébergement) qui devront également être contrôlés fréquemment.

De plus, tous les 2 ans, une vidange complète des ballons est à prévoir pour nettoyer l'intérieur des dépôts éventuels, démonter nettoyer le thermoplongeur, vérifier l'anode et la remplacer le cas échéant.

3.6.2 - CHAUFFE-EAU CENTRALISÉ INDIVIDUALISÉ (CESCI)

En maintenance d'une installation centralisée (hors ballons), on prévoira les actions suivantes:

- Contrôle de la pression du circuit primaire (semestriel)
- Compléter en eau le circuit primaire (en principe pas besoin): semestriel
- Purges, points hauts et pompes (semestriel)
- Recherche de fuite visible (semestrielle)
- Contrôle des températures d'eau chaude sanitaire (semestriel)
- Régulation et compteur d'énergie: contrôle de la valeur des sondes, contrôle des points de consigne,

- vérification des seuils d'enclenchement et de déclenchement (semestriel)
- Vérification et manœuvre des vannes et soupapes (annuelle)
- Panneaux solaires: recherche de fuite, absence de condensation, nettoyage des panneaux si besoin (annuel)

En maintenance des ballons individuels sans appoint, on pourra effectuer les actions suivantes:

- Vérification du groupe de sécurité (annuelle)
- Manœuvre des vannes (annuelle)
- Recherche de fuite visible (annuelle)
- Ballon, chasse partielle (tous les 3 ans)
- Contrôle de l'anode (tous les 3 ans)

3.6.3 - CHAUFFE-EAU INDIVIDUEL (CESI)

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)

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.



CONFORT ACCOUSTIQUE ET VISUEL

1 - Confort acoustique	88
1.1 - Généralités	88
1.2 - Stratégie par rapport aux bruits aériens extérieurs	88
1.3 - Stratégie par rapport aux bruits aériens intérieurs	90
1.4 - Stratégie par rapport aux bruits d'impact	91
1.5 - Stratégie par rapport aux bruits d'équipements	91
2 - Éclairage naturel	92
2.1 - Accès à la lumière du jour et aux vues extérieures	92
2.2 - Lutte contre l'éblouissement	92
2.3 - Niveau d'éclairement naturel	
2.4 - Préconisations	94
3 - Éclairage artificiel	97
3.1 - Niveaux d'éclairement	
3.2 - Température de couleur et indice de rendu des couleurs	97
3.3 - Sources lumineuses et consommation	
3.4 - Stratégie d'éclairage	102
3.5 - Régulation	
3.6 - Éclairage extérieur	102

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 :

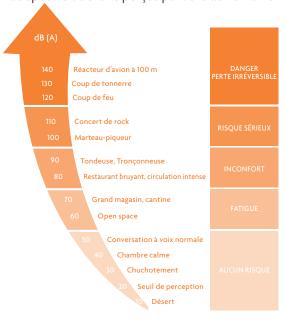
- Confort acoustique
- Optimisation de l'éclairage naturel
- Optimisation de l'éclairage artificiel

1 - CONFORT ACOUSTIQUE

1.1 - GÉNÉRALITÉS

La notion de confort acoustique est difficile à appréhender du point de vue de l'usager 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 (modelée 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

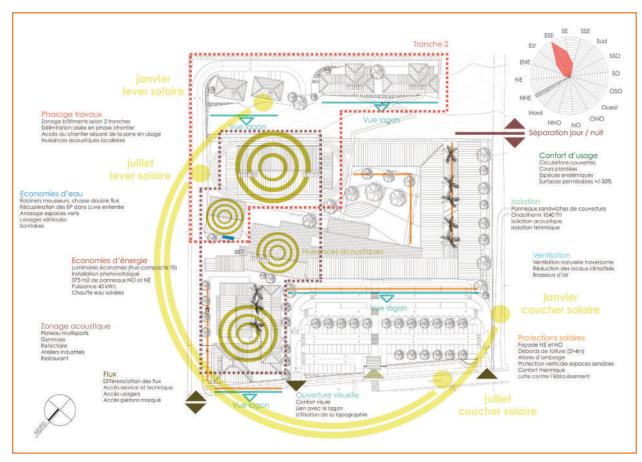
Sensibilité / agressivité des espaces	Espaces peu agressifs	Espaces agressifs	Espaces très agressifs
Espaces peu sensibles	Local de stockage	Sanitaires Circulations	Halls Locaux techniques Locaux déchets
Espaces sensibles		Bureaux collectifs Espaces ouverts Salle de réunion Espace de détente	Espace de restauration - RIE
Espaces très sensibles	Espaces d'enseignement CDI / Bibliothèque Bureaux individuels Espaces de repos Infirmerie		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 pour les salles ne fonctionnant pas en ventilation naturelle.



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, préau et les circulations communes
 - Les locaux nécessitant une bonne intelligibilité de la parole (salles de classe, salles de réunion, auditorium)
 - Les locaux accueillant des activités bruyantes (réfectoire, gymnase, salle de sport...);
 - Les locaux de grand volume

Pour les espaces à usage de salles de classe, on veillera à la **position** des espaces au sein d'un même ensemble (position des sanitaires ou des salles d'activité par rapport aux salles de repos ou à la bibliothèque). On regroupera également les espaces sensibles dans une même zone (bureaux, détente, salles de formation, salle de repos, etc.).

L'isolement acoustique standardisé pondéré entre les salles de classe (en réception) et tout type d'espace d'activité (en émission) devra être supérieur ou égal à: DnTA ≥ 40 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 **coupures 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 ≤ 60 dB.

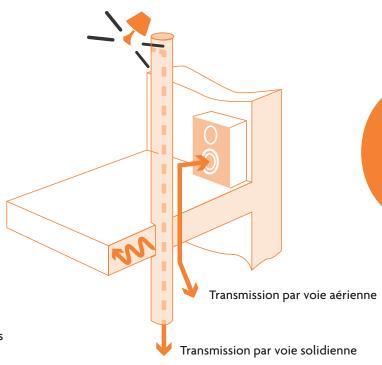
- Bruit d'impact
- Ré-émission directe d'un bruit d'impact
- Transmission d'un bruit d'impact par les parois latérales

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 de classe soit inférieur ou égal à: LnAT ≤ 35 dB(A).



Transmission des bruits d'impact

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 éclairement 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 éclairement 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 salles d'enseignement et de travaux pratiques, 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, étagères de lumière...), baies inclinées, etc.



Étagères de lumière sur l'opération Bâtiment M, campus universitaire Le Tampon (La Réunion)

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.



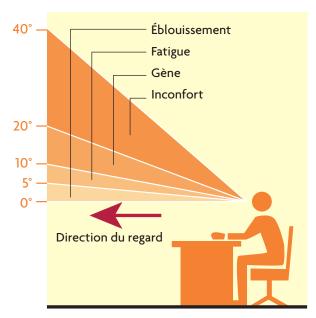
Baies positionnées à hauteur de vue et baies secondaires en toiture - École primaire Bras Fusil (La Réunion)

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 salles d'enseignement et travaux pratiques, 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'éclairement 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_{min} 2 0,7 % pour 80 % de la surface la zone de premier rang dans 80% des espaces d'enseignement et de travaux pratiques (en surface)
- FLJ $_{\rm min}$ 2 0,5 % pour 80 % de la surface la zone de premier rang pour la salle de restauration

• Niveau performant :

- FLJ_{min} 2 1 % pour 80 % de la surface de la zone de premier rang dans 80% des espaces d'enseignement et de travaux pratiques (en surface)
- FLJ_{min} 2 0,5 % pour 80 % de la surface la zone de premier rang pour la salle de restauration et les salles polyvalentes
- FLJ_{min} 2 0,5 % pour 70 % de la surface la zone de premier rang dans 70% des halls d'accueil, préaux et circulations communes (en surface)

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.

La zone de second rang correspond aux postes de travail situés derrière la zone de premier rang.

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 et second rangs:

• 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 x (2,6 0,7) = 3,8 mètres de la façade
- La zone de second rang s'étend derrière la zone de premier rang, sur une profondeur de: 6 - 3,8 = 2,2 mètres.

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:

- 75 % du temps pour 80% des espaces d'enseignement et de travaux pratiques, en surface, pour lesquels on considère que le niveau d'éclairage minimum à prendre en compte est 300 lux.
- -60 % du temps pour 80% des salles de restauration, en surface, pour lesquelles on considère que le niveau d'éclairage minimum à prendre en compte est 200 lux.

• Niveau performant :

- 85 % du temps pour 80% des espaces d'enseignement et de travaux pratiques, en surface, pour lesquels on considère que le niveau d'éclairage minimum à prendre en compte est 300 lux.
- -60 % du temps pour 80% des salles de restauration et des salles polyvalentes, pour lesquelles on considère respectivement un niveau d'éclairage minimum à prendre en compte de 200 et 300 lux.
- 70 % pour 70% des halls d'accueil, préaux et circulations, en surface, pour lesquelles 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:

Une école maternelle est composée de 8 salles de classe de 60 m² et de 2 salles de classe «passerelle» de 50 m². Les résultats des simulations indiquent que

l'ALJ moyen des salles de classe est de 78% et que celui des salles «passerelle» est de 70%.

A première vue, seules les 8 classes respectent l'objectif d'ALJ niveau base. Pour vérifier que le projet atteint cet objectif, on s'intéresse à l'ensemble des espaces d'enseignement. La surface atteignant l'objectif est de 480 m² sur une surface totale de 580 m², 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:

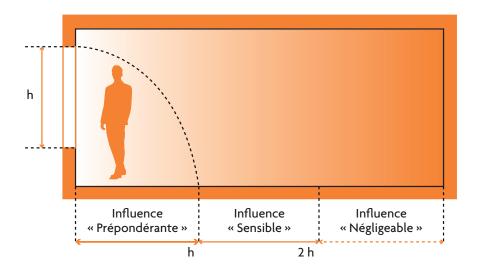
- De manière « prépondérante » jusqu'à une distance égale à la hauteur de la baie (h)
- De manière « sensible » jusqu'à une distance égale à deux fois la hauteur de la baie (2 h)
- De manière « négligeable » jusqu'à une distance supérieure à deux fois la hauteur de la baie (> 2 h)

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 / 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 mise à disposition de surfaces murales pleine suffisante dans les salles de classe permet d'éviter l'installation d'affiches devant les fenêtres
- L'installation de mobilier de faible hauteur favorise la diffusion de la lumière

CONFORT ACOUSTIQUE ET VISUEL

- 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:
 - Local rangement et de ménage
 - Locaux à occupation intermittente : salle de réunion, bureaux de passage, salle de repos, etc.
 - Blocs sanitaire / salle de bains
 - Etc.

Ci-contre, photos prises dans le groupe scolaire des Salazes (La Réunion)



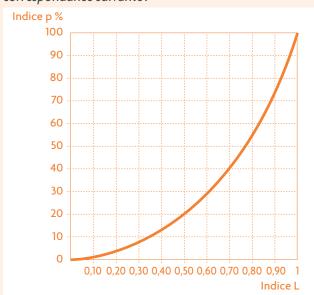


POUR ALLER PLUS LOIN

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 »: Rho (ρ) = 100 x ((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'éclairement 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 m². 1 lux = 1 lm/1 m². Le lux se mesure avec un luxmètre
- Unité d'intensité lumineuse, le candella (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

Les valeurs cibles suivantes pourront être retenues par les concepteurs:

- Sources lumineuses > 60 lm/W
- Puissance installée éclairage FAREco < 4 W/m²

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

- Salles de classe et bureaux: 300 lux
- Salle polyvalente: 300 lux

Salle de restauration : 200 lux
Hall d'accueil et préau : 100 lux

Sanitaires : 120 luxCirculations : 100 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)

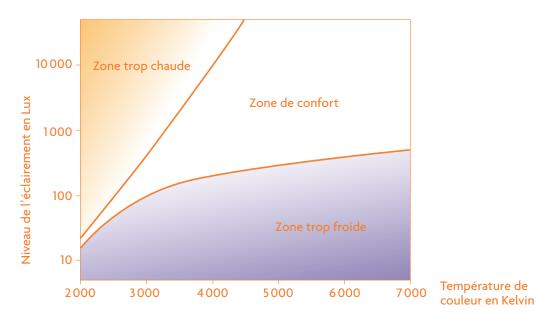
L'indice de rendu des couleurs est noté IRC, c'est ce qui caractérise les sources à ne pas déformer les couleurs par rapport à la lumière solaire. Il est exprimé par un chiffre de 0 à 100, 0 notant une différence importante et 100 si elle nulle.

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



Température de couleur et équivalence



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.

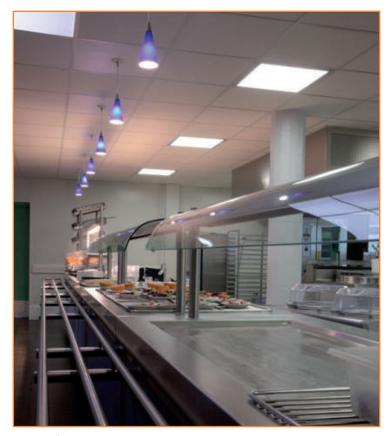
Le choix des équipements d'éclairage sera étudié en fonction des performances énergétiques. Une note de calcul des puissances installées et un bilan de consommation devront être produits par les concepteurs fonction des usages souhaités. Les deux tableaux ci-dessous synthétisent les caractéristiques 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:

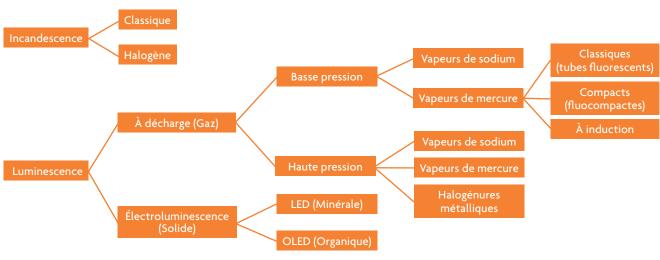
- Les tubes T5/T8
- Les fluocompactes avec ou sans ballast
- Les sodium haute pression
- Les halogénures
- Les LED

Dans 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 fluo compactes 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 m². Des **bandeaux LED** pourront également être employés en éclairage indirect ou mise en scène de parois, mobiliers, tableaux, etc.



Éclairage de type plafonnier et suspensions LED pour le réfectoire



Classification des différentes sources lumineuses

Type de sources	Coût	Efficacité (lm∕w)	Durée de vie (h)	IRC	Puissance (W)	Appar.	Appar. Gradation	Spécifique
Incandescence	Excellent marché	< 15	1000 à 2000	100	5 à 100	Non	Découpage de phase	I
Halogène	Très bon marché	10 à 30	2000 à 5000	100	5 à 2000	Non	Découpage de phase	I
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	I	Fort encombrement
Sodium haute pression	Bon marché	70 à 140	15 à 35 000	20 à 80	35 à 1000	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 3500	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 1000	Oui	I	Faible encombrement, réallumage après quelques minutes
LED	Cher	50 à 190	50000	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	ı

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

Type de sources	Caractéristiques principales	Type de bâtiment	Luminaires	Type de besoin
Incandescence	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
Halogène	Peu cher, faible efficacité, faible durée de vie, excellent IRC	Logement particulier	Suspension, lampe de table, lampe de bureau, lampadaire	Coût faible, encombrement faible
Tube T5/T8	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
Fluocompacte avec ballast déporté	Bon marché, bonne efficacité, bonne durée de vie, bon IRC	Tertiaire et architectural professionnel	Hublot, downlight, applique, lampadaire	Petites dimensions
Fluocompacte avec ballast intégré	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
Sodium basse pression	Bon marché, excellente efficacité, durée de vie moyenne, couleur orangé, très mauvais IRC	Route, tunnel, lieu de passage	Linéaire étanche et résistant mécaniquement	Sécurité
Sodium haute pression	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
Halogénures (ou iodures) métalliques	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
Vapeur de mercure (ballon fluo)	Faible efficacité	Inutilisé maintenant (interdit en 2015)		Uniquement relamping sur installation existante
LED	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)

3.4 - 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'éclairement 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

3.5 - 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. Il s'agit de les rendre actifs dans un bâtiment passif. La **régulation** ou gestion de l'éclairage artificiel dans les salles de classe et 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: détecteurs de présence dans les sanitaires et circulations ou minuteries
- Variation de puissance par zone en fonction de la disponibilité en éclairement naturel
- Gradation possible du niveau d'éclairage
- Commande différenciée par trame selon la profondeur du local (éclairage de second rang)
- Commandes distinctes entre éclairage d'ambiance (plafond) et ciblé (lampes directionnelles)
- Gestion de la présence: bon positionnement des capteurs, détermination des temporisations et des horaires de fonctionnement

Pour le secteur de l'enseignement, on privilégiera les commandes différenciées et les systèmes sur horloge.

3.6 - 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 m²). Compte tenu des horaires d'ouverture des écoles, ce type d'éclairage ne s'avère pas ou peu nécessaire sauf pour des raisons de sécurité. On privilégiera dans ce cas des luminaires à détection de présence. 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'éclairement)
- 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 de l'enseignement, la valeur cible d'éclairage extérieur est de 15 Lux.

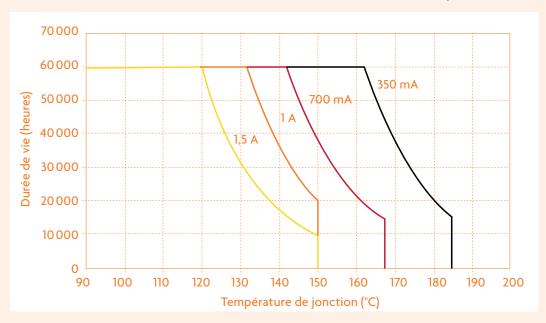
POUR ALLER PLUS LOIN

Voici quelques années les constructeurs avançaient pour leurs LED une durée de vie de 100000 heures. Toutefois, on constate qu'au bout de 100000 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 1,5A et possédant une température de jonction de 130 °C, le constructeur nous garantit que la moitié d'entre elles (50 %) émettront plus de 70 % le leur

flux initial au bout de 30000 heures. Ce type de graphique apporte des informations cruciales en vue d'un dimensionnement.

- 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'usager.
- 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.



1 - Sobriété énergétique	108
1.1 - Environnement immédiat	108
1.2 - Usages et activités	108
1.3 - Niveau de confort	109
2 - Efficacité énergétique par la conception du bâti	109
2.1 - Implantation et volumétrie	109
2.2 - Enveloppe	110
2.3 - Aménagement intérieur	110
3 - Efficacité énergétique des systèmes	111
3.1 - Les outils de régulation et de pilotage	111
3.2 - Rafraîchissement: climatisation et ventilation	111
3.3 - Eau chaude sanitaire	
3.4 - Éclairage	113
4 - Énergies renouvelables	116
4.1 - Eau Chaude Sanitaire	116
4.2 - Solaire photovoltaïque	
4.3 - Éolien	129
5 - Comptage et coûts énergétiques	
5.1 - Comptabilité énergétique	
5.2 - Approche en coût global	
5.3 - Optimisation tarifaire de l'énergie	132

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 la 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 direct ou indirect 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.

Cette analyse est conjuguée aux préconisations du chapitre « L'exposition et l'orientation aux vents dominants » la partie « Implantation des bâtiments ».

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 (enseignement, repos, récréation, etc.)
- Etc.

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

Dans le secteur scolaire, on trouve plusieurs usages et activités:

- Salles d'enseignement et de travaux pratiques
- Production alimentaire
- Espaces communs: restauration, préau, salle polyvalente, etc.
- Administratif (bureaux, salle des professeurs, 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.

Dans le cas d'établissements avec plusieurs bâtiments, et notamment ceux organisés en salles de classe individuelles, les possibilités d'aménagement des bâtiments en quinconce sont limitées pour des raisons de sûreté et de qualité de surveillance des élèves. Une disposition optimale conciliant cette contrainte et l'exposition favorable aux vents dominants doit alors être étudiée.

Les horaires d'occupation font que les bâtiments sont peu ou rarement occupés lorsque les impacts des rayons solaires sont rasants (Est le matin et Ouest le soir) ce qui facilite les choix de protection et d'orientation vis-à-vis des apports solaires.

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 parties « *Implantation des bâtiments* » 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

Dans le cas des bâtiments scolaires, on privilégiera donc une forte inertie pour les salles de classe et les salles de travaux pratiques, 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 permet également un effet de « parois froide » des murs qui améliore la sensation de confort.

Dans les locaux climatisés, les portes et fenêtres doivent peu perméables à l'air afin de limiter les déperditions thermiques.

L'accès à la lumière naturelle dans les espaces d'enseignement 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 parties « Maîtrise des apports solaires », « Rafraîchissement 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.

Par exemple:

- Les salles informatiques seront regroupées avec les espaces administratifs climatisés
- L'implantation des blocs sanitaires sera privilégiée en limite de bâtiment, sur les façades exposées permettant ainsi d'en faire un espace tampon et de le ventiler naturellement.
- Le préau pourra être utilisé comme débord de toiture supplémentaire ou comme masque lointain pour les salles d'enseignement

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 CO₂ 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.)

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 2 5,1 (individuel) / ESEER 2 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 la partie « Rafraîchissement des locaux ».

3.2.2 - RÉGULATION

Le rafraîchissement et la ventilation des salles d'enseignement et de travaux pratiques devront être pilotés par horloge.

En cas de climatisation, la température de consigne sera préréglée pour ne pas être inférieure à 26 °C \pm 1 °C.

Un dispositif de commande manuelle locale, prioritaire sur l'asservissement, pourra être installé.

Le rafraîchissement des espaces occupés de façon intermittente 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.

POUR ALLER PLUS LOIN

Dans quels cas mettre en place une sonde de CO2?

La détection par sonde de CO2 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 CO2 est pertinente:

- Salle de réunion (commande et variation)
- Salle de professeur (commande et variation)
- Auditorium (variation)
- Salle de restauration (variation)
- Salle informatique (commande et variation)

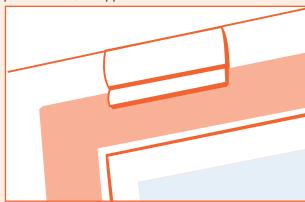
Asservissement de la climatisation à l'ouverture des fenêtres

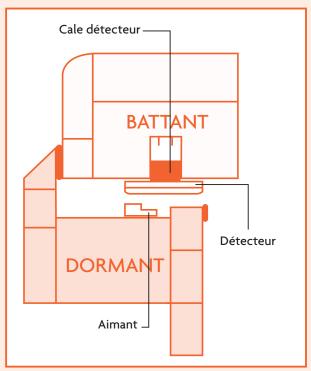
Dans les espaces climatisés, on constate que les fenêtres sont souvent ouvertes durant la période d'occupation, que ce soit pour des besoins hygiéniques (renouvellement d'air mécanique non prévu) ou du confort (renouvellement d'air mécanique prévu).

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)

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 priorisés 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. Ces systèmes ne doivent être installés qu'en appoint pour assurer au maximum 40 % des besoins en ECS du bâtiment.

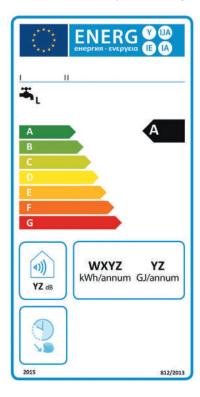
Une dérogation est possible s'il est démontré l'impossibilité d'installer une production d'ECS issue d'une autre source d'énergie renouvelable.

Il est recommandé de ne pas prévoir d'eau chaude sanitaire pour alimenter les lave-mains des sanitaires.

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.

3.3.4 - PRODUCTION COLLECTIVE OU INDIVIDUELLE

Le choix du type d'installation dépend de l'usage, du contexte et de la surface de l'établissement.

On peut considérer que lorsqu'il y aura un espace de restauration, avec un besoin en puissance d'eau chaude sanitaire supérieur à 150 kW, on favorisera l'installation d'un chauffe-eau solaire collectif.

Il est alors conseillé d'implanter les éventuelles douches à proximité de cet espace pour mutualiser la distribution.

Si ce n'est pas possible, alors une solution d'**installation individuelle** sera envisagée.

En cas de choix d'installation d'eau chaude sanitaire collective, la rédaction d'un contrat de maintenance sera demandée à l'entreprise installatrice. Ce document devra être validé par le bureau d'études spécialisé.

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

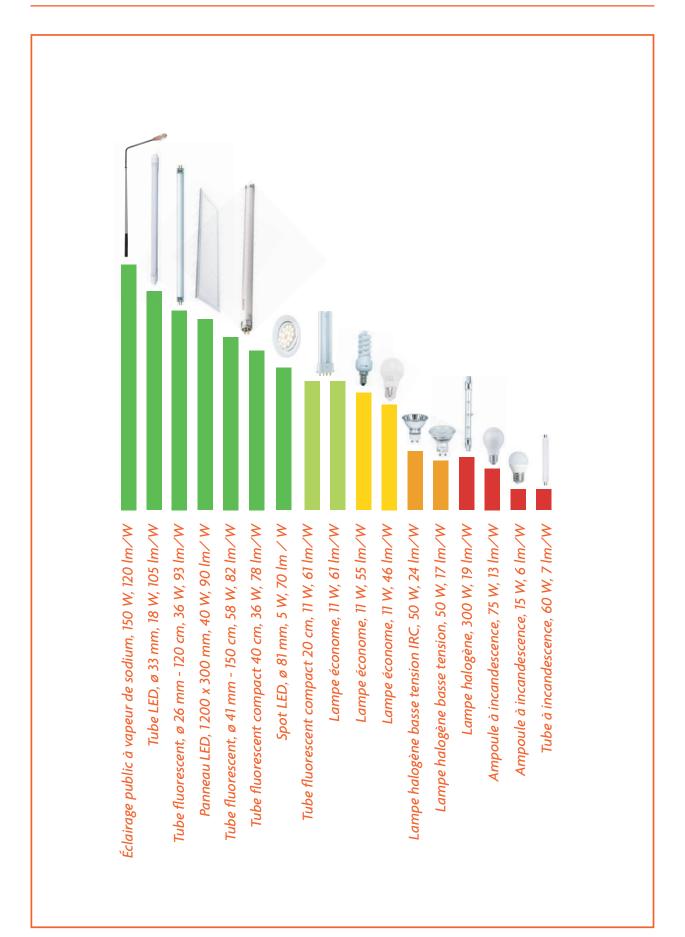
Ici, l'exigence propre à l'éclairage s'exprime en puissance électrique (en Watt) d'éclairage rapportée au m².

Il est demandé que la puissance de l'éclairage intérieur soit inférieure à 4 W/m².

L'éclairement 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'éclairement (exprimé en lumen), on trouve ainsi plusieurs niveaux d'efficacité énergétique selon les types d'appareils utilisés.

Les plus performants sont ainsi les néons ou l'éclairage à diode électroluminescente (LED, OLED), les



autres systèmes ayant une consommation supérieure pour produire un même éclairement:

• Néon: 80 à 90 lumen/Watt

• LED:

Spots: 70 lumen/Watt
Panneaux: 90 lumen/Watt
Tubes: 105 lumen/Watt

• Lampe Basse Consommation: 50 à 60 lumen/Watt

Halogène: 20 lumen/WattIncandescent: 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	
Salles d'enseignement et travaux pratiques	Pilotage par horloge et interrupteur manuel	
Circulations	Détection de présence + horloge crépusculaire OU Interrupteur équipé d'une minuterie + horloge crépusculaire	
Sanitaires	Détection de présence, sur horloge si l'apport en lumière naturel est suffisant en journée.	
Extérieurs (ambiance) Horloge crépusculaire		
Extérieurs (circulations)	Détection de mouvement	

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:

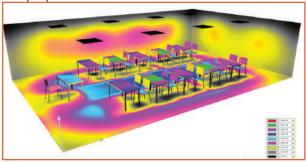
- Possibilité d'allumage au début de la période d'occupation seulement si celle-ci débute avant que la luminosité extérieure soit suffisante, sinon pas d'allumage. Les utilisateurs pourront allumer à leur arrivée si besoin
- Extinction de l'éclairage en milieu de matinée.
 Les occupants ont la possibilité 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.

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

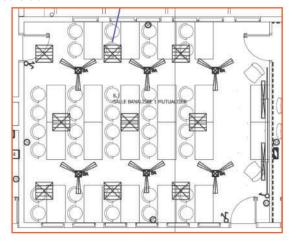


Exemple de calcul d'éclairage artificiel - Logiciel Dialux

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 d'enseignement:
 - Zone de premier rang: jusqu'à 5 m des façades
 - Zone de second rang: entre 5 et 10 m des facades
 - 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

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

L'eau chaude sanitaire (ECS) constitue un élément de confort indiscutable qui 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

Lorsque le projet est équipé d'une cuisine (préparation des repas et/ou lavage), l'objectif est d'installer un système de production d'eau chaude solaire couvrant au minimum 60 % des besoins. Le restant

des besoins pourra être couvert par une installation de production électrique ou gaz.

Si, pour des raisons contextuelles ou d'ordre programmatique, ce système ne peut pas être mis en œuvre, il est possible d'y déroger.

Lorsque le projet n'est pas équipé de cuisine, mais seulement de douches, une étude spécifique doit être menée sur la fréquence d'utilisation et la rentabilité d'installer un système de chauffe-eau solaire.

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		
Scolaire	Restauration (prélavage)	3 l/repas	

Figure 1 - Ratios des besoins en ECS (source: SOCOL juin 2014)

Débit	60 l/h/m² de capteur
Stockage	50 l∕m² de capteur
Productivité moyenne	2 kWh/jour/m² de capteur

Figure 2 - 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 (congés 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 influer 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/m² de capteur/an
Comprise entre 15 et 50 %	Selon formule
Supérieure à 50 %	225 kWh/m² de capteur/an

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

Productivité utile = 450 x (365 - 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 établissement assurant la restauration scolaire tout au long de l'année aura un certain besoin ECS pendant environ 220 jours.

L'intermittence est égale à $(365 - 220) / 365 \times 100$ soit 40 %. La productivité solaire utile minimale de l'installation d'ECS solaire complète attendue est donc de 271 kWh /m² de capteur / an.

4.1.2.4 - CHOIX DU SYSTÈME

On distingue trois possibilités d'installation:

• Le chauffe-eau solaire individuel (CESI):

C'est un système simple et fiable lorsqu'il est installé en configuration dite « thermosiphon », c'està-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).

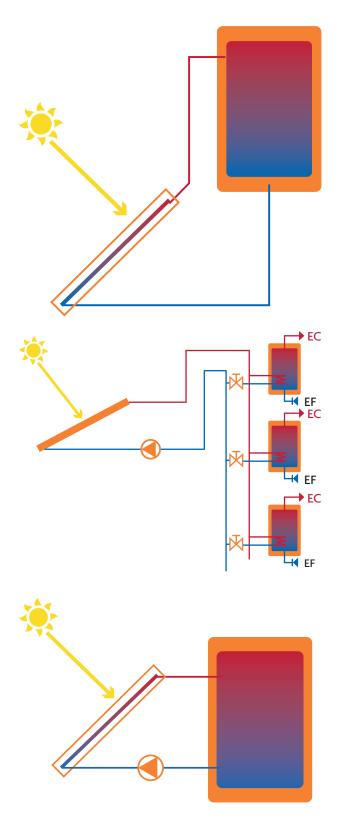
Le chauffe-eau solaire collectif individualisé (CESCI): Le système est plus coûteux mais plus efficace avec un champ solaire commun et des ballons individuels alimentés en chaleur par une boucle primaire, équipée d'une pompe. Il n'y a pas de contrainte réglementaire vis-à-vis de la légionelle. Il est possible de se passer d'appoint et l'installation est relativement simple.

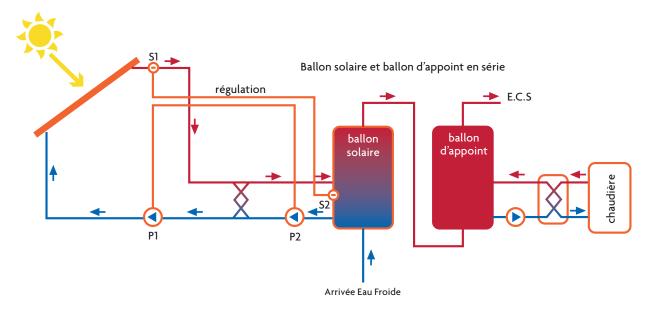
• Le chauffe-eau solaire collectif (CESC):

Système adapté aux grands bâtiments, qui garantit une distribution homogène et rapide de l'eau chaude mais avec une conception plus complexe. L'installation est équipée d'un champ solaire et d'un ballon commun qui alimentent le bâtiment en eau chaude par une boucle de circulation. Le réseau de distribution est alors équipé d'une pompe. Le système nécessite alors des compteurs individuels, sauf à forfaitiser la répartition des charges, et un local technique commun pour le stockage. La mise en œuvre d'un système d'appoint est indispensable vis-à-vis des contraintes légionelles. Selon les cas, la configuration de la boucle de distribution à maintenir en température peut induire des consommations d'appoint assez élevées.

Il est possible de **mutualiser** cette installation avec des productions utilisant d'autres énergies, renouvelables ou non:

- Électrique ou gaz
- Thermodynamique (dans le cas d'une installation de grande dimension)





Exemple d'installation ECS solaire collective couplée à une autre production d'ECS (source: Programme « Energivie »)

Les installations de CESCI et CESC devront être dimensionnées par un Bureau d'Études Technique spécialisé.

Type d'installation	Avantages	Inconvénients	
- Système simple et fiable - Ne nécessite pas de pompe de circulation (configuration thermosiphon)		- Moins efficace que le CESCI ou CESC - Faible linéaire de distribution - Faible capacité	
CESCI	 - Efficace - Plus simple que le CESC - Peu de contrainte réglementaire (légionelle) 	- Plus coûteux que le CESC - Nécessite des pompes de circulation	
CESC	 - Efficace - Moins coûteux que le CESCI - Stockage centralisé (moins de surface au total que le CESCI) 	 Plus complexe que le CESCI Nécessite des pompes de circulation Contrainte réglementaire (légionelle) qui nécessite l'installation d'un appoint - Nécessite un suivi technique particulier afin de s'assurer du bon fonctionnement de l'installation 	

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

Une installation de production d'eau chaude solaire collective est complexe aussi bien en conception, qu'en mise en œuvre et en exploitation/maintenance. Il faudra donc s'assurer que la conception soit réalisée par un bureau d'étude technique spécialisé avec des références sérieuses en installation collective.

Avant d'entamer la conception de l'installation, il est indispensable d'effectuer une analyse de l'eau. Les conclusions de cette analyse déterminent le type de configuration possible et, le cas échéant, le type de traitement d'eau à prévoir. La pérennité et le bon fonctionnement d'une installation ECS sont directement impactés par les choix de conception retenus. Il pourra ainsi être prévu, selon la situation, un filtre à tamis pour limiter les dépôts de latérite, des clapets anti-retour ou des dispositifs anti-béliers.

Si le réseau d'eau le permet, il convient de privilégier une installation en **circuit direct** (l'eau chaude sanitaire est réchauffée en passant directement dans les panneaux solaires) car elle est plus simple en conception et moins onéreuse.

La mise en place d'un système d'autorégulation avec sondes de température est indispensable. Les sondes doivent être positionnées en entrée et sortie des capteurs.

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

Le réseau de distribution doit être équilibré à l'aide de vannes de régulation de pression et de mitigeurs thermostatiques dont le dimensionnement est issu d'un calcul théorique réalisé par le bureau d'études. Des vannes d'arrêt doivent être installées dont une accessible pour la neutralisation du réseau.

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

À la livraison de l'installation, une formation des exploitants doit être prévue par l'entreprise de travaux ou le fabricant. Les documents formant les Dossiers des Ouvrages exécutés (DOE), remis aux exploitants, devront être complets et détaillés.

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

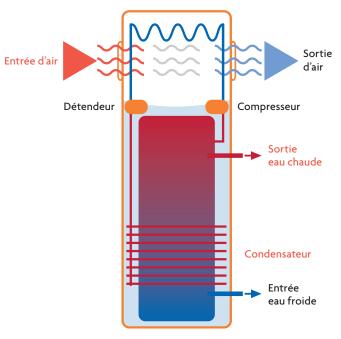
marché, et calorifugées, sur la liaison capteur-ballon et l'alimentation en eau chaude du logement, par un isolant peu sensible à l'humidité et protégé des intempéries et des agents agressifs (pluie, rayonnement solaire, animaux...).

Le DTU n° 65-12 et la norme NF P50-601-1 devront être respectées, 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).



Exemple d'installation ECS thermodynamique simple

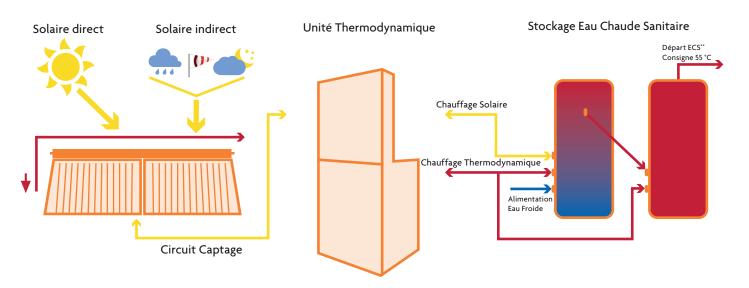
De plus, l'installation peut être équipée de panneaux qui, installés en toiture, peuvent à la fois capter les calories de l'air extérieur et également récupérer le rayonnement solaire. La performance de l'équipement est donc largement améliorée lorsque la météo est favorable.



Exemple d'installation thermodynamique avec capteur solaire en Guyane.

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 calorie 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.



Exemple d'installation ECS thermodynamique équipée de capteurs solaires

4.2 - SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

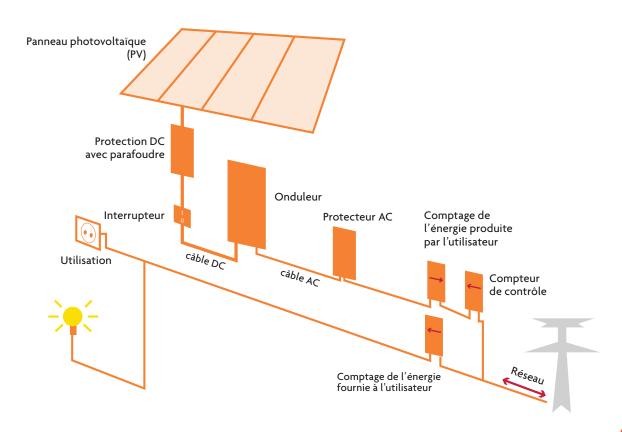
L'électricité produite par des panneaux photovoltaïques est une ressource énergétique très intéressante en Polynésie française du fait du potentiel solaire important à cette latitude.

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 onduleur(s).

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



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 W/m²), de température (25 °C) et de standardisation du spectre de la lumière (AM 1,5).

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

Exemple: une ampoule de 10 W.

<u>L'énergie s'exprime en wattheure (Wh)</u> 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 le secteur de l'enseignement, la mise en place de panneaux photovoltaïques n'est pas systématiquement recommandée.

En effet, compte tenu des vacances scolaires, weekend et jours fériés, les établissements ne sont occupés que la moitié des jours de l'année, ce qui induit un taux d'autoconsommation qui ne peut mécaniquement qu'être dégradé. Pour ce secteur, l'objectif est de satisfaire un taux d'autoconsommation de 70 %

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.

Production photovoltaïque consommée sur le site

Taux d'autoconsommation =

Production photovoltaïque 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) et de minimiser les potentielles déconnexions du générateur.

 $P_{\text{max solaire}} \leq 0.5 \text{ x } P_{\text{moy entre 11 h et 14 h}}$

Pour les îles de la Société, la puissance maximum d'une installation orientée au Nord et inclinée de 17° sera égale à 0,5 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.

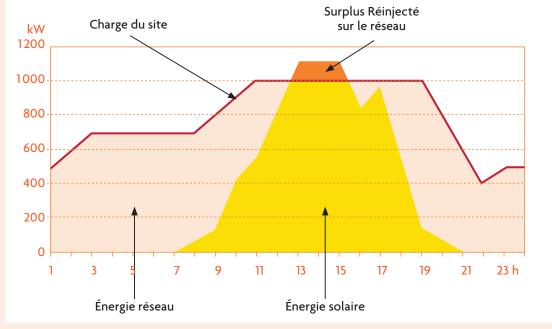
L'étude de faisabilité, le dimensionnement et le projet de conception seront assurés par un Bureau d'Études Technique spécialisé.

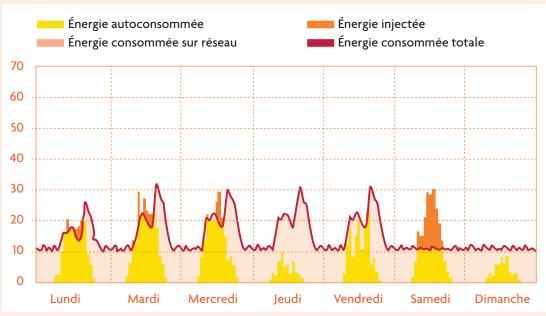
POUR ALLER PLUS LOIN

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.







Exemple d'une courbe de charge d'une école:



La facture d'électricité de ce bâtiment indique une consommation mensuelle de 7 637 kWh. En suivant une logique énergétique (dimensionnement basé uniquement sur la facture), il faudrait installer une centrale photovoltaïque de 68 kWc pour produire cette énergie (7637 kWh x 12 mois / 1350 kWh/kWc = 68 kWc).

En suivant une logique d'autoconsommation, on étudie le cas d'une installation de 5,2 kWc, qui permet de couvrir les besoins du week-end et des vacances.

La moyenne de la puissance appelée entre 11 h et 14 h de lundi à vendredi étant de 32 kW, on étudie également le cas d'une installation d'environ 15,6 kWc.

Puissance de l'installation PV	5,2 kWc	15,6 kWc	68 kWc
Coût de l'installation* (F CFP)	1300 000	3900 000	17 000 000
Taux d'autoconsommation	100 %	78 %	46 %
Temps de retour sur investissement**	4,2 ans	4,9 ans	6,5 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.

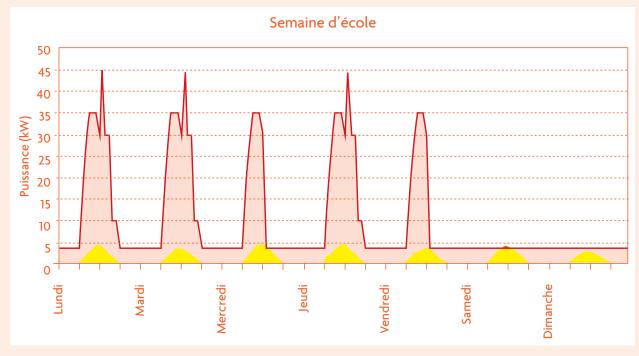
Les coûts de raccordement, d'entretien et maintenance, de remplacement de matériel (câblage et onduleur à changer tous les 10 ans a minima), d'assurance et la perte de productivité liée à des découplages, incidents ou vieillissement des modules n'ayant pas été pris en compte, on constate donc qu'une installation photovoltaïque est difficilement rentable si l'on souhaite couvrir l'ensemble des besoins énergétiques d'une école. Un bon dimensionnement sera représenté par un compromis entre couverture des besoins en période d'occupation et d'inoccupation.

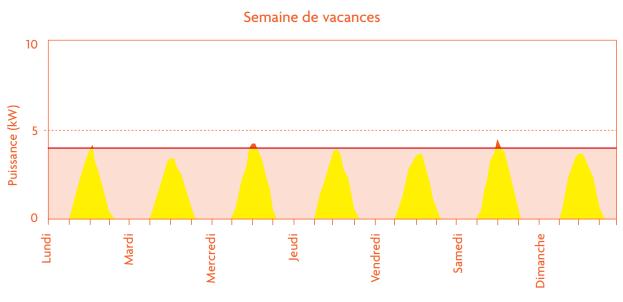
Ci-dessous, les graphiques représentant l'appel de puissance et la production photovoltaïque (auto-consommée et réinjectée sur le réseau) du bâtiment étudié ci-avant, pour différentes installations, pour une semaine d'école et une semaine de vacances. La production est considérée identique sur ces deux semaines.

^{**}Coût de l'électricité considéré: 41,5 francs HT le kWh (tarif BT Pro) en achat à EDT 15,98 francs le kWh vendu à EDT

ÉTUDE DE CAS

• Installation de 5,2 kWc

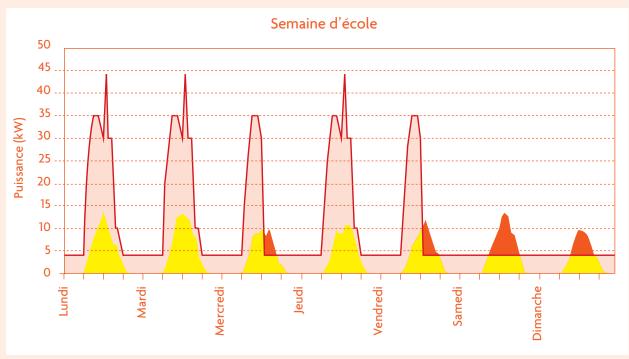


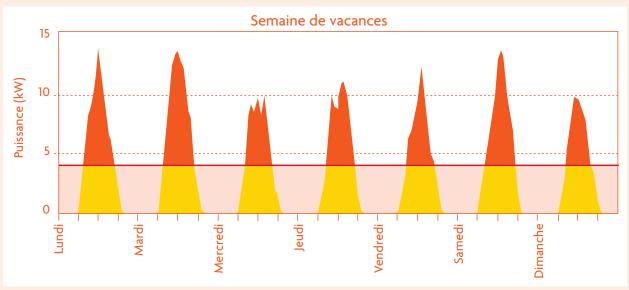


On observe bien que la quasi-totalité de la production est consommée.



• Installation de 15,6 kWc



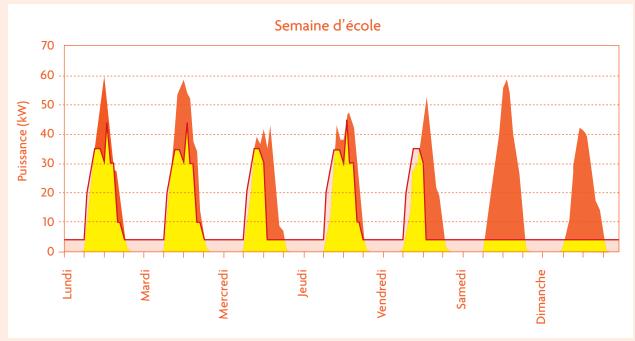


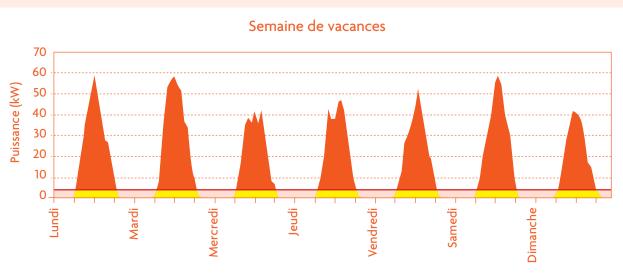
Lorsque l'école est occupée, la plupart de la production est autoconsommée. En période d'inactivité (WE, vacances, etc.) seule la moitié de la production est autoconsommée.

ÉTUDE DE CAS

• Installation de 68 kWc







Pour l'installation de 68 kWc, on constate que la majorité de l'énergie produite en week-end, et lorsque l'établissement est vide, n'est pas utile au bâtiment. Elle est donc revendue... à un tarif bien inférieur à celui de l'énergie fournie par le réseau.

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 rechercherons 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.

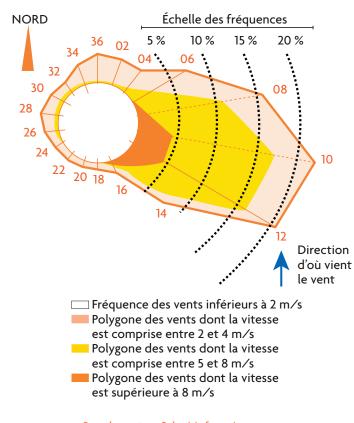
4.3.1 - LE POTENTIEL ÉOLIEN

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.

Outre 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.



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 COBIOPOL. 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 COBIOPOL, 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 COBIOPOL

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).

Ces informations ont pour but de donner une indication au concepteur sur la pertinence d'approfondir la solution éolienne sur le projet.

Pour plus de renseignement sur le potentiel éolien:

- Les données issues du programme COBIOPOL sont téléchargeables sur le site 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 fourni 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.

5.1 - COMPTABILITÉ ÉNERGÉTIQUE

Elle peut prendre la forme d'un suivi trimestriel sur tableur en croisant différents indicateurs comme la consommation au m² (climatisé ou non), la consommation par usager, etc.

Il est malheureusement fréquent de constater très tardivement des hausses de consommation liées

au dysfonctionnement d'un appareil, de son dispositif d'intermittence ou d'une intervention humaine inappropriée.

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.

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 défaillants par exemple).

à	renseigner		calcul autor	matique				
Électricité								
Période	Période du - au -	Période du - au -	Période du - au -	Période du - au -	Période du - au -	Consommations réelles	Consommations facturées	Régularisation
			Consommations					
Relevé compteur								
Consommation								
Prix du kWh (XPF)								
Coût consommation (XPF)								
			Prime abonnemen	t				
Abonnement (XPF)								
		Та	ixes et contributio	ons				
Taxes (XPF)								
Transport TEP (Tahiti) (XPF)								
			Facture totale					
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

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.)

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 (300000 F CFP) est remboursé dès la première année.

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:

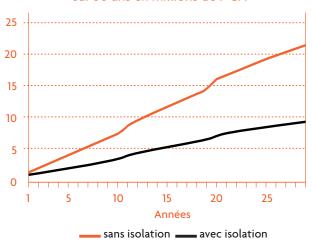
- Coûts de construction
- Coûts énergétiques
- Coût de la maintenance technique
- Durée de vie des équipements: fréquence de remplacement des gros équipements.

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:

Hypothèses:

Année type; Toiture sans isolation: S = 12 %; Toiture avec isolation: S = 1,5 %; Murs: S = 7 %; Local fermé de $100 \, m^2$; EER = 3; Climatisation la moitié du temps; Durée de vie climatisation: $10 \, ans$; Puissance climatisation: $10 \, kWf$ sans isolation $/ 5 \, kWf$ avec; Coût climatisation: $400\,000 \, F \, CFP / 200\,000 \, F$ CFP; Coût isolation: $300\,000 \, F \, CFP$; 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.

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



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 (vacances scolaire 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. Si sa consommation n'est pas garantie, il est conseillé de réorienter l'investissement vers des solutions de construction passives (isolation, débords de toiture, etc.) qui seront, à coup sûr, rentabilisées.



1 - Diminution de la consommation d'eau potable	136
1.1 - Maîtrise de la pression	136
1.2 - Équipements hydro économes	136
1.3 - Détecteurs de fuite	137
1.4 - Réutilisation des eaux pluviales	137
2 - Gestion des eaux pluviales	139
2.1 - Limiter l'imperméabilisation du site	139
2.2 - Réguler le rejet des eaux pluviales au réseau	141
2.3 - Lutter contre la pollution	144
3 - Traitement des eaux usées	147
3.1 - Station d'épuration collective	147
3.2 - Station d'épuration individuelle	

Véritable enjeu environnemental de société, la gestion de l'eau vise à limiter l'épuisement de la ressource naturelle, les pollutions potentielles et les risques d'inondation.

Gérer l'eau dans le cadre d'une démarche écologique revêt trois aspects:

- Mettre en place une stratégie pour diminuer la consommation d'eau potable
- **Gérer les eaux** pluviales à la parcelle de manière durable
- Évacuer les eaux usées en minimisant l'impact sur l'environnement

1 - DIMINUTION DE LA CONSOMMATION D'EAU POTABLE

1.1 - MAÎTRISE DE LA PRESSION

Dans le cadre d'une démarche d'économie d'eau, il s'agit avant tout de maintenir une pression permettant de satisfaire à la fois le confort d'utilisation et la diminution des consommations. Mais limiter la pression permet également de prévenir des fuites en limitant la sollicitation mécanique sur les raccords de réseau.

Pour obtenir cet équilibre confort/économie, il est recommandé d'assurer une pression de **3 bars** sur l'ensemble du réseau du bâtiment.

Cette uniformité de pression est en générale obtenue par la mise en œuvre de vannes de régulation réparties sur tout le réseau en fonction des recommandations du fabricant.

Il est important de maîtriser la pression du réseau elle conditionne l'efficacité des équipements hydro-économes.

1.2 - ÉQUIPEMENTS HYDRO ÉCONOMES

Outre les bonnes pratiques des usagers, il est recommandé la mise en œuvre de dispositifs hydro-économes, c'est-à-dire des dispositifs visant à diminuer les volumes d'eau utilisés pour les équipements sanitaires (WC, urinoirs, robinets, douches). Les consommations sont exprimées en L/chasse ou L/min dont voici les recommandations par type d'équipement:

- Les commandes de chasse d'eau de WC sont équipées de 2 boutons, un pour une chasse de faible volume et l'autre pour une chasse de gros volume
- Les urinoirs sont en général équipés d'une chasse temporisée. Il est recommandé de privilégier une temporisation courte et un débit élevé.
- Les robinets de lavabos et éviers sont équipés d'un mousseur économiseur. Il s'installe sur le robinet et permet d'une part d'éviter les fuites et d'autre part de diminuer le débit tout en conservant une pression identique à un robinet non équipé. La quantité d'eau est réduite mais compensée par de l'air. Il est couplé avec un réducteur de débit, matérialisé par une bague installée en sortie de robinet.

Équipement	Caractéristique	Consommation	
WC	Chasse d'eau à double commande	3 l-6 l ∕ chasse	
Urinoirs	Chasse d'eau à bouton-poussoir	1 l ∕ chasse	
	Robinet automatique à détecteur	8 l / min	
		Durée de temporisation : 5 sec.	
Lavabos	Robinet à bouton-poussoir	6 l∕min	
	Robinet a boaton pousson	Durée de temporisation : 15 sec.	
	Robinet à commande manuelle	5 l ∕ min	
	Dabia at Sharatan a arrasin	10 l / min	
Douches	Robinet à bouton-poussoir	Durée de temporisation : 30 sec.	
	Robinet à commande manuelle	8 l / min	
Éviers	Robinet à commande manuelle équipé d'une	Butée à 8 l ∕ min	
Eviers butée		12 l ∕ min au-delà	

- Pour les douches, le réducteur de débit s'installe à la base du flexible et permet de réduire le débit d'eau de moitié tout en gardant la même pression de jet.
- Sur les robinets à détecteur ou à bouton-poussoir, le réglage de la temporisation est indispensable afin de maîtriser les consommations. Il doit être adapté au type d'utilisation.
- Avec un robinet de douche classique, une grande quantité d'eau est perdue lorsque l'on ajuste la température. Avec un robinet thermostatique, on règle d'un côté la température directement grâce à la graduation inscrite sur l'appareil, et de l'autre la pression désirée.
- Les éviers de cuisine et ménage doivent être équipés de mitigeurs avec butée « limiteur » de débit.
 Ce type d'appareil permet de régler le débit en fonction du souhait de l'utilisateur: une butée vient marquer la position du mitigeur sur la position économe et celle-ci peut être dépassée pour une utilisation plus « efficace ».

1.3 - DÉTECTEURS DE FUITE

La prévention des fuites passe par une conception et une mise en œuvre soignées des réseaux d'eau:

- Limiter les réseaux inaccessibles (encastrés en mur, cloisons, chape, plancher, etc.) et privilégier leur passage dans des gaines techniques munies de trappes de visite
- Ne réaliser aucun raccord de réseau non visitable
- Certains matériaux sont plus « sûrs » que d'autres pour la réalisation des raccords tels que le cuivre (raccordement par soudure) ou le multicouche (raccords avec bague de sécurité)
- Réaliser des **essais de mise en eau** par zone, au fur et à mesure de l'avancement des travaux

Il existe des systèmes de **détection de fuite** simples d'utilisation et facile à mettre en œuvre.

Installé sur l'alimentation générale du bâtiment, ce type de système permet:

- D'indiquer la consommation d'eau en temps réel
- D'analyser et enregistrer le profil de consommation courant
- D'alerter en cas de fuite et d'indiquer le débit de fuite constaté



Exemple de détecteur de fuite « STOP EAU »

1.4 - RÉUTILISATION DES EAUX PLUVIALES

Des économies d'eau peuvent être réalisées sur les consommations d'équipements ou d'activités ne nécessitant pas d'eau potable telles que le nettoyage, l'arrosage ou les chasses de WC.

Au préalable, une phase d'étude sur les besoins en eau et le potentiel de récupération est indispensable.

1.4.1 - ÉVALUATION DES BESOINS EN EAU

• Arrosage:

- Avant d'envisager la réutilisation d'eau de pluie pour l'arrosage, il convient de se poser la question de son utilité. Deux aspects doivent être pris en compte: le type de végétation ainsi que la pluviométrie locale. En effet, la répartition des précipitations sur le territoire de Polynésie française étant très hétérogène, dans certaines régions, on n'aura que très rarement besoin d'avoir recours à un arrosage.
- Si le recours à l'arrosage est identifié:
 - De manière générale, seuls les arbustes, plantes vivaces et arbres fruitiers moyens nécessitent un arrosage régulier
 - Le besoin en arrosage moyen est de 1,5 litre par jour par m²

• Nettoyage:

- Surfaces intérieures : 0,05 litre par jour par m²
- Surfaces extérieures: 0,15 litre par jour par m²

• WC:

- 10 litres par jour par personne

1.4.2 - DIMENSIONNEMENT DE LA CUVE

Il s'agit de définir la taille optimale de la cuve qui permettra de couvrir le **maximum de besoin** avec le **minimum d'investissement**.

Ce volume optimal « utile » d'eau pluviale à récupérer est défini par la norme DIN 1989-1: 2002-04 comme étant égal au volume le plus petit entre le volume d'eau de pluie récupéré en un an et le volume total des besoins annuels, multiplié par 0,06 (correspondant à 3 semaines de réserves par an) soit:

Le volume d'eau de pluie récupérée se calcule en fonction des précipitations annuelles (en mm ou L/m²), de la surface de la toiture (en m²) et d'un coefficient de perte (0,8 pour un toit incliné et 0,6 pour un toit plat.)

Le volume de précipitation annuel moyen mesuré sur la station de Faa'a, Tahiti est de 1250 mm.

Exemple de calcul:

- Données d'entrée:
 - Surface d'espace vert constitué par des arbustes, vivaces ou arbres fruitiers moyens:
 200 m²
 - Surface de bâtiment qui nécessite un lavage journalier: 480 m²
 - Surface extérieure qui nécessite un lavage journalier: 30 m²
 - Nombre d'occupants à temps plein: 200 personnes
 - Bâtiment scolaire occupé 220 jours par an
 - Toiture inclinée de 560 m²

- Calculs:
 - Les besoins annuels sont de (200 x 1,5 + 480 x 0,05 + 30 x 0,15 + 200 x 10) x 220 = 512 270
 Litres soit:

Le volume d'eau pluviale récupéré est de 1250 x 560 x $0.8 = 560\,000$ Litres soit $V_{\text{FP récupéré}} = 560 \text{ m}^3$

Le volume optimal de la cuve sera de 512 x 0,06 = 30,72 soit V_{cuve} = 30 m³

1.4.3 - PRESCRIPTIONS RÉGLEMENTAIRES

Le Centre d'Hygiène et de Salubrité Publique (CHSP) fixe les conditions de mise en œuvre et d'entretien des systèmes de récupération d'eau pluviale. Les principes fondamentaux suivent l'arrêté du 21 août 2008 de la législation française:

- L'eau de pluie est interdite à l'intérieur des crèches et écoles maternelles et élémentaires
- Seules les eaux pluviales issues des toitures non accessibles (sauf pour la maintenance) peuvent être récupérées
- Les entrées d'eau de toiture doivent être équipées de crapaudines
- En cas d'utilisation de l'eau de pluie à l'intérieur du bâtiment, un système de filtration inférieure ou égale à 1 mm doit être mis en œuvre en amont de la cuve
- Le réseau d'eau non potable doit être repéré de façon explicite par un pictogramme « eau non potable ». Il est séparé du réseau d'eau potable et déconnecté par un système de déconnexion

1.4.4 - SCHÉMA

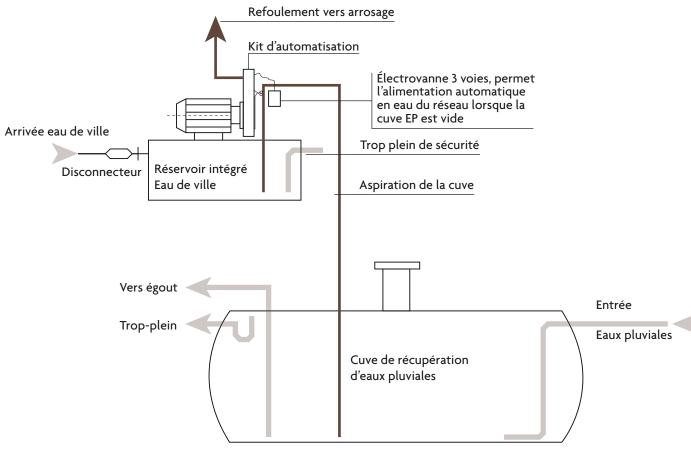


Schéma d'installation de récupération d'eau pluviale. Source: Guide pratique de Plomberie - Auteur inconnu

2 - GESTION DES EAUX PLUVIALES

Cette gestion durable des eaux pluviales permet ainsi de

- Favoriser l'infiltration de l'eau pluviale sur la parcelle, par la mise en place de surfaces perméables,
- Prévenir le risque de débordement du réseau d'assainissement en aval, voire d'inondation par les cours d'eau,
- **Limiter la pollution** diffuse et le risque de pollution accidentelle au milieu naturel.

2.1 - LIMITER L'IMPERMÉABILISATION DU SITE

Il s'agit de mettre en place des surfaces perméables pour favoriser au maximum la percolation des eaux pluviales dans les sols et maintenir le plus possible le cycle naturel de l'eau.

La perméabilité du projet est exprimée par un coefficient de perméabilité.

2.1.1 - OBJECTIFS

À l'échelle du projet, les seuils de perméabilité suivants sont recommandés:

Milieu	Perméabilité
Urbain dense	Aucun objectif
Faiblement urbanisé	20 %
Rural	35 %

Définitions:

- 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
- Le milieu faiblement urbanisé 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, centreville de Taravao, etc.

 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.

2.1.2 - SOLUTIONS DE MISE EN ŒUVRE

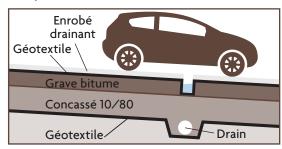
Une réflexion **adaptée au contexte** du projet doit être menée afin d'identifier les possibilités d'infiltration des eaux pluviales. Voici quelques exemples:

- Espaces végétalisés:
 - Perméabilité de 80 à 90 % selon le type de végétation
 - Lorsque le coefficient de percolation du sol est faible (type sol argileux), des solutions d'infiltration paysagère peuvent être mises en œuvre telles que des noues. Des systèmes drainants tels que des bacs alvéolaires, lits de sables et matériaux concassés améliorent l'efficacité de ces solutions alternatives.
- Revêtements poreux:
 - Perméabilité entre 30 et 60 %
 - Revêtement en béton poreux, stabilisé ou en pavage à larges joints sur remblai stabilisé.
 - Revêtement en pavage alvéolaire de type parking végétalisé



- Structure réservoir perméable:
 - Perméabilité entre **30 et 60** % selon les caractéristiques de percolation du sol
 - Structure mise en œuvre sous un revêtement imperméable ou relativement imperméable

composée de matériaux concassés (éventuellement sous lit de sable), d'un géotextile et d'un drain. Les eaux de pluies sont collectées en surfaces et dirigées vers le complexe perméable.



- Toitures végétalisées:
 - Perméabilité entre **30 et 60** % selon l'épaisseur de substrat (de 15 à 30 cm)

2.1.3 - CALCUL DE LA PERMÉABILITÉ DU SITE

Le coefficient de perméabilité est calculé par une moyenne pondérée, c'est-à-dire en sommant l'ensemble des surfaces « unitaires », affectées de leur coefficient de perméabilisation unitaire.

$$C_{per} = \frac{C_1 \times S_1 + C_2 \times S_2 + ... + C_n \times S_n}{S_t}$$

- S_a: surface unitaire
- C_n: coefficient unitaire
- S₊: Surface totale du projet

Exemple de calcul:

- Données d'entrée:
 - Surface totale de la parcelle du projet: 2500 m²
 - Surface de toiture tôle: 1500 m² dont 1250 m² sont connectés des chéneaux vers un réseau d'évacuation communal et 250 m² sont dirigés vers des espaces verts engazonnés
 - Surface de parking avec pavage végétalisé:
 750 m²
 - Surface d'espaces verts engazonnés: 250 m²
- Calculs:
 - La surface perméable pondérée est égale à 1250 x 0 + 250 x 0,8 + 750 x 0,3 + 250 x 0,8 soit 625 m²
 - Le coefficient de perméabilité est égal à 625 / 2500 soit: C_{per} = 25 %

Le tableau ci-après indique le coefficient de perméabilité pour différents types de surfaces.

Type de surfaces	Détails	Coefficient de perméabilité unitaire
	Toitures en pente ou terrasse (gravillonnée ou non)	0
	Toitures végétalisées extensives (épaisseur de substrat inférieur à 15 cm)	0,3
Toitures	Toitures végétalisées semi-intensives (épaisseur de substrat entre 15 et 30 cm)	0,4
	Toitures végétalisées intensives (épaisseur de substrat au-delà de 30 cm)	0,6
	Voirie ou parking en enrobé classique imperméable	0
	Parking végétalisé	0,3
Voirie, parking	Chaussée à structure réservoir perméable sur sol à dominante limoneuse ou argileuse	0,3
	Chaussée à structure réservoir perméable sur sol à dominante sableuse	0,6
	Cheminement ou place en revêtement imperméable	0
	Cheminement ou place en béton poreux, stabilisé ou en pavage à larges joints (sauf situé sur dalle)	0,4
Cheminement et place pour piétons	Espaces verts sur dalle (ou végétalisation intensive avec épaisseur de substrat supérieure à 30 cm)	0,6
	Espaces verts engazonnés pleine terre (hors cheminement et voirie internes)	0,8
	Espaces verts boisés (couverture par des arbres à plus de 70 % en projection au sol, hors cheminement et voirie internes)	0,9

2.2 - RÉGULER LE REJET DES EAUX PLUVIALES AU RÉSEAU

En Polynésie française, la pluviométrie est caractérisée par des périodes de pluie intense, notamment en saison chaude, typiques des zones tropicales humides.

C'est pourquoi la question de la régulation du rejet des eaux pluviales est un enjeu majeur que nous traitons dans cette partie.

2.2.1 - OBJECTIFS

L'objectif visé est d'assurer une gestion durable globale des eaux pluviales par:

- Le stockage réglementaire des eaux pluviales avant reiet.
- Le recours à l'**infiltration** si cela est pertinent dans le contexte du projet,
- La mise en place de techniques alternatives.

Les prescriptions réglementaires concernant le rejet des eaux pluviales sont indiquées dans le Plan de Prévention des Risques (PPR) relatif à chaque commune.

2.2.2 - SYSTÈME DE GESTION CLASSIQUE

Lorsque l'environnement, le contexte ou la configuration de la parcelle ne permet pas d'avoir recours à l'infiltration ou de mettre en place une technique alternative, le constructeur aura recours à la mise en place de cuves de rétention enterrées.

À l'échelle d'une parcelle, les cuves de rétention constituent une mesure compensatoire avec pour objectif d'éviter l'augmentation des débits par rejet direct des eaux pluviales provenant des toitures dans le réseau d'eaux pluviales.

Le fonctionnement hydraulique est assuré par:

- Le stockage temporaire des eaux recueillies, dans une cuve étanche
- L'évacuation des eaux stockées qui s'effectue d'une part par un ouvrage de fuite en direction du réseau et d'autre part par un trop-plein permettant l'évacuation vers le réseau en cas d'épisode pluvieux intense.

Le dimensionnement est réalisé par un bureau d'études spécialisé selon les prescriptions réglementaires de la zone d'implantation de la parcelle.

La mise en œuvre d'une telle installation peut également permettre la réutilisation des eaux pluviales pour une utilisation personnelle: jardin, WC, nettoyage, etc. (Voir «1.4 - Réutilisation des eaux pluviales»)

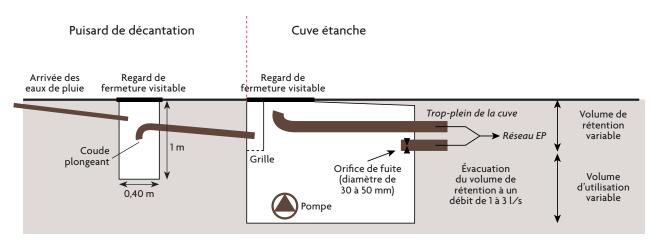


Schéma de cuve de rétention EP (source: Guide Pratique de la certification NFHQE Tertiaire – Certivéa)

2.2.3 - SYSTÈME DE GESTION ALTERNATIVE

Combinés à d'autres espaces tels que des toitures, des espaces verts, des zones de circulation ou de stationnement, les techniques alternatives favorisent:

- Une meilleure intégration des ouvrages dans les aménagements urbains,
- Des économies financières et foncières,
- L'entretien et la pérennité des ouvrages,
- La sensibilisation des riverains au cycle de l'Eau en ville.

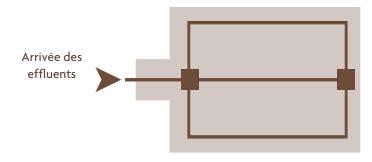
Le dimensionnement est réalisé par un bureau d'études spécialisé selon les prescriptions réglementaires de la zone d'implantation de la parcelle.

2.2.4 - NOUES ET BASSINS PAYSAGERS

Création d'un volume de stockage paysager favorisant l'infiltration de l'eau. La vitesse de percolation peut être améliorée par la mise en œuvre de systèmes drainants et de puits d'infiltration en fond de bassin ou de noue.

2.2.5 - TRANCHÉES ET MATELAS D'INFILTRATION

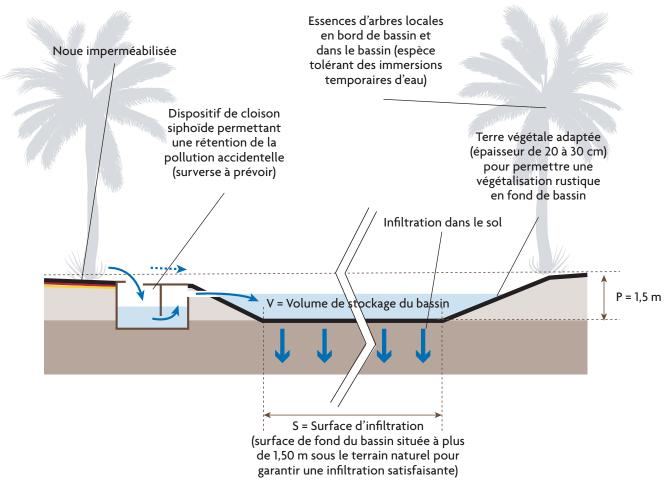
Il s'agit d'ouvrages superficiels remplis de matériaux poreux et capables de stocker temporairement les eaux pluviales. Ils recueillent les eaux de ruissellement, écrêtent les volumes et débits puis évacuent les eaux pluviales par **infiltration** et/ou par **surverse** vers le réseau d'assainissement commun.



Exemple de tranchée d'infiltration

2.2.6 - LES CHAUSSÉES À STRUCTURE RÉSERVOIR

Voir le paragraphe 2.1.2.



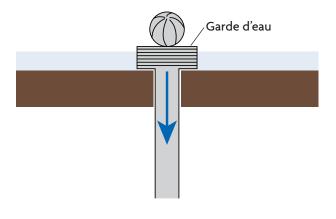
Exemple de bassin d'infiltration (source: Guide Pratique de la certification NFHQE Tertiaire – Certivéa)

2.2.7 - LA RÉGULATION EN TOITURE AVEC OU SANS VÉGÉTALISATION

Les eaux pluviales peuvent être stockées temporairement sur la toiture du bâtiment, s'évacuant avec un **débit maîtrisé** dans le réseau d'assainissement ou vers un sol peu poreux.

Le dispositif s'applique le plus souvent aux toitures plates mais peut être également mis en œuvre pour des toitures inclinées en implantant des caissons qui cloisonnent la surface réceptrice.

Une attention particulière doit être portée sur les conditions d'entretien et de maintenance des toitures terrasses étanchées et des toitures végétalisées. Un nettoyage régulier des surfaces doit être réalisé.





Toitures plates à rétention d'eau

Pour les toitures terrasses, un contrôle annuel de l'intégrité de l'étanchéité est indispensable. Dans le cadre de terrasses végétalisées, outre l'entretien des végétaux, l'évolution racinaire des sujets doit être anticipée en phase de conception (choix des sujets) et contrôlée tout au long de la vie du bâtiment afin d'éviter toute dégradation de la couverture.

Il existe maintenant des systèmes d'étanchéité liquide à base de résine polymère garantis pour durer plusieurs décennies, compatibles avec les complexes végétalisés et ne nécessitant pas d'entretien particulier.

2.3 - LUTTER CONTRE LA POLLUTION

La pollution chronique des eaux pluviales est essentiellement liée à la circulation et au stationnement des véhicules ainsi que par le lessivage des voies internes de circulation et des espaces de stationnement.

L'objectif visé est de s'assurer que les eaux de ruissellement potentiellement polluées seront **prétraitées**.

2.3.1 - DÉCANTATION

La décantation est utilisée pour abattre la pollution et traiter en partie la pollution chronique.

Le dispositif classique consiste en la mise en place de grilles avaloirs équipées de fosses de décantation.

Il existe plusieurs types de décanteur, certains ont plusieurs chambres et un filtre coalesceur, ce qui permet de réduire la taille du dispositif (exemple: le décanteur-dépollueur).

Dépendant du type de technologie et de sa taille, l'entretien se fait idéalement après chaque épisode pluvieux et, au minimum, une fois par an par une entreprise spécialisée.

2.3.2 - FILTRATION

Le dispositif classique utilise les principes de sédimentation, adsorption, filtration puis précipitation chimique.

Le choix du type de filtre doit être adapté aux eaux concernées et aux polluants (hydrocarbures, métaux lourds – plomb, zinc, cuivre, etc.).

Concernant l'entretien, il doit être réalisé un décolmatage du complexe filtrant dès lors qu'il est constaté un ralentissement de l'écoulement d'eau.

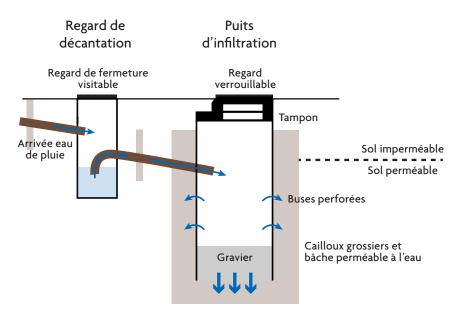


Schéma de grille avaloire équipée d'un décanteur

2.3.3 - SÉPARATEUR HYDROCARBURE

La **pollution accidentelle** des eaux pluviales, en particulier liée au déversement d'hydrocarbures sur les voiries de desserte et les parkings, doit également être prise en compte.

Il s'agit donc d'identifier si un risque de pollution accidentelle sur les surfaces imperméabilisées existe sur le projet et d'assurer son confinement.

Les zones imperméabilisées à risque sont les suivantes:

- Les stations-service, les aires d'entretien de véhicules, les activités pétrochimiques,
- Les aires de stockage susceptibles de provoquer des ruissellements de substances dangereuses, notamment en cas de fuite de produits,
- Les zones de circulation ou de parkings de véhicules poids lourds,
- Les parkings de plus de 30 places de véhicules légers ou les portions de voirie de plus de 500 m² d'un seul tenant.

Dans le cas où le risque est avéré sur le projet, il est demandé l'installation d'un séparateur hydrocarbure permettant une rétention du volume déversé de pollution.

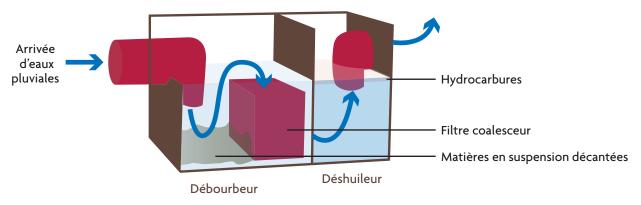
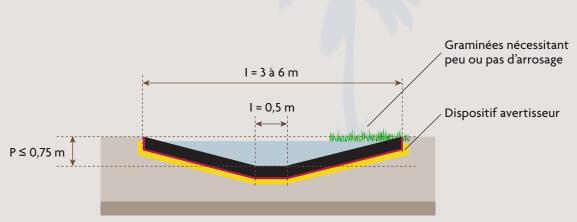


Schéma de sépurateur hydrocarbure type

L'entretien consiste majoritairement à l'évacuation des boues décantées, au minimum une fois par an, à réaliser par une entreprise spécialisée.

POUR ALLER PLUS LOIN

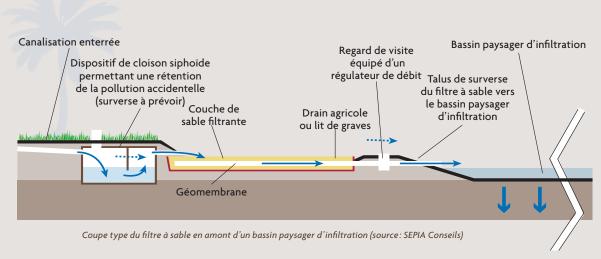
Une technique alternative de décantation consiste en la collecte et décantation des eaux pluviales par des noues imperméabilisées.



Coupe type d'une noue paysagère imperméabilisée (source: SEPIA Conseils)

Pour les bassins de décantation ouverts, une intervention par an est nécessaire pour l'entretien de la végétation et le curage de la fosse de décantation.

À étudier au cas par cas en fonction du type de pollution, la technique alternative de filtration consiste à mettre en œuvre des filtres à sable, plantés ou non. Au droit du filtre, les eaux percolent à travers un substrat constitué de couches filtrantes et de couches drainantes (mélange de terre et de sable). Le fond du filtre est imperméabilisé avec une géo-membrane afin de limiter tout lessivage de polluant vers le sol. Des drains situés en fond de filtre permettent de collecter l'eau traitée pour l'acheminer vers un regard.



Les opérations de maintenance sont identiques au système classique. Lorsqu'il est constaté un ralentissement de l'écoulement d'eau, il doit être réalisé un décolmatage du complexe filtrant.

3 - TRAITEMENT DES EAUX USÉES

Ce chapitre vise à présenter les systèmes de traitement des eaux usées existant en Polynésie française ainsi que les différentes solutions innovantes.

Il existe deux types de systèmes pour le traitement des eaux usées:

- La station d'épuration collective à l'échelle d'une ou de plusieurs communes
- La station d'épuration individuelle à l'échelle de la parcelle

3.1 - STATION D'ÉPURATION COLLECTIVE

Les stations d'épuration collectives sont installées par les pouvoirs publics et permettent de traiter les eaux usées de plusieurs parcelles à l'échelle communale via la mise en place d'un réseau commun d'assainissement.

À titre d'exemples, la ville de Punaauia et la commune de Bora Bora sont équipées de telles installations. Sur Bora Bora, la station propose la revente de son eau en sortie d'épuration pour des usages industriels.

Si une station d'épuration collective existe dans la commune du projet, le MOA ou MOE devra étudier la possibilité de s'y raccorder.

3.2-STATIOND'ÉPURATIONINDIVIDUELLE

Analogue d'une station d'épuration collective, mais en modèle réduit, elle permet de traiter les eaux usées d'une ou plusieurs parcelles. Elle est basée sur le principe d'épuration biologique par des **micro-organismes**, soit en mode aérobie, soit en mode anaérobie, soit en mode mixte. Elle peut être soit à boues activées (culture libre de micro-organismes) soit à biomasse fixée (culture de biomasse fixée sur support).

Le dimensionnement d'une telle installation est contrôlé par le Centre d'Hygiène et de Salubrité Public de Polynésie française.

Les zones susceptibles de rejeter des eaux chargées en graisses, telles que les cuisines, doivent être raccordées à un bac à graisse. Celui-ci est placé en amont de la station et son absence peut entraîner un dysfonctionnement de la station, un vieillissement prématuré du matériel et des interventions d'entretien supplémentaires.

Les boues de décantation doivent être récupérées par une société spécialisée à une fréquence dépendant de l'utilisation.

3.2.1 - STATIONS À DISQUES BIOLOGIQUES

La station d'épuration à disques biologiques est utilisée en Polynésie française sur les établissements scolaires de type collège et lycée, ayant un volume d'eau usée important.

Les hypothèses de dimensionnement sont indiquées par la réglementation et ne prennent pas en compte la temporalité des usages par rapport aux besoins réels.

Dans le cas des Station à disques biologiques, ce « surdimensionnement » entraîne parfois certaines difficultés lors des périodes de faible occupation. En effet, une quantité plus faible d'eau usée en entrée de station peut provoquer une augmentation des émissions d'odeurs désagréables. Pour limiter le phénomène, il est conseillé de prévoir une recirculation des flux jusqu'à l'entrée du traitement biologique.

Le local technique dédié à la station d'épuration doit être mis en dépression afin de limiter l'émission d'odeurs. Le système de ventilation mécanique permettant l'extraction d'air du local doit être correctement dimensionné pour éviter toute hausse d'humidité, ce qui entraîne une baisse d'efficacité du fonctionnement.

Attention, une telle station n'est pas compatible avec une occupation intermittente au cours de l'année (par exemple: congés annuels). En effet, une absence prolongée dégrade les disques biologiques et rend l'installation inutilisable. Les coûts de réparation et d'entretien sont alors prohibitifs.

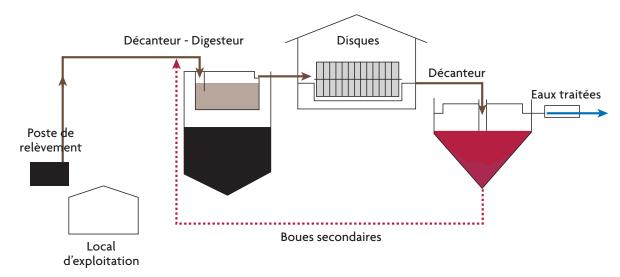


Schéma de principe d'une station d'épuration à disques biologiques

3.2.2 - STATIONS À LITS BACTÉRIEN

Pour les établissements scolaires en maternelle et élémentaire, il est en général privilégié des installations d'épuration sur lit bactérien avec système d'infiltration par épandage ou par puits vertical.

Sa conception et son entretien sont plus simples que la station à disques biologiques

3.2.3 - TECHNIQUES ALTERNATIVES

L'Épuration sur lits de végétaux est une technique d'épuration biologique par cultures de végétaux fixés sur supports fins. Elle nécessite une surface suffisante pour la mise en œuvre des bassins de traitement plantés.

Ce système a la particularité d'être simple et adaptable aux espèces végétales locales. Il est largement répandu en métropole et dans les DOM-TOM (Réunion, Guyane, etc.). Il a prouvé son efficacité et sa rentabilité par rapport aux techniques d'épuration classiques.

L'entretien, limité, consiste au curage du compost à réaliser environ tous les 10 ans.

Le rhizocompostage consiste à valoriser les boues de stations d'épuration par la mise en œuvre d'un plancher de drains et la plantation de roseaux. Cette technique peut donc être utilisée en complément de systèmes « classiques » (épuration par biodisques ou lits bactérien). Cette combinaison permet alors de réduire fortement les quantités de boues produites et donc les coûts d'entretien. La technique est 100 % écologique et relativement économique.

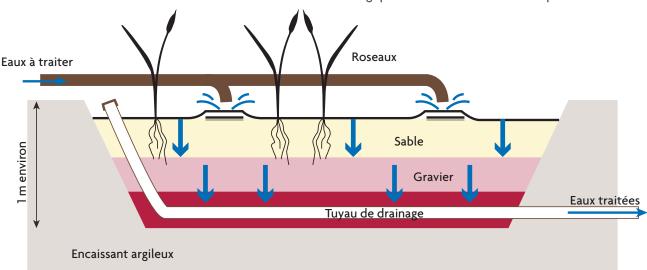


Illustration d'un système d'épuration sur lits de roseaux (source: Guide Pratique de la certification NFHQE Tertiaire – Certivéa)



Exemple de systèmes d'épuration sur lits végétaux réalisés en Guyane (Société ETIAGE, de gauche à droite: Lotissement privé 95 Eq. Hab. / Fromagerie 25 Eq. Hab. / Lotissement 480 Eq. Hab. / Maison individuelle 8 Eq. Hab.)

POUR ALLER PLUS LOIN

Voici quelques exemples supplémentaires de systèmes d'assainissement innovants:

- <u>Bassins à microphytes:</u> filière de traitement composée de plusieurs bassins en série dont un bassin d'épuration biologique aérobie, dont le dimensionnement dépend de la charge reçue.
- <u>Lagunage</u>: principe d'épuration par les plantes fondé sur la combinaison d'écosystèmes liés à l'eau, associant une cascade successive d'espaces libres (bassins à microphytes) et d'espaces plantés (bassins à macrophytes), et utilisant les capacités épuratoires de divers substrats (végétaux et micro-organismes).
- Assainissement avec filtres compacts à fragments de coco: système comprenant une fosse toutes eaux de décantation/dessablage associée à un procédé de filtration à fragments de coco. Hormis le remplacement de la fibre de coco à réaliser tous les 10 ans et la maintenance sur les éventuelles stations de relevage (qu'il est conseillé d'éviter grâce à un fonctionnement gravitaire), l'entretien est relativement peu contraignant. Attention, la conception et l'installation doivent être réalisées par un professionnel compétent et formé à ce type d'installation.

EN RÉSUMÉ



- 1 La gestion raisonnée et écologique de l'eau se décline selon trois grandes thématiques: la diminution des consommations, la gestion des eaux pluviales et le traitement des eaux usées.
- 2 L'usager a un rôle prépondérant dans la réduction des consommations d'eau car, tout comme l'énergie, « l'eau la plus facile à économiser est celle qu'on ne consomme pas! ». Les bonnes pratiques doivent être véhiculées par des outils pédagogiques adaptés au projet, durant la phase d'exploitation.
- 3 Les équipements hydro-économes doivent être mis en place et la pression du réseau doit être maîtrisée.
- 4 La réutilisation des eaux pluviales doit être systématiquement étudiée pour les usages d'eau non potable : nettoyage, arrosage, sanitaires, etc.
- 5 Les solutions d'infiltration des eaux pluviales permettent de ne pas rompre le cycle naturel de l'eau.
- 6 La pollution des eaux pluviales, notamment aux hydrocarbures, peut être traitée par des techniques alternatives, selon le contexte et la gravité de la pollution estimée.
- 7 Le traitement des eaux usées doit prendre en compte les contraintes technologiques dans le cas des systèmes classiques. Les techniques alternatives, déjà mises en œuvre dans les DOM-TOM (Réunion, Guyane, etc.), doivent être privilégiées. Elles permettent d'alléger les contraintes de maintenance et d'entretien.



ANNEXES

1 - Tableau des seuils	154
Implantation des bâtiments	154
Maîtrise des apports solaires	154
Rafraîchissement des locaux	155
Matériaux	156
Entretien / Maintenance	157
Confort acoustique et visuel	157
Gestion de l'énergie	159
Gestion de l'eau	161
2 - Abaques des coefficients de masque (Cm) globaux	
Mode de calcul des coefficients de masque	162
Méthode et hypothèses de calcul	
Auvent avec ou sans joues gauche et droite	
Brise-soleils horizontaux	
Brise-soleils verticaux	181
Débord de toiture	182
3 - Banque de données des matériaux	183
Terre, Pierre	183
Métaux et plastiques	
Bétons et plâtres	
Isolants	183
Briques et parpaings	184
Bois et végétaux	184
Vitrages	
Isolants Minces Réfléchissants (IMR)	185

1 - TABLEAU DES SEUILS

IMPLANTATION DES BÂTIMENTS		
Cibles Sous-critères		Seuils / Prescriptions
	Le bâtiment et son environnement	Analyse de site pour déterminer les atouts et contraintes
Choix du site	Implantation et ventilation naturelle	Déterminer le potentiel de ventilation naturelle du site. A minima analyse des données météo, si possible recueil des données spécifiques au site par enquête utilisateurs ou mieux par mat de mesure sur site)
	Implantation et protection solaire	Orienter les salles d'enseignement aux vents dominants Orienter les zones administratives ou spécifiques climatisées au Nord/Sud

MAÎTRISE DES APPORTS SOLAIRES				
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions		
	T :	Smax = 0,015*		
	Toiture	Teintes sombres et noires interdites		
		Nord / Sud	0,	08
	Murs	NE / SE /SO / NO	0,	07
Facteur solaire		Est / Ouest		06
ractear solaire			Non clim	Clim
		Horizontal	0,15**	interdit
	Baies	Nord / Sud	0,6	0,4
		NE / SE /SO / NO	0,5	0,3
		Est / Ouest	0,4	0,3
		Certificat ACERMI en adéquation avec l'emple		nploi projeté.
Isolants	Certificat ACERMI	IMR à éviter ou en utilisation par défaut		
		en complément d'isolation.		
	Types de solutions	Favoriser les toitures avec combles ventilés		
Protection solaire	envisageables		oitures.	
de la toiture	Impact environnemental	Choix de matériaux et faciles	adaptés à leur : d'entretien	usage
	Types de solutions	Favoriser les protections solaires extérieures.		rieures.
Protection solaire	envisageables	Type à déterminer selon orientation et type de baie		ype de baie
des baies	Impact environnemental	Intégration paysagère, choix des matériaux utilisés, entretien et maintenance, confort visuel de la pièce		
	Toron de colorione	Protections horiz		
Protection solaire	Types de solutions envisageables	ou isolation à déterminer selon orientation		
des murs		et type de murs. Teintes sombres à proscrire		
	Impact environnemental	vironnemental Impact en termes d'énergie grise		se
	Végétalisation des abords	≥ 50 % des surfaces ext		
Protection solaire	Toiture végétalisée	Respect des épaisseur selon le type de		
par le végétal	D (()	Supports horizontaux pour les façades		
	Protection solaire	Nord et Sud, supports verticaux ou		
	végétale des façades	arbres/buissons en	façades Est et (Ouest

 $^{^{\}star}$ avec α (alpha) à 0,6 minimum quand bien même toiture claire (du fait de l'encrassement)

^{**} autorisé uniquement pour les espaces de circulation non climatisés

	RAFRAÎCHISSEMENT DES LOCAUX			
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescript	ions	
	Confort thermique	Respect des conditions de conf par le diagramme de	•	
Stratégie de confort	Ventilation naturelle et climatisation	A déterminer selon l'approche méthodologique du guide FAREco ou bien justifié par une étude spécifique		
de comore	Bâtiment réversible	Asservissement de la clir à l'ouverture des fenêtres, et des donnent sur un espace no	portes si celles-ci	
	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 poten ventilation du site d'imp	olantation	
Ventilation naturelle traversante	Orientation des bâtiments	Orientation aux vents de - de secteur nord-est (avec u de plus ou moins OU - étude spécifique déte le sens des vents dom	une tolérance 45°) erminant	
	Espaces traversants	Traversant direc	ct	
	Porosité extérieure	P1 > Préf et P2 > Préf selon tableau des porosités		
	Porosité intérieure	So_int ≥ So_ext correspondant à une porosité P ≥ Pref pour chaque zone ventilée naturellement		
	Éclairage et brasseurs d'air	Calepinage afin d'éviter l'effet	stroboscopique	
	Hauteur sous plafond	Hauteur sous plafo Non imposée mais préférer Hauteur sous pales : ≥ 2	≥ 2,50 mètres ,3 mètres	
Brasseurs d'air	Nombre de brasseurs minimum	Option: au moins 30 cm so local < 20 m² -> local < 35 m² -> local < 50 m² -> local < 65 m² -> 4,	1 2 3	
	Régulation	Espaces d'enseignement: Horloge Espaces occupés de façon intermittente: Sonde de détection		
	Caractéristiques	Efficacité > 120 m³, Variateur de vitesse (au moir Option: diamètre des pal	ns 3 positions)	
	Étanchéité des	Local non climatisé		
	menuiseries Centralisation	Local climatisé -> A2 Climatisation centralisée si besoin froid ≥ 30 kWf (enseignement supérieur)		
	EER Eurovent ou	Individuelle (< 12 kWf)	3,2 (ou 5,1)	
Climatisation performante	équivalent (ou ESEER)	Centralisée	3,7 (ou 5,6)	
	Régulation	Espaces d'enseignement Espaces occupés de façon ir Sonde de détect	:: Horloge ntermittente:	
	Température de consigne	26 °C (± 1,5 °C)		

	Sanitaires avec ouverture extérieure	Surface d'ouverture ≥ 0,5 m² / WC
	Salles de classe climatisées	15 m³/h/personne
	Pièces climatisées	18 m³/h/personne
Ventilation hygiénique	WC / Salles de bains sans ouverture extérieure	15 m³/h
	Cuisines / Buanderies	45 m³/h
	Préconisations VMC	Asservissement à l'occupation, sur horloge ou bien hygrovariable
		Efficacité ≤ 0,25 Wh/m³
		Entretien régulier

MATÉRIAUX			
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions	
Ovelité :	Inertie thermique	Inertie de l'enveloppe fonction de l'usage (occupation) et de la stratégie de rafraîchissement des espaces	
Qualités hygrothermiques	Régulation de l'humidité	Favoriser dès que possible la mise en œuvre d'un ou plusieurs matériaux apportant une régulation de l'hygrométrie	
	Durée de vie	Définition de la durée de vie prévisionnelle totale et la durée de vie « courte »	
Entretien et	Mise en œuvre et destination	Respect des normes et DTU	
durabilité	Conditions d'utilisation	Adéquation des matériaux mis en œuvre dans les espaces d'hébergement, de circulation et espaces communs	
	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	
	Matériaux "locaux"	Option: 10, 20 ou 30 % du coût de construction en matériaux locaux, selon le contexte du projet	
Impact environnemental	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 < 1000 μg/m³ - ou Classe A+	
		- Teneur en Formaldéhyde < 10 μg/m³ - 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	

ENTRETIEN / MAINTENANCE			
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions	
Conception du bâti pour un entretien et une maintenance simplifiés	Choix des matériaux et équipements Accessibilité des éléments et équipements techniques Prise en compte des besoins spécifiques Dossier d'exploitation du bâtiment	Durabilité, conception simple, robuste, facile à maintenir Accessibilité à 100 % par tout type de dispositif adéquat Locaux techniques à identifier, dimensionner et intégrer en conception A fournir impérativement 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).	
	Ventilation hygiénique	Protection des équipements en toiture ou en façade 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	
	Bruits aériens extérieurs	Isolements acoustiques ≥ 30 dB (niveau à optimiser selon la stratégie de rafraîchissement choisie)	
Confort acoustique	Bruits aériens intérieurs	Isolements acoustiques entre salles d'enseignement ≥ 40 dB	
	Bruits d'impact (hors pluie)	Niveau de pression pondéré transmis ≤ 60 dB	
	Bruit d'équipements	Niveau de pression acoustique émis ≤ 35 dB(A)	
Éclairage naturel	Lumière du jour et vues extérieures	100 % des espaces d'enseignement y ont accès	
	Éblouissement	100 % des espaces d'enseignement et locaux communs en sont protégés	

		FLJ _{min} * espace d'enseignement et de travaux pratiques FLJ _{min} * salle de restauration (base) et salles polyvalentes	≥ 0,7 % (base) ou 1 % (performant) pour 80 % de la surface de la zone de 1 ^{er} rang dans 80 % des pièces concernées (en surface) ≥ 0,5 % pour 80 % de la surface de la zone de	
		(performant) FLJ _{min} * hall d'accueil, préaux et circulations (performant)	premier rang ≥ 0,5 % pour 70 % de la surface de la zone de 1 ^{er} rang dans 70% des pièces concernées (en surface)	
Éclairage naturel	Niveau d'éclairement naturel	ALJ* espace d'enseignement et de travaux pratiques	≥ 75 % (base) ou 85% (performant) pour 80 % des pièces concernées (en surface), pour un éclairage minimum de 300 lux	
(suite)		ALJ* salle de restauration (base) et salles polyvalentes (performant)	60 % pour 80 % des pièces concernées (en surface), pour un éclairage minimum respectif de 200 et 300 lux	
		ALJ* hall d'accueil, préaux et circulations (performant)	70 % pour 70 % des pièces concernées (en surface), pour un éclairage minimum de 100 lux	
	Préconisations	Surface de vitrage / surf. de plancher	≥ 20 %	
		Facteur transmission lumineuse	≥ 70 %	
		Revêtement intérieur	Couleur claire et aspect lisse	
		Aménagement intérieur	Favoriser la lumière de second jour	
	Niveaux d'éclairement minimum (au niveau du plan de travail)	- Hall d'accueil e - Sanitaire		
	Performance	Sources lumine Puissance insta	neuses > 60 lm/W stallée < 4 W /m²	
Éclairage artificiel	Température de couleur (TC)	Activités courantes: 3 000 K < TC < 4 000 K Activités demandant une distinction fine des couleur TC > 4 000 K		
	Indice de rendu des couleurs (IRC)	Activités courantes: IRC > 80 Activités demandant une distinction fine des couleur IRC > 90		
	Sources lumineuses et consommation		consommation à produire. 78, fluo compactes ou LED	
	Stratégie d'éclairage	Concevoir l'éclairage artifici	el de manière modulaire par sectorisation, gradation, etc.	

	Régulation (à adapter en fonction du type de local)	Espace d'enseignement	- Horloge et interrupteur manuel
			- 3 zones de commande selon la proximité aux façades (1°°, 2° et 3° rangs)
		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
	Éclairement extérieur	Si besoi	n, 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

GESTION DE L'ÉNERGIE			
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions	
	Environnement immédiat	Réaliser une analyse de site simplifiée sous l'angle énergétique	
Sobriété		Lister les différentes activités au sein du bâtiment.	
énergétique	Usages et activités	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 faible 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	Régulation et pilotage	Mise en place d'outils de pilotage adaptés à l'opération (sonde de détection, minuterie, lecteur de carte, horloge)	
énergétique des	Rafraîchissement:	Classe énergétique A minimum.	
systèmes	climatisation et ventilation	Compléments à voir dans la partie "RAFRAÎCHISSEMENT DES LOCAUX"	

		Favoriser l'utilisation des systèmes de production d'ECS à énergie renouvelable					
		Si impossibilité d'une installation à partir d'énergie renouvelable :					
		- Chauffe-eau électrique de classe énergétique A					
		- Chauffe-eau gaz : rendement > 93 %					
Efficacité énergétique des	Eau chaude sanitaire	A minima, un des équipements de gestion/surveillance suivants au choix :					
systèmes (suite)		- Témoin lumineux marche/arrêt					
		- Module complémentaire simple de temporisation					
		- Module complémentaire multifonction					
		En cas de production centralisée (restauration), contrat d'entretien / maintenance obligatoire					
	Éclairage	Voir partie "CONFORT ACOUSTIQUE ET VISUEL (Éclairage artificiel)"					
		- Besoins couverts par une installation solaire ≥ 60 %					
		OU					
		- Dérogation possible si justifiée					
	Eau chaude sanitaire	Productivité minimale de					
	Lau Chaude Saintaire	l'installation solaire en kWh/m²/an =					
Énergies		450 x (365-nombre de jours de non-utilisation de l'ECS) ∕ 365					
renouvelables		En cas de production solaire centralisée,					
		respect des prescriptions du guide					
	Solaire photovoltaïque	Autoconsommation ≥ 70 %					
	Éolien	À étudier selon contexte					
	Climatisation marine	À étudier si besoin froids supérieurs à 1500 kWf					
		 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 					
	Comptabilité énergétique	- Mise en place d'un processus de suivi des					
Comptage et		consommations avec a minima un circuit de facturation					
tarification		- Option : sous-comptage par zone et/ou activité					
		pour chaque poste de consommation					
	Approche en coût global	bal Option: Réalisation d'une étude en coût global simplifiée pour le choix des équipements					
	Optimisation tarifaire						
	de l'énergie	de puissance et optimiser la courbe de charge					

	GEST	FION DE L'EAU					
Cibles	Sous-critères	Seuils / Prescriptions					
	Maîtrise de la pression	Réducteur de pression / surpresseur : 3 bars					
Diminution de la consommation	Équipements hydro économes	100 % équipés					
d'eau potable	Détecteurs de fuite	Option selon la dimension du projet					
	Réutilisation des eaux pluviales	A minima pour l'arrosage. A envisager pour les sanitaires selon dimension du projet et avis CHSP.					
	Imperméabilisation	Seuil de perméabilité selon milieu: urbain (pas d'objectif), semi-urbain (20 %), rural (35 %)					
	Régulation du rejet	«- Mise en place d'un système de régulation de rejet ou étude spécifique démontrant qu'un tel dispositif n'est pas indispensable.					
		 Option: système de gestion alternative 					
	Lutter contre la pollution	«- Installation d'un séparateur hydrocarbures (conformité réglementaire)					
		- Option : système de gestion alternative					
Traitement des	Station d'épuration collective	Raccordement si système disponible					
eaux usées	Station d'épuration	Installation d'une station à disques					
eaux usees	individuelle	biologiques ou lits bactériens.					
	Gestion des EU alternative	Option selon dimension du projet et avis CHSP					

2 - ABAQUES DES COEFFICIENTS DE MASQUE (CM) GLOBAUX

Les abaques ci-dessous donnent les valeurs des coefficients de masque (Cm) 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)

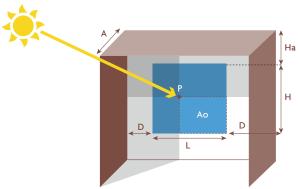
• Tubuai (latitude 23°22' Sud)

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

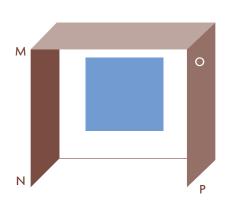
Quel que soit le masque proche utilisé, le coefficient de masque direct calculé heure par heure sera toujours le même, et sera calculé en fonction de l'aire éclairée Ao sur la surface totale du composant étudié.



Le coefficient de masque direct correspond au rapport entre l'énergie directe reçue (après affaiblissement par le masque) par le composant étudié et l'énergie 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'està-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:

*	δ (delta) = 0.5 x f
**	δ (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 x 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-Oues		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 :

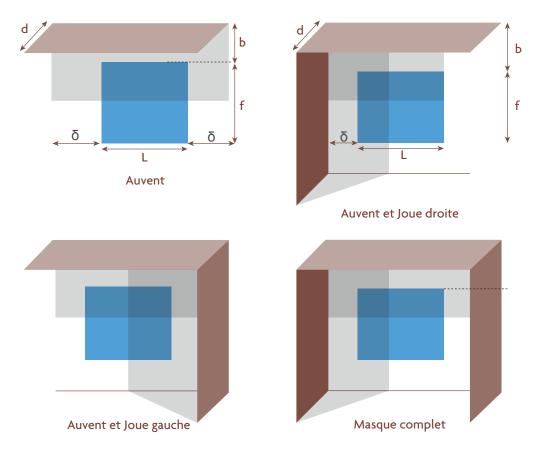
Période de simulation et position de la joue	Nord	Nord- Ouest	Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-est	Est	Nord-Est
Période	Mars et avril	Mars et avril	Novembre à janvier	Mars et avril				
Heure de début	1417	1417	7297	7297	7297	7297	7297	1417
Heure de fin	2880	2880	9504	9504	9504	9504	9504	2880
Position joue	Droite	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	Ouest Sud-Ouest		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

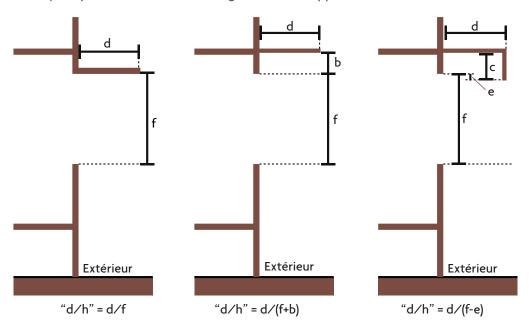
AUVENT AVEC OU SANS JOUES GAUCHE ET DROITE

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 (Cm) se détermine en fonction du rapport "d/h", du rapport L/f et de δ (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 δ (delta) est nul
- étendu si δ (delta) = 0.5 x f
- infini si δ (delta) $\geq 2 \times f$

Pour toute valeur "d/h" intermédiaire ou pour des valeurs intermédiaires de prolongement de débord (δ) de part et d'autre de la baie, le coefficient Cm peut être estimé par interpolation linéaire.

COEFFICIENTS DE MASQUE GLOBAUX POUR TAHITI

							"d/h"				
Orientation	Type de protection	L/f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		0,25	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81	0,80	0,80	0,79
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,90	0,79	0,69	0,62	0,56	0,52	0,50	0,48
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,89	0,78	0,67	0,57	0,49	0,44	0,38	0,36
Nord	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,76	0,60	0,52	0,48	0,45	0,44	0,43	0,42
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,60	0,35	0,22	0,16	0,12	0,10	0,07	0,06
	Débord avec deux joues	0,5	1,00	0,75	0,54	0,38	0,28	0,22	0,18	0,14	0,12
	deux Joues	Entre 1 et 2	1,00	0,85	0,71	0,59	0,48	0,41	0,35	0,29	0,26

							"d/h"				
Orientation	Type de protection	L/f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		0,25	1,00	0,94	0,89	0,85	0,82	0,80	0,78	0,77	0,76
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,93	0,85	0,77	0,71	0,65	0,60	0,53	0,49
	Débord étendu	0,5	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,64	0,60	0,53	0,48
Nord-Ouest	ctorida	Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,64	0,59	0,51	0,46
		0,25	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,64	0,59	0,51	0,46
	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,82	0,66	0,53	0,44	0,39	0,36	0,33	0,32
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,95	0,90	0,86	0,83	0,80	0,78	0,76	0,75
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,94	0,88	0,82	0,76	0,71	0,67	0,61	0,56
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,94	0,88	0,81	0,76	0,70	0,66	0,58	0,53
Ouest	Débord infini	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
	- 41	0,25	1,00	0,84	0,69	0,58	0,49	0,43	0,37	0,30	0,27
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,79	0,58	0,43	0,32	0,24	0,18	0,10	0,07
	Débord avec deux joues	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

							"d∕h"				
Orientation	Type de protection	L/f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		0,25	1,00	0,95	0,91	0,88	0,87	0,87	0,86	0,86	0,85
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,94	0,88	0,81	0,76	0,71	0,67	0,61	0,57
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,70	0,66	0,59	0,53
Sud-Ouest	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,79	0,60	0,47	0,37	0,32	0,31	0,29	0,28
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,95	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,90	0,83	0,79	0,77	0,75	0,73	0,70	0,69
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,90	0,82	0,75	0,70	0,66	0,63	0,58	0,56
Sud	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,72	0,62	0,56	0,53	0,51	0,49	0,47	0,46
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,56	0,37	0,27	0,21	0,17	0,14	0,11	0,09
	Débord avec deux joues	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

							"d/h"				
Orientation	Type de protection	L/f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		0,25	1,00	0,94	0,90	0,88	0,86	0,86	0,85	0,85	0,84
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,93	0,86	0,80	0,74	0,69	0,65	0,59	0,56
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,93	0,86	0,79	0,73	0,68	0,63	0,56	0,52
Sud-Est	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,80	0,62	0,50	0,42	0,39	0,37	0,36	0,35
	Débord avec une joue	0,5	1,00	0,88	0,75	0,64	0,56	0,49	0,45	0,39	0,37
	une joue	Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,84	0,76	0,69	0,63	0,58	0,50	0,45
		0,25	1,00	0,73	0,47	0,31	0,20	0,15	0,13	0,10	0,08
	Débord avec deux joues	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
		0,25	1,00	0,94	0,89	0,85	0,81	0,79	0,77	0,75	0,74
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,94	0,87	0,80	0,74	0,69	0,65	0,58	0,54
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,94	0,86	0,79	0,73	0,68	0,63	0,56	0,51
Est	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,84	0,69	0,58	0,50	0,45	0,41	0,36	0,33
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,78	0,54	0,39	0,29	0,22	0,17	0,11	0,08
	Débord avec deux joues	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

		0,25	1,00	0,94	0,88	0,84	0,80	0,78	0,77	0,75	0,74
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,92	0,84	0,76	0,69	0,63	0,58	0,50	0,45
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,92	0,84	0,76	0,68	0,62	0,56	0,48	0,42
Nord-Est	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,82	0,65	0,52	0,44	0,38	0,35	0,31	0,30
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,74	0,50	0,33	0,23	0,16	0,12	0,08	0,06
	Débord avec deux joues	0,5	1,00	0,85	0,68	0,53	0,41	0,32	0,25	0,16	0,12
	acan joucs	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

							"d/h"				
Orientation	Type de protection	L/f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		0,25	1,00	0,94	0,91	0,89	0,88	0,87	0,86	0,86	0,85
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,91	0,82	0,75	0,69	0,66	0,64	0,61	0,60
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,91	0,81	0,71	0,64	0,59	0,56	0,52	0,49
Nord	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,77	0,64	0,57	0,53	0,51	0,49	0,47	0,46
	Débord avec une joue	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

							"d/h"				
Orientation	Type de protection	L/f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		0,25	1,00	0,95	0,91	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83	0,83
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,94	0,88	0,82	0,76	0,71	0,67	0,61	0,58
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,94	0,88	0,81	0,75	0,70	0,66	0,58	0,53
Nord-Ouest	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,80	0,61	0,47	0,40	0,36	0,34	0,32	0,31
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,73	0,47	0,29	0,19	0,14	0,11	0,09	0,07
	Débord avec deux joues	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
	,	0,25	1,00	0,96	0,92	0,89	0,87	0,85	0,84	0,83	0,83
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,69	0,62	0,58
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,67	0,60	0,55
Ouest	Débord infini	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
	- 41	0,25	1,00	0,83	0,67	0,55	0,46	0,40	0,34	0,29	0,27
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,78	0,55	0,40	0,29	0,21	0,15	0,09	0,07
	Débord avec deux joues	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

							"d∕h"				
Orientation	Type de protection	L/f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		0,25	1,00	0,95	0,90	0,87	0,84	0,83	0,83	0,82	0,82
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,94	0,87	0,81	0,76	0,71	0,67	0,60	0,56
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,94	0,87	0,80	0,75	0,70	0,65	0,58	0,53
Sud-Ouest	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,81	0,63	0,50	0,40	0,33	0,30	0,28	0,28
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,93	0,90	0,89	0,88	0,88	0,87	0,87	0,86
	Débord fini	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
	- 4	0,25	1,00	0,90	0,79	0,71	0,67	0,65	0,64	0,62	0,60
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,90	0,79	0,69	0,61	0,56	0,52	0,47	0,45
Sud	Débord infini	0,5	1,00	0,90	0,79	0,69	0,61	0,56	0,52	0,47	0,45
	Débord avec une joue	Entre 1 et 2	1,00	0,90	0,79	0,69	0,61	0,56	0,52	0,47	0,44
		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
		0,25	1,00	0,53	0,31	0,21	0,17	0,13	0,11	0,09	0,07
	Débord avec deux joues	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

							"d∕h"				
Orientation	Type de protection	L/f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		0,25	1,00	0,94	0,89	0,85	0,82	0,81	0,80	0,79	0,79
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,93	0,85	0,78	0,72	0,67	0,62	0,56	0,51
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,93	0,85	0,78	0,71	0,66	0,61	0,53	0,48
Sud-Est	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,81	0,63	0,50	0,41	0,35	0,32	0,30	0,29
	Débord avec une joue Débord avec	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
		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
	deux joues 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
		0,25	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,70	0,65	0,58	0,53
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,94	0,87	0,80	0,74	0,68	0,63	0,55	0,49
Est	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,82	0,66	0,54	0,46	0,40	0,35	0,31	0,29
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,77	0,53	0,38	0,27	0,20	0,15	0,09	0,07
	Débord avec deux joues	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

		0,25	1,00	0,94	0,90	0,86	0,84	0,82	0,81	0,80	0,80
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,93	0,86	0,79	0,72	0,67	0,63	0,56	0,53
	Débord étendu	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
Nord-Est	Débord avec une joue Débord avec deux joues	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
		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
		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

							"d/h"				
Orientation	Type de protection	L/f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		0,25	1,00	0,94	0,90	0,87	0,85	0,84	0,83	0,82	0,82
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,92	0,83	0,75	0,67	0,62	0,57	0,53	0,52
	Débord étendu	0,5	1,00	0,92	0,83	0,74	0,66	0,60	0,56	0,51	0,49
	etendu	Entre 1 et 2	1,00	0,92	0,83	0,74	0,65	0,58	0,52	0,46	0,44
		0,25	1,00	0,92	0,83	0,73	0,64	0,56	0,50	0,42	0,39
Nord	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,78	0,64	0,56	0,52	0,49	0,47	0,46	0,45
	Débord avec une joue	0,5	1,00	0,86	0,73	0,63	0,55	0,50	0,47	0,44	0,42
	Débord avec deux joues	Entre 1 et 2	1,00	0,90	0,80	0,70	0,62	0,55	0,49	0,43	0,40
		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

							"d/h"				
Orientation	Type de protection	L/f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		0,25	1,00	0,95	0,92	0,88	0,86	0,84	0,82	0,81	0,80
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,94	0,88	0,82	0,76	0,70	0,66	0,59	0,54
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,94	0,88	0,81	0,75	0,69	0,64	0,56	0,50
Nord-Ouest	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,83	0,67	0,55	0,48	0,43	0,39	0,36	0,34
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,75	0,50	0,34	0,24	0,18	0,13	0,09	0,07
	Débord avec deux joues	0,5	1,00	0,87	0,70	0,56	0,44	0,34	0,27	0,19	0,14
	deux joues	Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,84	0,76	0,67	0,60	0,53	0,43	0,35
	,	0,25	1,00	0,95	0,91	0,87	0,83	0,80	0,78	0,75	0,73
	Débord fini	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
	- 4	0,25	1,00	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,69	0,63	0,58
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,68	0,60	0,55
Ouest	Débord infini	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
	D. I.	0,25	1,00	0,86	0,72	0,62	0,54	0,47	0,42	0,35	0,31
	Débord avec une joue	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
	Dál I	0,25	1,00	0,80	0,59	0,45	0,35	0,27	0,21	0,13	0,09
	Débord avec deux joues	0,5	1,00	0,90	0,76	0,63	0,52	0,44	0,37	0,27	0,21
	deux joues _	Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,79	0,72	0,65	0,59	0,49	0,42

							"d∕h"				
Orientation	Type de protection	L/f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		0,25	1,00	0,96	0,94	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,89
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,71	0,65	0,61
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,95	0,90	0,84	0,79	0,74	0,69	0,62	0,57
Sud-Ouest	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,80	0,61	0,47	0,39	0,35	0,34	0,32	0,31
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,98	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,94	0,91	0,88	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,94	0,88	0,83	0,78	0,74	0,71	0,66	0,63
Sud	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,63	0,43	0,31	0,24	0,19	0,16	0,13	0,11
	Débord avec deux joues	0,5	1,00	0,79	0,63	0,51	0,42	0,35	0,30	0,24	0,20
	deux joues _	Entre 1 et 2	1,00	0,90	0,82	0,75	0,68	0,62	0,58	0,50	0,44

							"d/h"				
Orientation	Type de protection	L/f	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
		0,25	1,00	0,96	0,93	0,91	0,90	0,90	0,89	0,89	0,88
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,95	0,89	0,83	0,77	0,72	0,68	0,62	0,59
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,95	0,89	0,82	0,76	0,71	0,66	0,58	0,53
Sud-Est	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,80	0,61	0,48	0,42	0,39	0,38	0,36	0,35
	Débord avec une joue	0,5	1,00	0,89	0,76	0,65	0,56	0,49	0,45	0,39	0,37
	Débord avec	Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,86	0,78	0,71	0,65	0,60	0,52	0,46
		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
	Débord avec deux joues	Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,69	0,61	0,55	0,45	0,39
		0,25	1,00	0,95	0,89	0,85	0,81	0,78	0,75	0,72	0,70
	Débord fini	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
		0,25	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,70	0,66	0,59	0,54
	Débord étendu	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
		0,25	1,00	0,94	0,87	0,81	0,75	0,69	0,64	0,56	0,51
Est	Débord infini	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
		0,25	1,00	0,86	0,72	0,62	0,55	0,49	0,44	0,38	0,34
	Débord avec une joue	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
		0,25	1,00	0,79	0,58	0,43	0,34	0,26	0,21	0,13	0,10
	Débord avec deux joues	0,5	1,00	0,89	0,74	0,61	0,50	0,41	0,34	0,25	0,19
	deux joues	Entre 1 et 2	1,00	0,93	0,85	0,77	0,70	0,62	0,56	0,46	0,39

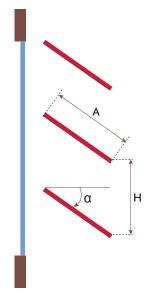
		0,25	1,00	0,95	0,90	0,87	0,84	0,81	0,79	0,77	0,76
	Débord fini	0,5	1,00	0,94	0,89	0,84	0,79	0,75	0,72	0,68	0,66
		Entre 1 et 2	1,00	0,94	0,87	0,80	0,74	0,68	0,64	0,56	0,52
		0,25	1,00	0,94	0,87	0,80	0,73	0,67	0,62	0,54	0,49
	Débord étendu	0,5	1,00	0,94	0,87	0,80	0,73	0,67	0,61	0,53	0,48
		Entre 1 et 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
Nord-Est	Débord avec une joue Débord avec deux joues	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
		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
		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 (Cm) 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
- ullet α (alpha) l'angle indiqué ci-contre



COEFFICIENTS DE MASQUE GLOBAUX POUR TAHITI

A/H	α alpha	Nord	Nord- Ouest	Ouest	Sud- Ouest	Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est
	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
0,50	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
	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
1,0	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
	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
2,0	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	α alpha	Nord	Nord- Ouest	Ouest	Sud- Ouest	Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est
	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
0,50	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
	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
1,0	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
	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
2,0	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

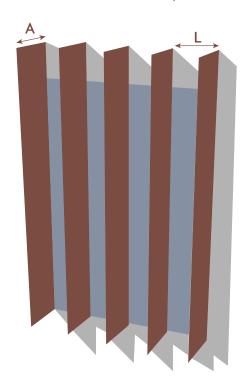
A/H	α alpha	Nord	Nord- Ouest	Ouest	Sud- Ouest	Sud	Sud-Est	Est	Nord-Est
	5	0,71	0,74	0,74	0,75	0,77	0,73	0,71	0,72
	10	0,68	0,72	0,71	0,73	0,75	0,71	0,69	0,70
	20	0,65	0,68	0,67	0,69	0,73	0,68	0,66	0,66
	30	0,62	0,64	0,64	0,66	0,71	0,65	0,63	0,63
0,50	40	0,60	0,62	0,62	0,65	0,71	0,64	0,62	0,61
	45	0,60	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
	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
1,0	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
	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
2,0	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 (Cm) 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

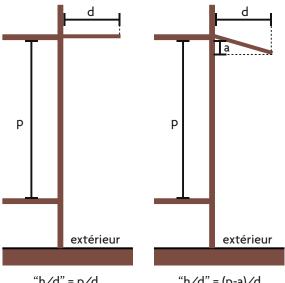
Orientation	A/L	Tahiti	Atuona	Tubuai	Orientation	A/L	Tahiti	Atuona	Tubuai
	0,50 0,50 0,48 0,52		0,50	0,43	0,40	0,49			
Nord	1,0	0,33	0,33	0,34	Sud	1,0	0,32	0,27	0,36
	1,5	0,26	0,27	0,27		1,5	0,26	0,23	0,30
	0,50	0,67	0,64	0,66		0,50	0,63	0,68	0,60
Nord-Ouest	1,0	0,48	0,42	0,46	Sud-Est	1,0	0,42	0,49	0,36
	1,5	0,37	0,30	0,36		1,5	0,28	0,35	0,25
	0,50	0,74	0,70	0,74		0,50	0,68	0,69	0,63
Ouest	1,0	0,59	0,52	0,61	Est	1,0	0,49	0,53	0,44
	1,5	0,49 0,40 0,53		1,5	0,39	0,44	0,34		
	0,50	0,65	0,68	0,61		0,50	0,68	0,65	0,68
Sud-Ouest	1,0	0,42	0,49	0,38	Nord-Est	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 (Cm) 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 = p/d

"h/d" = (p-a)/d

	"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	λ (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	λ (W/m.K)
Cuivre	380
Aluminium	230
Zinc	110
Acier	50
Polycarbonates (ρ= 1200)	0,2
Résine polyester (ρ= 1400)	0,19
Matières plastiques synthétiques compactes Naturel (ρ = 910)	0,13

Bétons et plâtres	λ (W/m.K)
Béton plein armé, masse volumique (2300 < ρ < 2400)	2,3
Béton plein, masse volumique (2300 < ρ < 2600)	2
Béton plein, masse volumique (2000 < ρ < 2300)	1,65
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 < ρ < 1150)	0,46
Bétons de perlite ou de vermiculite (600 < ρ < 800)	0,31
Béton de copeaux de bois (450 < ρ < 650)	0,16
Plâtre gâché serré ou très serré (1200 < ρ < 1500)	0,56
Plâtre courant d'enduit intérieur (ρ < 1000)	0,4
Plaques de plâtres à parement de carton (750 < ρ < 900)	0,25

Isolants	λ (W/m.K)
Polyuréthane (25 < ρ < 45)	0,03
Polystyrène extrudé (25 < ρ < 40)	0,032
Polystyrène expansé (24 < ρ < 29)	0,04
Laines de roches (15 < ρ < 25)	0,05
Laines de roches (25 < ρ < 40)	0,044
Laines de verres (20 < ρ < 30)	0,041
Plaque de perlite supérieur à 80 % (180 < ρ < 220)	0,06
Plaques alvéolaires, épaisseur < 60 mm, (28 < ρ < 40)	0,041
Plaques CFC sans peau de surface	0,033

Briques et parpai Légende : AxBxC A = Épaisseur ; B = H		R (m².K/W)
Plaquettes de parement (Forma	t 2,5 x 6 x 22 cm)	0,03
Briques de terre cuite pleines Épa	isseur E de 10,5 cm	0,12
Blocs de béton creux c	ourants	
5x20x50 cm ³	Nra:1	0,07
7,5x20x50 cm ³	Nra:1	0,1
10x20x50 cm ³	Nra:1	0,12
12,5x20x50 cm³	Nra:1	0,13
15x20x50 cm³	Nra:1	0,14
(15x20x50 cm³) ou (15x25x50 cm³)	Nra: 2	0,18
17,5x20x50 cm³	Nra: 2	0,21
(20x20x50 cm³) ou (20x25x50 cm³)	Nra: 2	0,23 (0,21)
20x20x50 cm ³	Nra:3	0,29 (0,26)
22,5x20x50 cm³	Nra: 2	0,24
25x20x50 cm ³	Nra: 3	0,32 (0,28)
27,5x20x50 cm ³	Nra: 3	0,34 (0,30)

Bois et végétaux	λ (W/m.K)
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/m².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(m².K/W))									
Type - Épaisseur	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 faiblemen	t ou non v	entilée (valeur de	R(m².K/V	V))				
Type - Épaisseur	Émis	sivité	М	ur	Toiture				
	0,	0,05		27	0,46				
	0,1		0,24		0,37				
Lame d'air faiblement ventilée	0,2		0,2		0,27				
	0,5		0,17		0,16				
	> 0,8		0,1		0,11				
	0,	05	0,	53	0,92				
	0,1		0,47		0,74				
Lame d'air non ventilée	0,2		0,39		0,54				
	0,5		0,34		0,31				
	> (0,8	0,	19	0,22				

PRÉSENTATION DES AUTEURS

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

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 Site internet: www.polynesie-francaise.ademe.fr