



Approche énergétique et Qualité Environnementale des Constructions en Zones Chaudes : Vers un bâtiment durable.

Convention n° 0709C0016

Rapport final

Mars 2009

ABDESSELAM M.
MARCHIO D.
TRAISNEL JP
MAIZIA M.

SOLENER
ARMINES
CNRS
UTC Compiègne

PREAMBULE

Les zones tropicales françaises font depuis 25 ans l'objet de nombreuses démarches énergétiques liées à maîtrise de la demande d'énergie (renchérissement du coût énergétique et l'épuisement des ressources fossiles). Celles ci ont été renforcées depuis et élargies au champ environnemental plus étendu par la contrainte prégnante de la prévention de l'effet de serre. Traduites dans le bâtiment, ces questions clés de l'énergie, de l'émission CO₂, du cycle de vie ont transformé considérablement la vision et la manière d'aborder la construction et ce avec d'autant plus d'acuité que les pays situés en zone tropicale sont souvent fortement dépendant de l'extérieur pour les matières premières (énergie, matériaux de construction).

L'ensemble géographique constitué par les territoires français en zone tropicale est représentatif des climats tropicaux humides : insulaires/ continentaux, hémisphère Sud / hémisphère Nord, proche de l'équateur / proche des tropiques / intermédiaire, présent dans les trois grandes régions tropicales humides. C'est sur cette expérience accumulée que s'appuie ce guide destiné à un public international.

Ce guide intitulé « construire durable en zone tropicale humide » s'adresse aux différentes strates d'intervenant dans l'acte de bâtir :

- Aux prescripteurs en fournissant une aide aux
 - a. aménageurs à l'échelle urbaine (programmation, définition des niveaux d'exigences)
 - b. aux maîtres d'ouvrage et assistant à la maîtrise d'ouvrage
- aux concepteurs
 - c. architectes et maître d'œuvre
 - d. bureau d'études techniques
- aux constructeurs
 - e. entreprises de réalisation
 - f. fabricants de matériaux et équipements

Il se veut d'un usage aisé de par sa construction. Après le rappel des enjeux :

- la première partie approche le problème du point de vue de la croissance des zones urbaines dans les pays du Sud
- la seconde partie aborde le point de vue du prescripteur
- la troisième, plus opérationnelle, s'intéresse en détail à la cible énergétique. Elle fait la synthèse et le point sur les connaissances en matière de maîtrise de la demande d'énergie et la prise en compte de l'environnement dans la construction en zone tropicale humide. Elle donne et oriente vers des outils de calcul « gratuits ».
- la dernière partie « Méthodes développées », rédigée sous forme de fiches, décrit les méthodes développées et expérimentées par le passé (un CD-ROM regroupe la plupart de démarches évoquées) ;

SOMMAIRE GENERAL

PARTIE 1 : LES ENJEUX ET LES ACTEURS DU BATIMENT DURABLE EN ZONE TROPICALE HUMIDE..... - 7 -

.I. Capacité portante des territoires et empreinte écologique - 8 -

.II. Situation des zones tropicale humide..... - 11 -

.III. Caractéristiques fondamentales du climat tropical humide..... - 12 -

.III.1. Ensoleillement fort toute l'année..... - 12 -

.III.2. température assez chaude et peu variable..... - 12 -

.III.3. Une pluviométrie et une humidité fortes - 12 -

.III.4. Vent : le souffle des alizés..... - 13 -

.IV. Climat et conception climatique : première lecture bioclimatique - 15 -

.IV.1. le rayonnement solaire et lumière..... - 15 -

.IV.2. La température extérieure - 15 -

.IV.3. L'humidité..... - 15 -

.IV.4. Le vent - 16 -

.IV.5. Le rayonnement infrarouge avec la voûte céleste - 16 -

.V. Le confort hygrométrique en zone tropical humide - 17 -

.V.1. Les paramètres du confort thermique..... - 17 -

.V.2. Bilan thermique humain..... - 18 -

.V.2.1. Influence du vêtement - 18 -

.V.2.2. Adaptation des rythmes de travail..... - 19 -

.V.2.3. Les mécanismes physiologiques d'autorégulation - 19 -

.V.3. Importance de la sudation en climat tropical..... - 20 -

.V.4. Appréciation du confort en zone tropical humide - 21 -

.V.4.1. Appréciation du confort thermique : un référentiel à adapter..... - 21 -

.V.4.2. Sensation d'ambiance dans les locaux non climatisés..... - 22 -

.V.4.3. Sensation d'ambiance dans les locaux climatisés - 22 -

.VI. Conception thermique : les stratégies résultantes..... - 24 -

.VI.1. Réduire les apports - 24 -

.VI.1.1. Les apports solaires directs - 24 -

.VI.1.2. Les apports par conduction - 24 -

.VI.2. Evacuer l'excès de chaleur..... - 25 -

.VI.2.1. La ventilation - 25 -

.VI.2.2. La climatisation évaporative (Ev)..... - 25 -

.VI.2.3. L'échange infrarouge avec la voûte céleste (climatisation radiative Rc) - 25 -

.VI.3. Exploiter les phénomènes dynamiques - 26 -

.VI.4. Dispositifs résultants - 26 -

.VI.4.1. Dispositifs et technologies basés sur un seul principe actif..... - 26 -

.VI.4.2. Dispositifs combinant plusieurs principes actifs	- 27 -
.VI.5. Exemple de potentialités	- 28 -
.VII. L'approche et l'expérience française.....	- 28 -
.VII.1. Politique environnementale	- 28 -
.VII.2. Outils développés pour un bâtiment durable.....	- 29 -
PARTIE 2 : AMENAGER A L'ECHELLE URBAINE.....	- 30 -
.I. Les enjeux fondamentaux (ex. de l'étalement urbain)	- 31 -
.II. Le secteur de la construction et des équipements techniques.....	- 32 -
.III. Les principaux enjeux environnementaux.....	- 32 -
.IV. La maîtrise des flux : déchets, énergie, transports.	- 34 -
.V. Les principes d'aménagement durable	- 37 -
.V.1. L'articulation des échelles : du « master plan » à la forme urbaine.....	- 37 -
.V.2. L'armature urbaine et l'implantation des activités	- 38 -
.V.3. Maximisation Method for Sustainable Urban Design	- 40 -
.V.4. L'effet d'îlot de chaleur	- 42 -
.V.5. Les deux niveaux de réponse : trames vertes et abords des bâtiments.....	- 45 -
.VI. Les démarches applicables	- 47 -
.VII. Outils d'évaluation à l'échelle urbaine et territoriale	- 48 -
.VII.1. Bilan Carbone™ : la mesure de la décarbonisation.....	- 48 -
.VII.2. SB Tool (Sustainable Building Tool)	- 48 -
.VIII. Les outils d'aide opérationnels	- 51 -
.VIII.1. Plans de masse et ensoleillement (exemple, Ecotect).....	- 51 -
.VIII.2. Problématique ventilation naturelle / cyclones (CFD, 3D Computational fluid dynamic à l'échelle urbaine).	- 52 -
PARTIE 3 : PRESRIRE - QUELS NIVEAUX D'EXIGENCES POUR UN BATIMENT « DURABLE » ?	- 53 -
.I. Le management de la qualité environnementale.....	- 54 -
.I.1. Quel stade prendre en compte la démarche environnementale ?.....	- 55 -
.I.2. Comment aborder l'organisation générale d'une opération environnementale ? . - 55 -	
.I.3. Etablir un profil environnemental	- 57 -
.I.3.1. Croiser l'ensemble des problématiques	- 57 -
.I.3.2. Les atouts et contraintes du site	- 57 -
.I.4. Se donner les moyens de ses ambitions	- 58 -
.I.5. Enjeux économiques et environnementaux : La climatisation, une problématique centrale.....	- 60 -
.I.6. Mobiliser les acteurs autour des objectifs environnementaux	- 62 -

.II. Construire un programme environnemental	- 63 -
<u>.II.1. Mode d'emploi de la grille d'exigences</u>	<u>- 63 -</u>
.II.1.1. Objectifs de la grille	- 63 -
.II.1.2. Structuration des thématiques	- 63 -
.II.1.3. Mode d'emploi de la grille d'exigences	- 64 -
PARTIE 4 : ATTEINDRE LA CIBLE ENERGETIQUE	- 111 -
.I. Concevoir avec le climat : les outils fondamentaux	- 112 -
<u>.I.1. Les données météorologiques indispensables</u>	<u>- 112 -</u>
<u>.I.2. Diagramme des conditions météorologiques et zone de confort.....</u>	<u>- 112 -</u>
<u>.I.3. Maîtriser l'ensoleillement.....</u>	<u>- 116 -</u>
.I.3.1. Trajectoires solaires	- 116 -
.I.3.2. Protection solaire des composants de l'enveloppe	- 121 -
.I.3.3. Intensité du rayonnement solaire et facteur solaire.....	- 129 -
.I.3.4. Optimiser lumière naturelle / maîtrise des apports solaires.....	- 134 -
<u>.I.4. Exploiter le vent</u>	<u>- 138 -</u>
.I.4.1. Rose des vents.....	- 138 -
.I.4.2. Concevoir la ventilation naturelle (approche macro et CFD)	- 139 -
.II. Bâtiments naturellement climatisés.....	- 143 -
<u>.II.1. La question centrale du confort hygrothermique : climatisation naturelle ou artificielle</u>	<u>- 143 -</u>
.II.1.1. Analyse des besoins : quand faut-il climatiser ?	- 143 -
.II.1.2. Choix constructifs	- 148 -
<u>.II.2. Bâtiments naturellement climatisés : quelles exigences quantitatives ?</u>	<u>- 150 -</u>
.II.2.1. Exigences de moyens	- 150 -
.II.2.2. Exigences sur les ouvertures.....	- 151 -
.II.2.3. Exigences sur les parois verticales.....	- 151 -
.II.2.4. Exigence sur la toiture	- 153 -
.II.2.5. Exigence sur la Ventilation naturelle	- 154 -
.III. Bâtiment climatisés.....	- 155 -
<u>.III.1. Bien concevoir l'enveloppe.....</u>	<u>- 155 -</u>
.III.1.1. Expression des exigences : Indicateurs et garde fous (approche composants),	- 155 -
.III.1.2. Expression des exigences pour un bâtiment performant	- 156 -
.III.1.3. Vers la définition d'un bâtiment BBC en zone tropicale humide	- 156 -
<u>.III.2. Concevoir le système de climatisation.....</u>	<u>- 157 -</u>
.III.2.1. Les données de base du dimensionnement	- 157 -
.III.2.2. Le calcul des charges.....	- 158 -
.III.2.3. Méthode des constructeurs pour le dimensionnement.....	- 162 -
.III.2.4. Dimensionnement des appareils	- 163 -
<u>.III.3. Equipements : meilleures techniques disponibles</u>	<u>- 164 -</u>
.III.3.1. Les systèmes actuellement les plus utilisés.....	- 164 -
.III.3.2. Ne prescrire que des appareils certifiés.....	- 168 -
.III.3.3. Réutilisation énergétique pour l'eau chaude sanitaire.....	- 169 -

.III.3.4.	Stockage de froid	- 169 -
.III.4.	<u>Exemple commenté : IUFM de Cayenne</u>	<u>- 171 -</u>
PARTIE 5 : METHODES DEVELOPPEES		- 175 -
<i>.I. Démarches énergétiques et environnementales françaises</i>		<i>- 176 -</i>
.I.1.	<u>Démarche de maîtrise énergétique</u>	<u>- 176 -</u>
.I.1.1.	Le label ECODOM développé pour le contexte des DOM	- 176 -
.I.1.2.	Démarche PERENE (PERformance ENergétique) adaptée au contexte de la Réunion	- 179 -
.I.1.3.	Les Chartes OPTICLIM	- 182 -
.I.2.	<u>Réglementation thermique en zone tropicale</u>	<u>- 184 -</u>
.I.2.1.	Les Démarches dans le monde	- 184 -
.I.2.2.	La réglementation thermique dans les Doms.....	- 196 -
.I.3.	<u>La qualité environnementale dans la réhabilitation</u>	<u>- 204 -</u>
.I.3.1.	SIKODOM : référentiel pour la réhabilitation des bâtiments scolaires .	- 204 -
.I.4.	<u>Qualité environnementale pour le neuf.....</u>	<u>- 208 -</u>
.I.4.1.	La Qualité Environnementale Amazonienne QEA	- 208 -
.I.4.2.	Approche française de la HQE® en CHINE : Le guide « Projet architectural et urbain durable »,.....	- 211 -
.I.5.	<u>Guides et ouvrages.....</u>	<u>- 216 -</u>
.I.5.1.	« Habitat et climat à la Réunion, Construire en pays tropical humide », 1984 - 216 -	
.I.5.2.	Les cahiers du CSTB :	- 216 -
.I.5.3.	« Guide de la conception climatique du bâtiment en climat tropical humide. Applicable à la Nouvelle Calédonie », 1988	- 217 -
.I.5.4.	« Sous les tropiques, la climatisation : un bâtiment adapté », 1991	- 217 -
.I.5.5.	« Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide », 1992	- 218 -
.I.5.6.	« Climatiser dans les DOM, Guide pratique pour le tertiaire », 1998...	- 218 -
.I.5.7.	« Traité d'architecture et d'urbanismes bioclimatiques, Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable », 2005.....	- 218 -
<i>.II. Outils logiciels</i>		<i>- 219 -</i>
.II.1.	<u>Outils thermique dynamique.....</u>	<u>- 219 -</u>
.II.1.1.	Le logiciel CODYRUN	- 219 -

**PARTIE 1 : LES ENJEUX ET LES ACTEURS DU
BATIMENT DURABLE EN ZONE TROPICALE
HUMIDE**

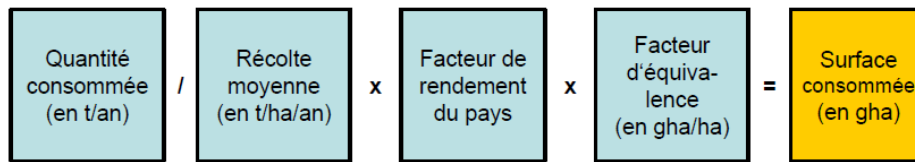
.I. Capacité portante des territoires et empreinte écologique

L'oubli du territoire dans ses dimensions physiques permet d'entrevoir une généralisation de l'étalement urbain, avec toutes les contradictions de la périurbanisation, telles qu'elles ont pu être décrites et analysées dans certains travaux¹ : la recherche des aménités environnementales des zones urbaines de faibles densités (pour les classes moyennes et supérieures) entraîne une forte dépendance à la voiture particulière, ou, pour les classes défavorisées, des temps de trajets quotidiens excessifs.

La mesure environnementale des formes urbaines résultantes peut s'appuyer sur la notion d'empreinte écologique. L'empreinte écologique d'une ville ou « City's footprint », est au cœur des travaux de l'UEMRI Team formé en septembre 1997 à Ogaki au Japon (par 14 urban planners), à la suite des publications de Rees en 1996. L'empreinte territoriale d'une ville est la surface nécessaire pour approvisionner les matériaux bruts et gérer les déchets. Celle de la ville de Londres est de 125 fois sa superficie. Mais cette mesure permet d'évaluer l'impact d'un mode de vie donné (en termes de mode alimentaire, de traitement des eaux usées et des déchets, éventuellement de la production des matériaux consommés).

L'empreinte écologique est calculée en hectares globaux². Un hectare global est un hectare biologiquement productif avec une productivité mondiale moyenne. L'empreinte écologique est aussi utilisée pour définir la surface nécessaire au mode de vie d'une personne pour produire sa nourriture, les biens qu'il consomme et absorber ses déchets.

Empreinte écologique



Capacité biologique

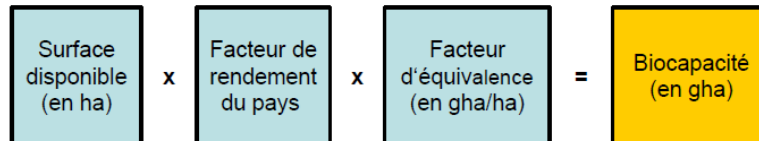


Figure 1 - Modes de calcul

Source : André de Montmollin, *L'empreinte écologique – un pas vers l'indicateur composite ?* Conseil scientifique de l'Ifen du 25 juin 2007

¹ Cf. notamment A. BERQUE, Ph. BONNIN, C. GHORRA-GOBIN, *La ville insoutenable*, Paris, Belin, 2006.

² Cf. Mathis Wackernagel et William Rees, *Notre empreinte écologique*, Éditions Écosociété, 207 p., 1999.

La consommation d'énergies fossiles pose un problème particulier : un calcul estime la surface productive requise (puits de carbone) pour absorber les émissions de CO₂ sans augmentation de la concentration de ce gaz dans l'atmosphère. Pour ce qui concerne l'énergie nucléaire, le calcul est identique à celui de l'énergie fossile en énergie finale (1 kWh nucléaire = 1 kWh fossile), les déchets nucléaires n'étant malheureusement non pris en compte. L'énergie grise (contenue dans les produits importés et exportés) est transformée en émissions de CO₂, à partir de facteurs énergétiques déterminés pour 600 catégories de produits.

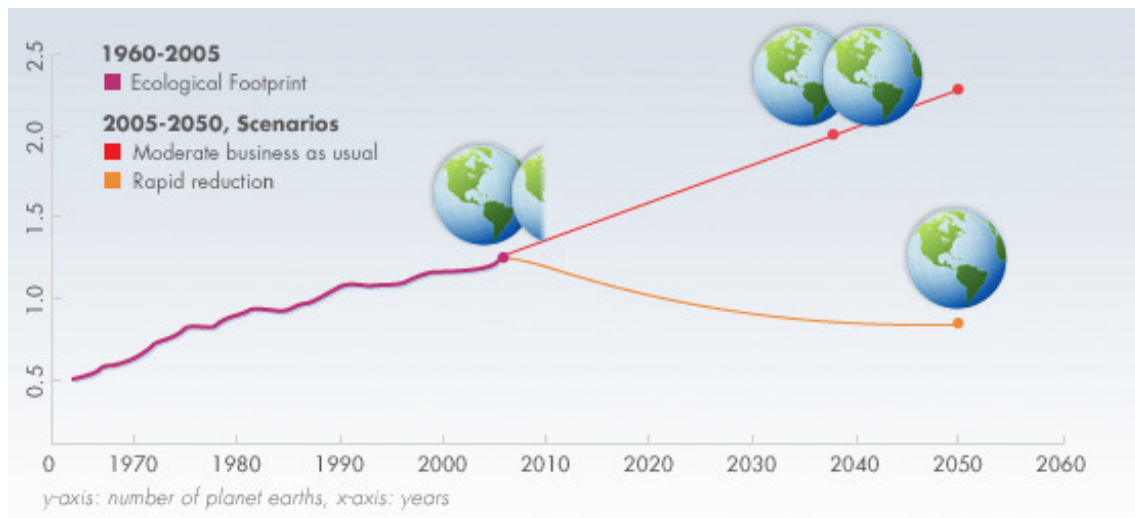


Figure 2 - Empreinte écologique globale de la planète

(Source : Global Footprint Network)

L'empreinte due aux émissions de CO₂ liées aux consommations d'énergie (*carbon footprint*, le calcul convertissant le montant d'émissions de dioxyde de carbone en surfaces de forêt nécessaire à la sequestration de ces émissions) compte pour environ 50% du total de l'empreinte mondiale. En raison notamment de cette contribution importante, qui en réalité accroît l'effet de serre, la capacité portante de la planète serait dépassée depuis la fin des années 1980.

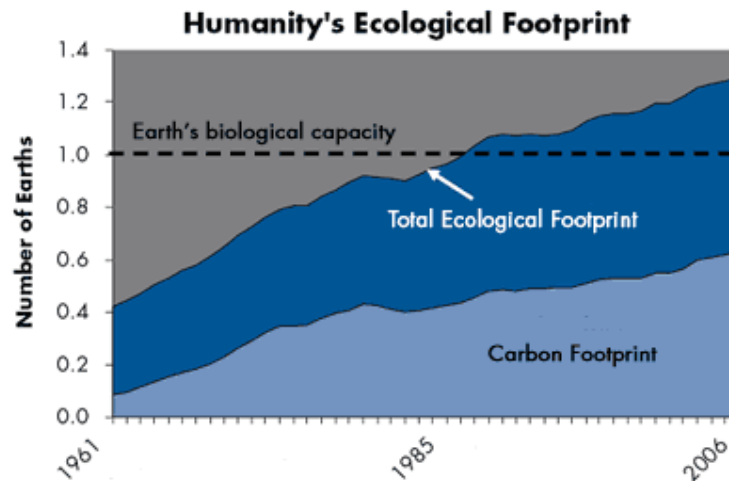


Figure 3 - Empreinte écologique

(Source : Global Footprint Network)

Le site du Global Footprint Network a rassemblé des données par pays, selon leur zone géographique, puis produit des empreintes, selon plusieurs conventions :

- L'empreinte des forêts (Forest Footprint) inclut le bois-énergie ;
- L'empreinte « Carbone » (Carbon Footprint) d'un pays comprend le dioxyde de carbone émis par la combustion d'énergie fossile (ou associées à leur extraction tels que les torchères de gaz), les émissions indirectes dues à l'importation de biens manufacturés, la production de ciment et les feux de forêts tropicales.
- Les terres artificialisées incluent les lacs de barrages hydroélectriques ;

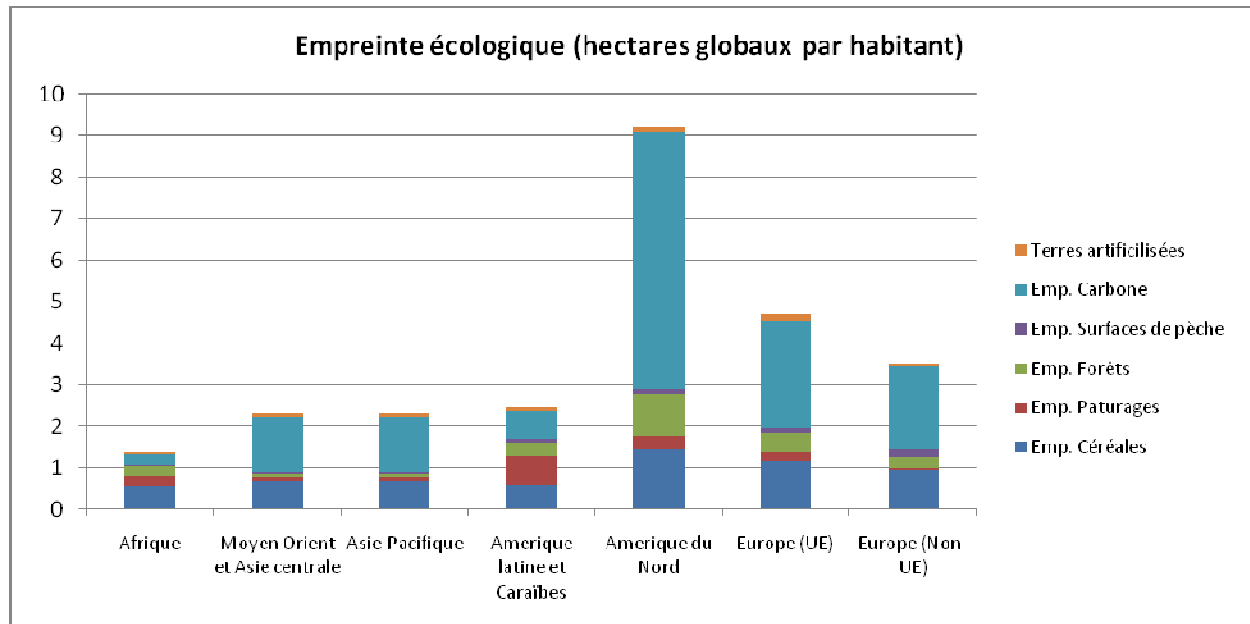


Figure 4 – Hectares équivalent par personne de différentes régions du monde

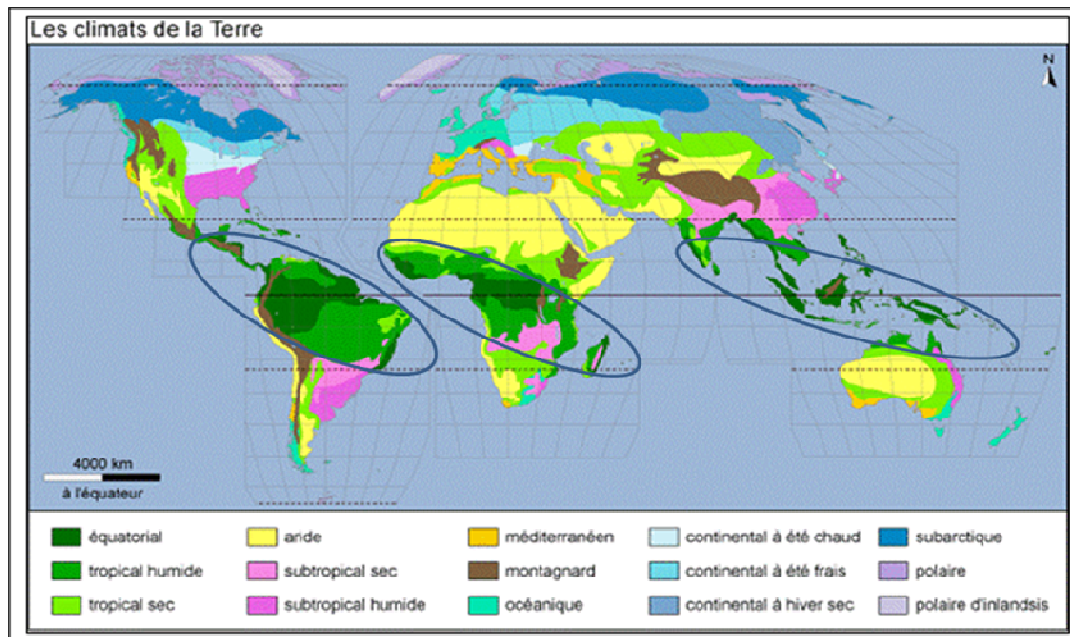
(Source : Global Footprint Network, données 2005, *The Ecological Footprint Atlas 2008*)

Appliquée à des villes ou des pays dans leur totalité, pour apprécier les modes de vie par rapport à la capacité portante de la planète, la méthode ne permet pas de préciser l'impact des formes urbaines, comme la péri urbanisation pavillonnaire et le tissu ancien des centres villes, sur la gestion des territoires.

La question de la mobilité, qui apparaît la plus discriminante dans l'analyse des formes urbaines, devrait ainsi permettre de confronter ces deux aspects du territoire (échelle de l'objet analysé et empreinte écologique), par l'analyse de l'affectation des surfaces au déplacement, et des modes de structuration de l'espace et des activités urbaines qui minimisent les déplacements en voiture. Les formes urbaines peuvent favoriser ou non la mobilité multimodale : marche à pied, vélo, automobile non contrainte et transports en commun.

.II. Situation des zones tropicale humide

La zone tropicale humide zone, centrée sur l'équateur, est encadrée par le tropique du cancer à 23°45 de latitude nord et le tropique du capricorne à 23°45 de latitude sud. Entre ces deux frontières, le soleil passe au moins une fois dans l'année à la verticale. A l'équateur, le soleil est à la verticale lors des équinoxes. Dans l'hémisphère nord, sur le tropique du cancer, le soleil est à la verticale le jour du solstice d'été. Dans l'hémisphère sud, sur le tropique du capricorne, le soleil est à la verticale le jour du solstice d'hiver.



.III. Caractéristiques fondamentales du climat tropical humide

.III.1. Ensoleillement fort toute l'année

L'ensoleillement dépend de l'état du ciel (ciel clair ou couvert) et de l'époque de l'année. Dans la zone intertropicale, **le soleil est "haut" dans le ciel**, c'est-à-dire que la plupart des jours, un observateur verra le soleil à son zénith³ sous un angle supérieur à 60°. L'action d'un soleil "haut" sur un bâtiment entraîne d'importants apports solaires par la toiture ou toute surface horizontale. En revanche, aux heures où le soleil est bas, le matin et le soir, les parois verticales d'un bâtiment exposé Ouest ou Est recevront une importante charge solaire.

Les apports solaires **horizontaux** journaliers sont d'en moyenne **5 kWh/m²** avec une puissance maximale de **1 kW/m²** au zénith, c'est-à-dire aux alentours de midi.

Dans l'hémisphère Nord, Les apports par les parois **Sud** sont **dominants en hiver**. En revanche, les apports par les parois Nord sont moins importants. (Penser à inverser Nord et Sud pour l'hémisphère Sud).

L'humidité de l'air et la couverture nuageuse parfois importante rendent non négligeable l'action du rayonnement diffus qui peut atteindre une surface quelle que soit son orientation.

.III.2. température assez chaude et peu variable

Dans la zone intertropicale, les variations saisonnières sont relativement peu marquées; la température évolue peu pendant l'année. Elle se maintient entre 15 et 35°C avec une valeur **moyenne de 25 à 26°C**. Cette faible variation est d'autant plus marquée que la zone est proche de l'équateur. Les causes en sont la constance de la durée d'insolation et l'inertie thermique de la mer.

Pour les îles, les agglomérations se trouvant sur le littoral, l'inertie thermique de la mer explique aussi les faibles amplitudes de température entre le jour et la nuit. Ainsi, l'écart diurne reste dans une plage de valeurs allant de 4 à 10°C.

Dans le cas des mois proches du solstice d'été, les températures les plus élevées d'une journée s'observent environ deux heures après le zénith solaire. Par contre, dans le cas des mois proches du solstice d'hiver, les températures les plus élevées d'une journée s'observent aux alentours du zénith solaire.

La température décroît avec l'altitude de 0.5 °C tous les 100m.

.III.3. Une pluviométrie et une humidité fortes

En zone tropicale humide, la pluviométrie est importante. Certaines stations météorologiques, situées en altitude ou sur la côte au vent⁴ enregistrent plus de 3000 voire 4000 millimètres de pluie par an. La majorité des villes reçoivent entre **1500 et 2500 millimètres de pluie par an**. Ces pluies apparaissent toute l'année, mais on distingue une saison sèche et une saison des pluies où les orages peuvent être très violents. Ces saisons sont rythmées par la circulation atmosphérique.

La saison des pluies est liée à la position de la Zone Intertropicale de Convergence (ou "ZIC"). Cette bande de basse pression atmosphérique de 10 à 100 kilomètres de large, passe au cours des saisons de 3° de latitude Sud à 15° de latitude Nord. Ce mouvement s'effectue lentement et a pour moteur les anticyclones Nord (des Açores) et Sud (de Ste-Hélène). Dans l'hémisphère Nord, l'influence de l'anticyclone des Açores est dominante de novembre à juillet et la ZIC se trouve donc repoussée au Sud. En revanche, de juillet à novembre, l'anticyclone de Ste-Hélène prend le dessus et provoque la remontée au Nord de cet équateur climatique.

³ Instant de la journée où le soleil est au plus haut de sa course dans le ciel. Il est alors 12 heures Temps Solaire Vrai, et aux alentours de 12 heures ou 13 heures en Temps Légal.

⁴ Côte Est recevant l'alizé chargé de l'air humide de l'océan.

A la verticale de la ZIC, d'importants nuages se développent, donnant naissance à un temps bouché, de longues périodes de calmes (absence de vent) et de nombreuses pluies : c'est la caractéristique du "Pot au Noir".

Le climat des DOM est caractérisé par l'importante humidité de l'air qui y règne. Les valeurs moyennes d'humidité relative⁵ se situent dans une fourchette allant de **70 à 85%**, les minima atteignant rarement moins de 60%. L'humidité relative moyenne s'accroît d'environ 5% environ par tranche de 5° de latitude, au fur et à mesure que l'on se rapproche de l'équateur. L'humidité absolue⁶ est élevée : entre **14 et 20 grammes** d'eau par kilogramme d'air sec.

La zone intertropicale est soumise au régime des vents d'Est, dits alizés qui ont pour origine la rotation de la terre (d'Ouest en Est). Ces vents, très réguliers en fréquence et en force (force 3 à 6 sur l'échelle de Beaufort), s'opposent à l'activité dépressionnaire variable des latitudes tempérées.

.III.4. Vent : le souffle des alizés

L'alizé souffle toute l'année, sauf en cas de forte perturbation (affaiblissement des anticyclones) ou de cyclone. Son orientation varie de sud-est à nord-est selon la situation atmosphérique générale. Si l'on devait toutefois définir une saison des alizés, elle serait plutôt centrée sur la **saison dite de carême** de janvier à avril dans l'hémisphère Nord, et de juillet à novembre dans l'hémisphère Sud. Leur évolution est aussi journalière, influencée par la course du soleil : ils se lèvent dans la matinée, donnent toute leur puissance en début d'après-midi et retombent en fin d'après-midi.

Ces vents chargés de vapeur d'eau font que sur les îles se distinguent une **côte au vent** (côte Est) et une **côte sous le vent** (côte Ouest). Il fait toujours plus chaud sur la côte sous le vent (côte Ouest), la côte au vent (côte Est) bénéficiant de la fraîcheur de la mer véhiculée par les alizés d'Est. Les pluies sont plus abondantes sur la côte au vent que sur la côte sous le vent, les nuages étant, en quelque sorte, "arrêtés" par les reliefs⁷. Enfin, les alizés sont plus ou moins détournés par les reliefs et la dominante Est peut passer jusqu'à NNE ou SSE selon le lieu.

Les alizés rendent la température nettement plus supportable. Essentiellement dans le domaine résidentiel, ils suggèrent une architecture relativement perméable aux mouvements d'air.

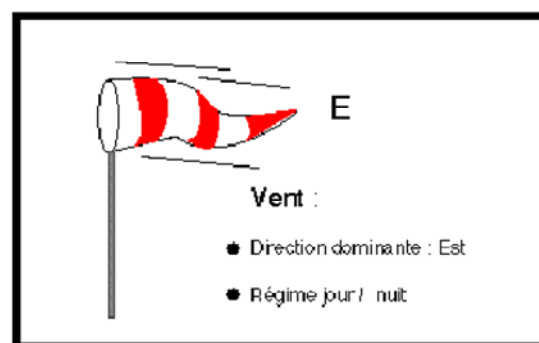
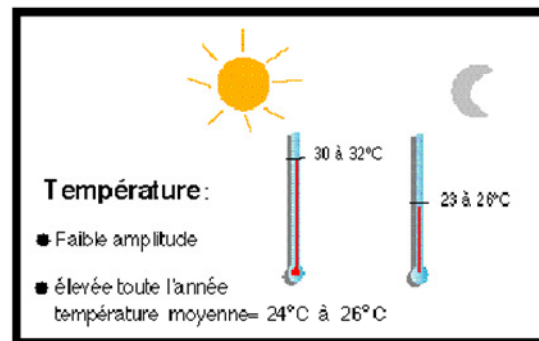
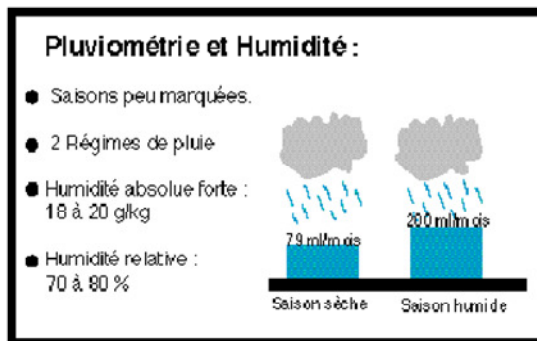
Cependant, la zone intertropicale est aussi la région du globe (température de l'eau supérieure à 26 ou 27°C) où naissent et sévissent les **cyclones** (entre août et septembre principalement dans l'hémisphère Nord et février - mars dans l'hémisphère Sud). Les équipements de climatisation devront donc en tenir compte: ancrage et solidité des unités extérieures...

⁵ L'humidité relative exprime en pourcentage le rapport de la pression partielle de vapeur d'eau par rapport à la pression de vapeur saturante à même température.

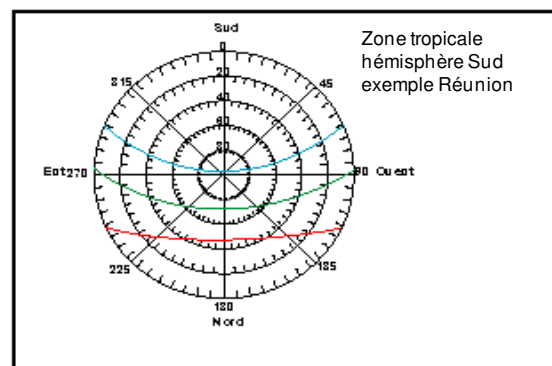
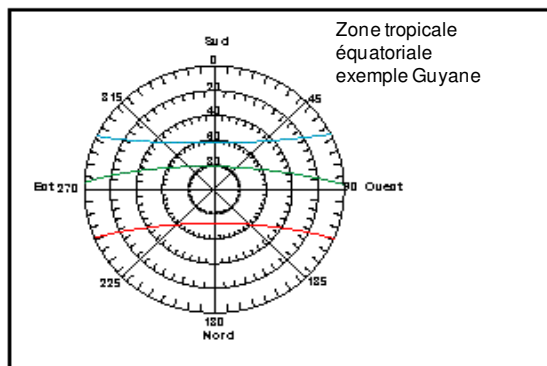
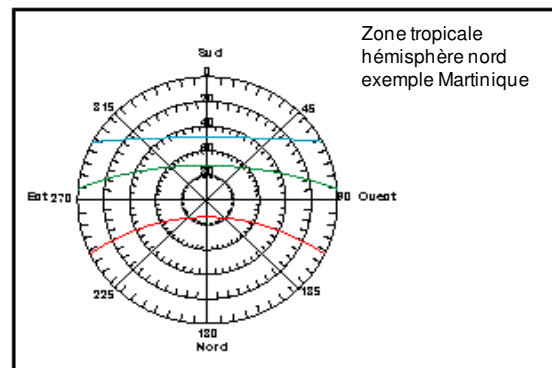
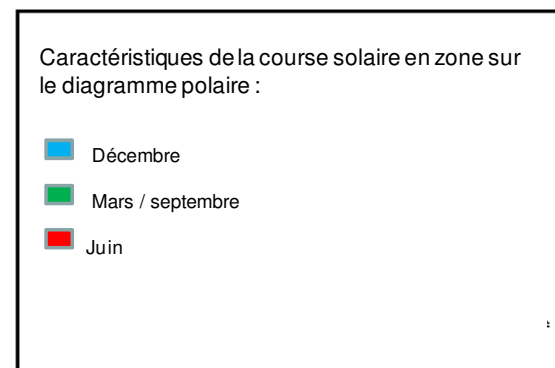
⁶ L'humidité absolue exprime la masse de vapeur d'eau associée à chaque kilogramme d'air sec.

⁷ Ce phénomène, appelé effet de Föhn, se caractérise par la détente et le refroidissement de l'air qui, poussé par l'alizé, escalade les montagnes. A partir d'une certaine hauteur, l'humidité de l'air donne naissance à des nuages puis à des précipitations. Lors de la redescende sur l'autre versant, les nuages restants se réchauffent et s'évaporent, laissant place au soleil.

Les caractéristiques fondamentales du climat tropical humide sont synthétisées dans les deux tableaux suivants :



ENSOLEILLEMENT : ASPECTS GEOMETRIQUES



.IV. Climat et conception climatique : première lecture bioclimatique

Le climat reproduit à l'intérieur du local à l'effet de filtrage de l'enveloppe près, le profil des conditions extérieures. Le champ d'action du concepteur reste conséquent. Les possibilités d'action de la climatisation passive, dépendent de la nature de la variable climatique et des mécanismes de transfert avec l'enveloppe :

.IV.1. le rayonnement solaire et lumière

C'est sur cette variable climatique que repose l'essentiel des actions architecturales en climat tropicale humide. En effet, les transferts thermiques par courtes longueurs d'onde ne dépendent pas d'un gradient de température. Ce qui ouvre la perspective théorique d'un champ d'action très étendu dans le sens de la récupération ou limitation des apports solaires. **La protection solaire des bâtiments est le champ d'action principal en zone tropicale humide** : aucune autre action architecturale ne peut compenser l'handicap d'une mauvaise protection solaire.

Un autre aspect important du climat tropical humide est le gisement important de lumière naturelle. Le tableau suivant compare les valeurs de régions tropicales avec celui de Paris :

Disponibilité de la lumière naturelle

	15 000 Lux	10 000 Lux	5 000 Lux
Guyane	95 %	(*)	(*)
Antilles	90 %	95%	(*)
Réunion	87%	92%	>95 %
Métropole (Paris)	55%	72 %	87%

Ce niveau de lumière naturelle donne au concepteur, les moyens d'atteindre des taux d'autonomie important pour l'éclairage naturelle des locaux.

.IV.2. La température extérieure

Contrairement aux apports solaires, il n'est pas possible par des moyens naturels de s'isoler des conditions de température extérieure. De façon sournoise, les conditions de température extérieure, fixent la fourchette d'évolution de la température intérieure. Il est difficile par des moyens naturels, d'écarter la température moyenne des ambiances d'un bâtiment, de la température moyenne extérieure. Les principales actions concernent les maxima et l'amplitude des températures, surtout pour les climats dont l'amplitude thermique approche ou atteint les 10 K. Voir figure.

.IV.3. L'humidité

Les moyens d'action naturels sont limités et à sens unique. S'il est possible d'humidifier l'ambiance (vase poreux, laveur d'air, par exemple), la déshumidification de l'air, sans dépense d'énergie, est impossible. L'humidité est une variable climatique que l'on subit et sur laquelle toute action directe (non énergivore) est en pratique extrêmement difficile, particulièrement en saison humide. Néanmoins, les effets d'inconfort générés par une forte humidité peuvent être contrés naturellement par l'action sur d'autres variables climatiques comme le vent. A défaut, on pourra utiliser un brasseur d'air (faible consommation d'énergie) pour créer une agitation suffisante de l'air (le processus de sudation en est facilité).

.IV.4. Le vent

En climatisation naturelle, le vent est utilisé selon les configurations climatiques, pour le refroidissement de l'enveloppe et l'accroissement des vitesses d'air des ambiances dans le but d'améliorer les conditions de confort thermique. L'utilisation du vent et la protection solaire du bâtiment conduisent parfois à des recommandations constructives contradictoires qu'il convient de résoudre par des formules de compromis.

Les limites d'action du vent dépendent du potentiel venteux du site. Le développement d'une bonne ventilation est obéré par une fréquence de vent calme élevée. Pour ce qui concerne la conception du bâtiment, il est impératif de prendre en compte ces journées de vent calme (faible renouvellement d'air et vitesse d'air par courants traversants).

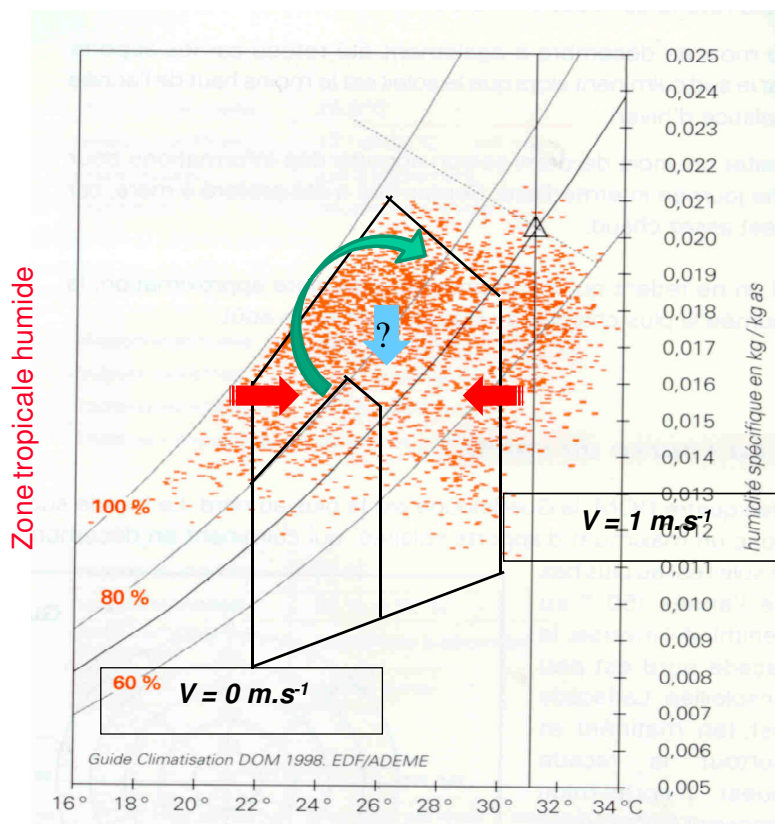
.IV.5. Le rayonnement infrarouge avec la voûte céleste

La voûte céleste est une source permanente de refroidissement pour l'enveloppe. Les potentialités d'échanges, faibles en zone tropicale humide. L'émissivité des matériaux (de l'ordre de 0.9 pour la plupart des matériaux) étant proche de la limite théorique, un accroissement de ces échanges ne peut être réalisé que par l'augmentation des surfaces d'échanges. Augmenter ces surfaces sans accroître les apports solaires tel est le dilemme que doivent résoudre les concepteurs.

Pour mieux visualiser le champ d'action d'un concepteur, nous avons visualisé sur le diagramme de l'air l'humide l'ensemble des points horaires (Température, humidité) d'une année météorologique. En climatisation naturelle, le concepteur peut agir sur :

- La température moyenne et les extrema de température
- La zone de confort par l'action sur la vitesse d'air (qui permet d'élargir la zone de confort)
- L'impossibilité d'agir sur l'humidité de l'air.

L'action sur l'humidité de l'air n'est possible que si l'on met en œuvre une climatisation.



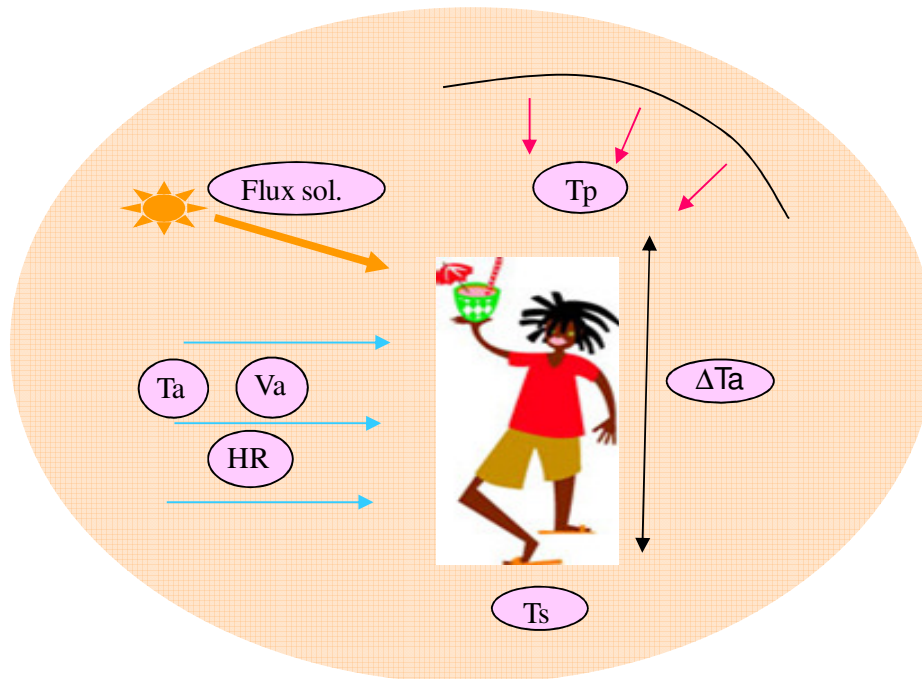
.V. Le confort hygrométrique en zone tropical humide

.V.1. Les paramètres du confort thermique

L'Homme est le siège de réactions bio-physico-chimiques complexes dégageant de la chaleur. Quelles que soient les conditions extérieures, il doit évacuer cette chaleur avec la contrainte thermique de maintenir sa température à 37°C. Cette dernière doit rester pratiquement constante lorsque les conditions thermiques externes varient, afin de préserver le fonctionnement des régulations physiologiques vitales pour l'homme.

Cet écoulement de chaleur est régi par les lois de la thermique et dépend :

- des conditions d'ambiance : température d'air (T_a), du niveau de stratification de l'air (T_a), vitesse d'air (V_a), températures des parois (T_p), et humidité de l'air (HR), flux solaire reçu
- de la vêtue
- des paramètres internes liés à l'individu (métabolisme M , résistance thermique du vêtement I_{cl}).



Les quatre premiers paramètres définissent les conditions d'ambiance. Pour ajuster ses besoins d'évacuation de chaleur, l'homme dispose donc de trois moyens d'action :

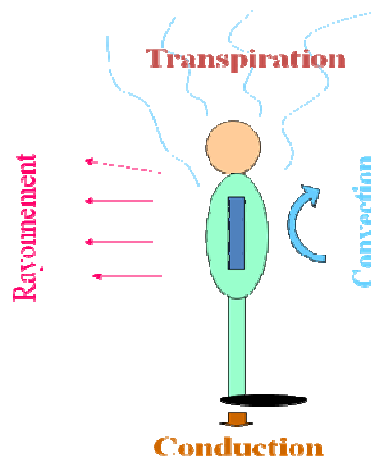
1. l'adéquation de la tenue vestimentaire aux conditions d'ambiance
2. l'adaptation physiologique de l'individu aux conditions extérieures, grâce aux mécanismes d'autorégulation du corps et de l'activité
3. la modification des conditions d'ambiance par une conception thermique adaptée du bâtiment, et/ou l'action d'un système climatisation

.V.2. Bilan thermique humain

L'énergie produite par le corps humain se dégrade en grande partie en énergie thermique. L'énergie thermique à évacuer correspond au métabolisme énergétique total (M) moins la production de travail (W). Le métabolisme dépend de l'activité (compter 100 W pour un homme au repos).

Le corps humain utilise tous les types de transferts thermiques pour évacuer cette production de chaleur :

- par convection (C) et rayonnement (R) entre la surface de la peau (partie du corps découverte) ou du vêtement et l'ambiance, puis conduction thermique à travers les vêtements (caractérisée par la résistance thermique lcl);
- par évaporation (Eres) et convection (Cres) pour la respiration
- par évaporation (Ev) à travers la peau : véritable système de climatisation du corps humain en ambiance chaude



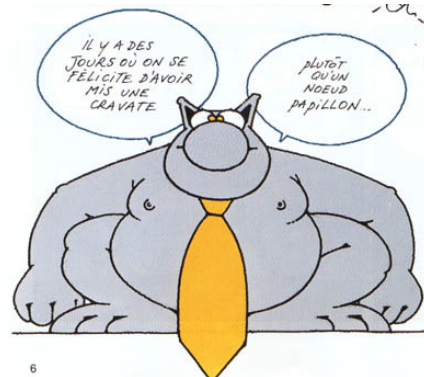
$$(M - W) - Ev - Eres - Cres - R - C = 0$$

.V.2.1. Influence du vêtement

Passage obligé des flux thermiques échangés, le vêtement est un important moyen d'adaptation des besoins de déperdition avant la mise en œuvre des mécanismes de régulation du corps humain.

L'action principale du vêtement est de contribuer à freiner les pertes de chaleur sensible du corps. Il a une action équivalente à une augmentation de la température ambiante autour du corps de 19 °C pour une tenue européenne et de 3 à 4 °C pour une tenue tropicale légère.

Le deuxième effet du vêtement est de freiner les transferts de vapeur d'eau, comparativement aux échanges observés peau nue.



En pays chaud, le vêtement doit donc être léger pour ne pas gêner l'évacuation de la chaleur. Certains pays ont légiféré (Japon) pour adapter le mode vestimentaire en saison chaude dans le monde du travail (mimétisme vis-à-vis du mode vestimentaire occidentale adapté aux climats tempérés).

.V.2.2. Adaptation des rythmes de travail

Etre en activité au moment, ou il fait le plus chaud correspond à la situation où le métabolisme et la température sont le plus élevés. Pour éviter cette coïncidence, une adaptation des rythmes journaliers est une pratique qui renoue avec le bon sens. De même, la réhabilitation de la sieste de l'après midi contribue à l'efficacité énergétique au sens métabolique.

.V.2.3. Les mécanismes physiologiques d'autorégulation

En ambiance chaude, ces mécanismes font intervenir les processus suivants :

- **Augmentation des pertes par échanges thermiques**

Lorsqu'il est exposé au chaud, l'organisme augmente le transport interne de chaleur par une vasodilatation des vaisseaux sanguins irriguant la peau et une augmentation du débit sanguin. Cette vasodilatation entraîne une augmentation de la température cutanée, facilitant les pertes de chaleur par convection, rayonnement et conduction, du corps vers le milieu ambiant. Ce mécanisme de refroidissement intervient sur une plage de température réduite.

- **Mise en œuvre des pertes par évaporation d'eau**

Lorsque la perte de chaleur par vasodilatation ne suffit plus à équilibrer le bilan thermique, la température interne ne peut rester stable que si l'organisme met en jeu la transpiration. Le changement d'état de l'eau en vapeur d'eau de 1 g/h de sueur évaporée permet d'évacuer une puissance thermique de 0.7 [W]).

Les pertes par sudation sont liées au gradient de pression de vapeur entre l'air et la surface de la peau (pression de vapeur saturée à température de la peau). L'organisme régule l'évacuation de sa chaleur en jouant sur la **surface** de peau mouillée et le **débit** de sudation.

L'efficacité de ce processus dépend essentiellement :

- de l'humidité de l'air
- de la **vitesse de l'air**
- du vêtement (d'où l'intérêt d'un vêtement léger en pays chauds).

NB : Court séjour en zone tropicale

Les visiteurs et touristes auront une perception différente du climat par rapport aux habitants. Un individu met un certain temps à s'adapter à un climat différent, de son lieu de vie habituel. Cependant, on estime que la période particulièrement gênante de l'adaptation se limite à 15 jours.

En zone tropicale, un sujet acclimaté boit plus d'eau qu'un sujet non adapté, et accepte des conditions thermiques d'ambiance plus difficiles.



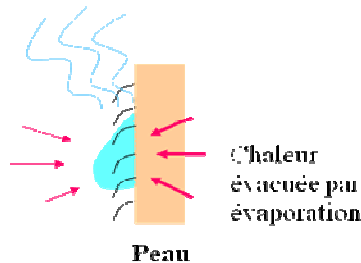
.V.3. Importance de la sudation en climat tropical

En climat tropical chaud, la sudation joue donc un rôle régulateur essentiel dans l'équilibre thermique du corps.

En effet, l'allure du bilan thermique en pays chauds (saison chaude) est caractérisée :

- par des pertes respiratoires très faibles
- par des pertes radiatives et convectives faibles (insuffisantes pour évacuer la production de chaleur interne)

La sudation reste alors le seul processus efficace pour rééquilibrer le bilan thermique.



En climat tropical humide, le mécanisme de sudation est freiné par une humidité forte. Cette dernière diminue sensiblement les capacités d'évaporation de la sueur, diminution que l'organisme compense par l'augmentation de la mouillure de la peau. Pour contrer cet effet négatif, il existe deux possibilités :

- la déshumidification : sa mise en œuvre, impossible par des moyens naturels, non énergivores, nécessite le recours au climatiseur.
- l'accroissement des vitesses d'air de l'ambiance : en effet la vitesse d'air favorise l'évaporation de la sueur. Cette facilité donnée au processus de sudation se traduit par une sensation de fraîcheur.

En climat chaud et humide, une vitesse d'air de 1 m/s a un effet équivalent à une diminution de 4 à 5 K de la température d'ambiance !



.V.4. Appréciation du confort en zone tropical humide

.V.4.1. Appréciation du confort thermique : un référentiel à adapter

La sensation de confort thermique peut être définie comme étant la satisfaction exprimée ou l'indifférence subjective par rapport à l'ambiance locale.

Aussi, le confort thermique peut être caractérisé statistiquement à l'aide de critères psychologiques que sont la thermo-neutralité sensorielle (le sujet déclare ne ressentir ni le chaud ni le froid) et le confort déclaré (le sujet déclare ressentir de l'agrément, ou ne signale pas de désagrément thermique). Les zones de confort thermique se caractérisent par des conditions spécifiques qualifiées d'acceptables, par au moins 80 % des occupants.

Pour un climat tempéré de nombreuses études et enquêtes sur le confort thermique ont été effectuées comme celle de l'ASHRAE pour situer les zones d'interventions des mécanismes de régulation thermiques. Par exemple, les études par l'A.S.H.R.A.E. donnent une indication sur l'échelle d'intervention de ces mécanismes dans un contexte de climat tempéré:

Contrainte thermique en °C	Sensation	Effets physiologiques
22,2	Légèrement frais neutralité	neutralité
25.6	Légèrement tiède, confortable	Vaso-dilatation
30	tiède	Sudation légère
34.5	chaud	Sudation

Cependant on peut se poser la question de la légitimité de transposer cette échelle de valeur en zone tropicale humide. Une enquête sur le confort thermique établie en Côte d'Ivoire montre en effet, la nécessité de recalibrer l'échelle d'appréciation du confort thermique

• Enquête sur le confort thermique en ambiance non climatisée en zone tropicale

Une enquête sur le confort thermique en ambiance non climatisée a été effectuée en Côte d'Ivoire du 21 février au 29 mars 1992 selon les normes ASHRAE sur un effectif de 1384 personnes sur les trois zones climatiques de la Côte d'Ivoire. L'échantillon est composé de 570 femmes et de 814 hommes. La valeur moyenne de leur isolement vestimentaire est de 0,6 Clo.

Les sujets ont exprimé leur jugement de la température de l'air ambiant (en air calme $V < 0,2$ m/s) selon l'échelle de jugements perceptifs définis par la norme.

La température de thermoneutralité obtenue varie d'une zone climatique à une autre. C'est ainsi que nous avons 28.6°C (HR = 74 %) en zone A, 26.8°C (HR = 64%) en zone B, et 29.4°C (HR = 24 %) en zone C.

Pour l'ensemble des trois zones climatiques nous avons :

- température de thermo-neutralité = 27.9 °C
- humidité relative correspondante = 66 %

Soit 5°C de plus que celle obtenue dans un climat tempéré avec un mode de vie occidentale !

.V.4.2. Sensation d'ambiance dans les locaux non climatisés

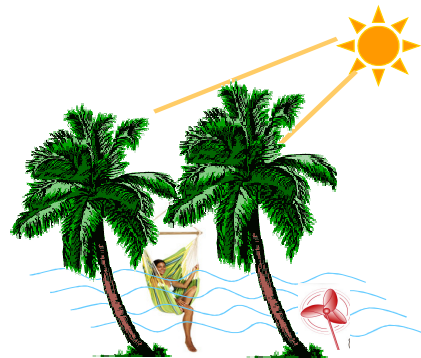
En ambiance non climatisée, la **sudation** joue un rôle régulateur essentiel dans l'équilibre thermique du corps. En effet, les pertes radiatives et convectives deviennent d'autant plus faibles que la température d'ambiance est élevée. La sudation est alors le seul moyen susceptible de rééquilibrer le bilan thermique d'un individu.

En climat tropical, le mécanisme de sudation est freiné par la forte humidité de l'air. Cette dernière diminue sensiblement les capacités d'évaporation de la sueur, diminution que l'organisme compense par l'augmentation de la surface de peau mouillée. Cet effet peut être également contré par l'accroissement des vitesses d'air de l'ambiance qui favorise l'évaporation de la sueur. En climat chaud et humide, une vitesse d'air de 1 m/s procure une sensation de fraîcheur, équivalente à une diminution de 4 à 5 °C de la température d'ambiance !



La notion de confort « acceptable », chère à l'architecture bioclimatique s'appuie précisément sur le maintien des paramètres **températures** et **vitesses** d'une ambiance avec :

- des pointes de températures limitées à moins de 30 à 32 °C selon le niveau d'humidité
- une vitesse d'air moyenne de l'ordre de 1 m/s pour permettre une bonne évaporation de la sueur. L'objectif ultime est de reproduire les conditions de confort d'un homme placé à l'ombre (sous un arbre) à l'extérieur, sous une bise légère.



Pour obtenir cette sensation d'ambiance, l'architecture climatique développe des solutions tirant parti d'une ventilation naturelle traversante (dépendant du potentiel venteux du site) et une protection solaire poussée du bâtiment de façon :

- à minimiser la surchauffe thermique due à l'ensoleillement,
- à réduire l'excès d'humidité (aussi proche que possible de l'humidité extérieure)
- à accroître et distribuer des vitesses d'air de l'ordre de 1 m/s lors des pointes de température (>28°C).

.V.4.3. Sensation d'ambiance dans les locaux climatisés

En ambiance climatisée, l'équilibre thermique du bâtiment est déplacé de façon à créer un climat artificiel dans lequel les paramètres évoluent dans les fourchettes suivantes :

22 °C < température résultante < 26 °C

30 % < humidité relative < 70 %

air calme (inférieur à 0.2 m/s)

Ce résultat est obtenu par prélèvement dans l'ambiance des flux thermiques et des masses d'humidité contribuant à la surchauffe thermique et l'excès d'humidité.

Dans ces conditions d'ambiance, les échanges de l'individu avec l'ambiance se font majoritairement par rayonnement et par convection. La sudation est réduite à un faible niveau, insensible pour l'occupant. Ces conditions correspondent dans l'échelle de l'ASHRAE, à une sensation d'ambiance jugée soit légèrement fraîche, confortable ou légèrement tiède. Cette zone de « confort » donne une marge de manœuvre importante au climaticien :

- **une variation entre 30% et 70% de l'humidité relative pèse peu sur la sensation de confort**
- **le niveau de confort est sensiblement le même à 22°C qu'à 25 °C.**

Pour diminuer la consommation d'énergie de la climatisation, le réglage des consignes doit approcher les bornes supérieures de la zone de confort : 24 à 25° C et 55 à 70 % d'humidité.

En pratique, le niveau de consignes requis et perception des conditions d'ambiance sont liés :

- au comportement des occupants : avec un vêtement léger, les consignes de température adoptées en pratique, sont nettement plus modérées, et correspondent aux bornes supérieures de la zone de confort (lorsque le local est bien conçu) ;
- à la conception du système de climatisation : une mauvaise distribution de l'air soufflé par la climatisation - à température très basse - est une source d'inconfort. En effet, un soufflage direct sur les occupants les expose à une vitesse d'air élevée (effet de courant d'air froid), une température très basse sur une partie du corps (perception dissymétrique des conditions d'ambiance) ;
- à la nature des apports : les apports de chaleur mal maîtrisés contribuent à créer des effets de dissymétrie dans la perception de l'ambiance. Des écarts importants entre les températures des différentes parois et de l'air sont mal ressentis par les occupants.

Les apports de chaleur influent donc non seulement sur la consommation de la climatisation, mais aussi sur la qualité du confort d'ambiance.

.VI. Conception thermique : les stratégies résultantes

Rappelons en premier lieu, que le rôle de la climatisation (ou du chauffage) est de déplacer l'équilibre thermique des ambiances d'un bâtiment, lorsque ce dernier ne satisfait plus les occupants. L'état thermique d'un bâtiment obéit à l'équation simple :

énergie stockée dans le bâtiment = apports énergétiques – pertes énergétiques.

L'extraction de l'excès de chaleur et d'humidité par la climatisation corrige l'équilibre en augmentant artificiellement le poste « pertes », par des cycles frigorifiques consommateur d'énergie. Mais, pour abaisser la température d'un bâtiment, il existe fondamentalement trois moyens « naturels » :

.VI.1. Réduire les apports

Ils sont dus :

- à l'activité des occupants, poste incompressible ;
- aux équipements : éclairage, bureautique, appareils ménagers. Il existe désormais toute une offre d'appareils de Basse consommation (BC).
- aux sources climatiques : température extérieure, soleil.

Les apports solaires sont de loin les plus importants et on distingue :

.VI.1.1. Les apports solaires directs

La récupération solaire par les vitrages, utile en saison fraîche doit au contraire être limitée au maximum en saison chaude. Les dispositifs qui agissent sur le rayonnement Court Longueur d'Onde (rayonnement solaire) se déclinent en deux catégories :

- les verres et films à faible transmission énergétique
- les masques et occultations

Ces dispositifs sont nommés protections solaires (**PS**) au sens large.

.VI.1.2. Les apports par conduction

Lorsque qu'une paroi d'une façade reçoit un rayonnement, la part effectivement transmise par **conduction** au local va dépendre de ses propriétés thermiques : la couleur de la paroi, sa résistance thermique (**R**), le coefficient de convection (**He**). Une couleur claire et une exposition au vent diminueront la transmission de chaleur. En revanche, isoler un mur (augmenter sa résistance thermique) est à double tranchant : s'il protège du rayonnement reçu par les façades, il contribue à mieux piéger le rayonnement en provenance des vitrages (effet de serre). L'effet résultant de la conduction va donc dépendre de la conception d'ensemble du bâtiment : seule une étude thermique pourra déterminer de façon optimale le niveau d'isolation de chaque paroi.

Pour les parois complexes comme les toitures avec combles, les parois double peau, deux autres phénomènes interviennent dans la transmission des apports solaires :

- La ventilation entre les parois : plus le débit d'air (**Da**) est élevé, mieux la charge solaire est évacuée vers l'extérieur au lieu d'être transmise vers le local
- Les échanges infrarouges (**IR**) : une majeure partie de l'échange thermique entre deux parois en vis à vis se fait par rayonnement infrarouge. Il est intéressant de diminuer cet échange en jouant sur l'émissivité des surfaces et les écrans thermiques.

Résumé	Mode de transfert	Principe actif résultant	Notation
Réduire les apports bâtiment	Rayonnement solaire	Protection solaire	PS
	Conduction statique	Isolation	Is
	Convection Mur /air	Augmenter le coefficient de convection Double peau : augmenter le débit air	H Da
	Rayonnement grande longueur onde	Ecran, surface à basse émissivité	RI
Equipements	Apport convectif ou rayonnant	Appareil basse consommation	BC

.VI.2. Evacuer l'excès de chaleur

Il existe quatre façons d'évacuer la surchauffe (liste non exhaustive) :

.VI.2.1. La ventilation

Elle joue sur deux phénomènes :

- l'augmentation du débit d'air (Da) qui contribue à diminuer la température d'ambiance lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure.
- l'augmentation de la vitesse d'air (Va) qui permet de rentabiliser le bon fonctionnement de « l'appareil de climatisation des occupants » : la sudation.

Deux moteurs naturels de la ventilation sont le vent (ventilation traversante), ou le tirage thermique (stratification de l'air, effet de cheminée). On peut considérer également les brasseurs d'air ou la surventilation mécanique comme des techniques de climatisation douce (consommation bien moindre qu'une climatisation classique).

.VI.2.2. La climatisation évaporative (Ev)

L'évaporation de l'eau peut être exploitée soit :

- à l'extérieur : elle abaisse la température de l'environnement et des parois extérieures (pluie, environnement végétal, pulvérisation, fontaine...)
- à l'intérieur : l'évaporation de l'eau contribue à refroidir l'ambiance avec en contrepartie une augmentation de l'humidité.

Compte tenu du niveau d'humidité élevé en climat tropical humide, ce type de dispositif ne peut être envisagé que dans les espaces extérieurs protégés (exemple : terrasse de restaurant)

.VI.2.3. L'échange infrarouge avec la voûte céleste (climatisation radiative Rc)

Le différentiel entre la température de l'air extérieur et la température équivalente de la voûte céleste est toujours négatif (rayonnement terrestre). Ce différentiel est faible en climat tropical humide, c'est pourquoi il n'est pas pertinent.

Résumé	Mode de transfert	Principe actif résultant	Notation
Evacuer l'excès de chaleur	Ventilation (Vent, tirage thermique)	- action sur la vitesse d'air - action sur le débit d'air	Va Da
	Evaporation	Climatisation évaporative en espace extérieur	E
	Rayonnement grande longueur d'onde	Non pertinent	Rc

.VI.3. Exploiter les phénomènes dynamiques

Les échanges thermiques ne sont jamais instantanés : les transferts par conduction sont stockés avant d'être restitués. Les effets des échanges sont ressentis par les occupants de manière différée et étalée dans le temps.

Les propriétés dynamiques (conductivité et capacité thermique) de **l'enveloppe** peuvent être exploitées pour écrêter l'effet des sollicitations naturelles, sur un cycle journalier, voire plusieurs jours pour les bâtiments lourds.

Sur un plan physique, il faut distinguer deux dynamiques :

- la transmission de chaleur à travers une paroi de l'extérieur vers l'ambiance (**le**) qui dépend essentiellement de la diffusivité des matériaux
- l'absorption de la chaleur et des rayonnements à l'intérieur d'une ambiance par les parois (**la**)

qui dépendent de l'effusivité des couches de matériaux proches ou en contact avec l'ambiance (l'isolation intérieure annule les effets d'inertie d'une paroi) .

Les configurations optimales sont celles qui placent les masses conductives (forte effusivité) coté intérieur ou mieux encore dans les cloisons internes et les matériaux isolants (faible diffusivité) coté extérieur des parois de façades. L'exploitation du sol permet d'utiliser des masses thermiques plus importantes.

Résumé	Mode de transfert Et de stockage	Principe actif résultant	Notation
Effets dynamiques du bâtiment : court terme	Echange extérieur /ambiance (inertie de transmission)	Amortissement des sollicitations appliquées sur faces externes des parois (soleil, Text)	le
	Echange ambiance /bâtiment (volant thermique)	Amortissement des sollicitations appliquées dans l'ambiance (gains solaires vitrages, occupants)	la

.VI.4. Dispositifs résultants

La plupart des dispositifs découlant de la climatisation naturelle se déduisent de ces quelques principes de base.

Une méthode pertinente pour les répertorier est de les décomposer en fonction des phénomènes physiques mis en oeuvre. Enfin, pour montrer la nécessité d'une réflexion très en amont, nous avons indiqué à quel stade de la conception, les différents concepts ou dispositifs doivent être intégrés.

- Stade 1 : Intégration au site (travaux de terrassement),
- Stade 2 : Gros œuvre bâtiment et aménagement extérieur lourd (parking, végétalisation),
- Stade 3 : Lots secondaires enveloppe (menuiserie, protection solaire...),
- Stade 4 : équipements
- Stade 5 : entretien bâtiment et aménagement extérieur.

.VI.4.1. Dispositifs et technologies basés sur un seul principe actif

Principe actif	Famille de dispositifs	Stade d'intégration
1 Protection Solaire (PS)	1-1 Protections extérieures architecturales	2
	1-2 Protections extérieures intégrées et mobiles	3
	1-3 Protections incorporées	3
	1-4 Protections intérieures	4
		5

	1-5 Traitement solaire des vitrages (film) 1-6 Masques lointains, occultations 1-7 Couleurs des façades	2 5
2 Renforcement de la résistance thermique (Is)	Isolation classique	2
3 Vitesse d'air (Vi)	3-1 Brasseur d'air, ventilateur	5
4 Rayonnement infrarouge (Ri)	4-1 <i>Ecran mince</i> 4-2 Utilisation de matériaux ou revêtement à faible émissivité	3 3
5 Renouvellement d'air (D) des ambiances	5-1 Sur ventilation Mécanique Contrôlée 5-2 Tirage thermique, cheminée solaire	5 2
5 Ventilation des parois du bâtiment (Da)	5-1 Vide sanitaire ventilé 5-2 Planchers intermédiaires ventilés	2 2
6 Evaporation (E)	6-1 Paroi et terrasse végétalisées 6-2 Environnement Végétal 6-3 Climatisation évaporative par pulvérisation (espaces abrités, ventilés)	2 2 5 2 5
7 Inertie entre l'extérieur et l'intérieur (Ie)	7-1 Façades lourdes	2
8 Volant thermique (Ia)	8-1 Plancher, Mur intérieur, cloisons lourdes	2

.VI.4.2. Dispositifs combinant plusieurs principes actifs

Le nombre de combinaison étant évidemment très élevé, le tableau qui suit ne donne qu'un petit aperçu des dispositifs possibles

Principes actifs	Famille de dispositifs	Stade d'intégration
12 D+Vi	12-1 Ventilation traversante 12-2 Dispositif de captation du vent (Ecopes, effet venturi)	2 2
13 PS+D	13-1 Bardage 13-2 Toiture ventilée	2 2
14 PS+Ie	14-1 Murs lourds à revêtement clair	2/5
15 PS+Is	15-1 Volet isolant réfléchissant 15-2 Murs avec bardage, vêtage	3 2
17 D+Ia	16-1 Ventilation nocturne 16-2 Sur-toiture ventilée sur Toiture lourde	2 3
19 Da +Is	18-1 Toiture isolée et ventilée 18-2 Mur double peau isolé	2 2
20 PS + Rc + stratification de l'air	19-1 Patio	2
21 Ia + Ev	Construction en terre crue	2
etc...		

On s'aperçoit que la plupart des dispositifs efficaces doit être pensée dès les premières phases de la conception (stades 1 et 2) et nécessite un investissement lourd à la conception. Cependant les surcoûts doivent être amortis en terme de coût global, sur la durée de vie du bâtiment.

.VI.5. Exemple de potentialités

Pour préciser les ordres de grandeurs des gains potentiels, le tableau suivant donne le résultat du diagnostic thermique établi dans le cadre d'une réhabilitation lourde d'un ensemble de quatre bâtiments collectifs et de quatre maisons individuelles aux Antilles.

	Gisement de Réduction apport (*)	Gisement d' Evacuation surchauffe (*)	Diminution de température attendue	Surchauffe résiduelle (hors apport internes)
Collectifs	62%	67%	2 °C	1,2 °C
Individuels	53%	61%	2°C	1 °C

(*) Gisement = (existant - solution économiquement envisageable) / (existant - solution idéale)

En théorie, la quasi-annulation de la surchauffe est possible en travaux neufs par l'application de concept plus ambitieux (mais impossible dans le cadre d'une réhabilitation) comme le dé-confinement des ambiances, la ventilation des planchers, structure double –peau sur toutes les façades exposées... Notons qu'à la baisse de température moyenne donnée dans le tableau, il faut ajouter le bénéfice d'une augmentation des vitesses d'air intérieur équivalentes à la diminution de 3 à 4 °C, correspondant en œuvre d'une ventilation traversante ou de brasseurs d'air

.VII. L'approche et l'expérience française

.VII.1. Politique environnementale

La France mène depuis 25 ans, une action forte de maîtrise de l'énergie dans les zones tropicale humide française qui s'est progressivement élargie pour répondre aux impératifs du développement durable. Toute une série d'outils élaborés spécifiquement pour ces régions peuvent être valorisés et utilisés dans les régions aux climats similaires de la ceinture intertropicale.

Ainsi, la Guyane, les Antilles, et la Réunion trouvent une réelle légitimité dans la représentativité des problématiques posées en zone tropicale humide sur les thématiques du déplacements, du confort hygrométrique, gestion de l'eau (eau potable, eaux pluviales, eaux usées), de l'énergie

Comme la plupart des zones tropicales humides, ces régions dépendent dépendante d'une ressource exogène dont les coûts sont très dépendants des fluctuations du cours mondial des hydrocarbures qui s'inscrit définitivement dans une tendance haussière avec l'épuisement des ressources dans une quarantaine d'années.

En outre, la combustion d'hydrocarbures est fortement émettrice de CO₂ (>800 g / kWh électrique produit), principal gaz responsable de l'effet de serre et du réchauffement planétaire qu'il induit et dont les conséquences à court et moyen termes sont pour le moins préoccupantes.

Donner du sens au concept de « développement durable » nécessite donc d'adopter d'urgence une approche alternative des problématiques énergétiques et environnementales pour ouvrir des perspectives permettant à la fois de s'affranchir de cette dépendance énergétique et économique mais aussi de participer efficacement à la lutte contre le réchauffement global.

Dans le cadre de sa politique sur la maîtrise des consommations d'électricité, l'ADEME a donc constitué au fil du temps une boîte à outil destiné aux professionnels des bâtiments.

.VII.2. Outils développés pour un bâtiment durable

Ces outils s'adressent à toute la filière du bâtiment :

- les Maîtres d'Ouvrage
- Les bureaux d'étude
- Les architectes
- Les entreprises

du secteur tertiaire et résidentiel dans leur démarche de **construction environnementale** aussi bien dans le neuf que dans la réhabilitation.

Ces outils et dispositifs sont pour la plupart intégrés dans le CD-ROM et décrits dans une fiche de synthèse en partie. Le tableau qui suit dresse une synthèse de l'ensemble de ces outils :

Secteurs	Bâtiments neufs	Réhabilitation
Tous secteurs	Projet de Réglementation thermique pour les zones tropicales française (projet)	
	OPTICLIM individuel en Guyane	
	Chartes de qualité et outils de conception économe en climatisation individuel	
	OPTICLIM individuels à la Réunion	
	Outils pour une climatisation individuelle économe	
	PERENE PERformance ENergétique adaptée au contexte de la Réunion	
Résidentiels	QEA qualité environnementale Amazonienne	
	Guide pour la construction environnementale en Amazonie (Guyane)	
	Approche française de la HQE® en CHINE : Le guide « Projet architectural et urbain durable »	
	ECODOM Référentiel pour la conception neuf dans le logement	
		BATIPEI Méthode pour le diagnostic des logements individuels à la Réunion
		REHABDOM Guide pour la réhabilitation des logements
BATIMENTS SCOLAIRES Ecoles, collèges, lycées, universités	PERENE	Guide prescriptions SIKODOM pour la Guyane Assistance à maître d'ouvrage
Tertiaires Bureaux et autres	Climatiser dans les départements d'Outre Mer Guide de conception de la climatisation	

PARTIE 2 : AMENAGER A L'ECHELLE URBAINE

.I. Les enjeux fondamentaux (ex. de l'étalement urbain)

La croissance urbaine des pays du Sud, massive, est fortement concentrée dans de très grandes villes. En 2030, la population urbaine mondiale atteindra 4,9 milliards, soit 60% de la population totale. La croissance démographique des principales villes du sud se traduira par un doublement de leur population, passant de deux à quatre milliards : cela revient à « construire et équiper chaque année l'équivalent de sept nouvelles villes de dix millions d'habitants, soit sept «Shanghai» ou «Jakarta», ou dix «Londres» par an⁸. Une des caractéristiques de la croissance urbaine au sud est donc la concentration de la population dans les Très Grande Agglomération (TGA, de plus de 2 millions d'habitants) et « méga-villes » (de plus de 10 millions d'habitants).

Une urbanisation aussi rapide pose, outre la question du financement des investissements exigées par ces nouvelles structures urbaines, celle du modèle de croissance urbaine qui est appliqué, et qui déterminera les besoins énergétiques et les impacts environnementaux – dont l'influence sur le changement climatique- de ces villes pour les décennies à venir⁹.

L'explosion démographique entraîne une forte demande de logements neufs, parfois laissée au secteur informel, dans les pays les plus pauvres. Le risque est une certaine forme d'étalement urbain diluant la tâche urbaine des grandes métropoles, et le mitage des territoires qui devraient être préservés (forêts, parcs nationaux, etc.) en zones rurales défrichées autour des pistes.

La demande reste importante, de parcelles urbanisées, et de construction neuve dans des délais de réalisation très courts, pouvant peser sur la qualité des bâtiments. Il conviendrait de distinguer, dans le processus d'extension urbaine, les différentes catégories socioprofessionnelles concernées, afin de mieux prendre en compte la part de l'activité associée au logement (bureau, atelier, boutique, négoce, etc.).

Enfin, la connaissance de l'architecture et du patrimoine urbain est quasi inexistante chez les élus, ce qui menace le maintien des ensembles urbains traditionnels à grande échelle, ou à l'échelle de chaque bâtiment, sous les coups de travaux de réhabilitation qui défigurent le plus souvent le caractère architectural et urbain d'origine. Des exemples comme Pondichéry montrent que des partenariats solidement établis et supportés par des institutions (Fonds de l'Union Européenne, ADEME, etc.) peuvent inverser cette tendance.

Les pays du Sud ne connaissent pas tous les règles communes en Europe de la ville classique : la mitoyenneté est souvent absente, avec des ensembles de maisons isolées sur leur parcelle (exemple de l'Afrique de l'Ouest).

Enfin, les modes de vie sont encore très différenciés entre les villes et les campagnes, au contraire des pays occidentaux où le mode de vie urbain est près d'être généralisée à l'ensemble des populations. Le mode de vie urbain correspond à une activité « 24 heures sur 24 », avec la question de l'animation nocturne (et aussi ses nuisances sonores).

Enfin, même si l'usage des différentes formes de transports en commun domine, la tendance pour les classes moyennes et supérieures se dirige vers un usage généralisé de la voiture individuelle, avec son cortège de nuisances associées (encombrements, bruit et pollution urbaine, impact environnemental à considérer).

⁸ Pierre-Noël Giraud, Benoît Lefèvre, « Les défis énergétiques de la croissance urbaine au sud. Le couple «Transport – Urbanisme» au cœur des dynamiques urbaines », Article pour le Rapport Annuel de l'AFD-IDDDRI : *Regards sur la Terre*, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques. Octobre 2006, 32 p.

⁹ Pierre-Noël Giraud et Benoît Lefèvre citent l'exemple de Barcelone, ville qui loge et occupe une population 20% supérieure à celle d'Atlanta sur une surface 26 fois plus faible et consomme 11 fois moins d'énergie par habitant pour le transport urbain.

.II. Le secteur de la construction et des équipements techniques

Les filières de construction (le bois par exemple) sont inégalement structurées, alors que les ressources locales (exemple des forêts tropicales) permettraient de développer une industrie de la construction bois très performante sur le plan environnemental. Certains pays (exemple du Vietnam) ont subi un déboisement important à la suite de guerres longues et fortement destructrices en population et en ressources naturelles), mais pourraient reconverter certaines essences vers le secteur de la construction (exemple de l'hévéa) lors du renouvellement des plants.

La disparité des coûts de construction reste vive : l'approvisionnement en matériaux s'effectue depuis les principaux ports et centres économiques, ce qui entraîne des surcoûts importants pour les localités éloignées et reliées par des voies de qualité diverses (c'est aussi le cas des transports fluviaux) souvent fortement encombrées, ce qui augmente considérablement les délais de livraisons.

Le marché de la climatisation est un secteur en forte expansion, mais le plus souvent sous forme de climatiseurs individuels, ce qui obère le développement de la climatisation centralisée, qui réclame de surcroît une maintenance régulière et spécialisée des installations.

Enfin, il faut signaler la question de la tenue des matériaux isolants, soumis à l'oxydation et au dépôt de poussières pour les isolants minces, la destruction par les rongeurs pour les mousses et laines minérales, etc.

.III. Les principaux enjeux environnementaux

Les conditions propres aux pays du Sud doivent être prises en compte dans une démarche amont consciente de la nécessaire durabilité d'un écosystème urbain. Entendu comme régulateur des relations entre population, ressources et environnement, un écosystème urbain durable doit prendre en compte un ensemble très large de paramètres et d'indicateurs¹⁰ :

- Productivité économique, efficacité de l'usage des ressources (eau, énergie, matériaux bruts, capitaux), émissions de déchets et régénération (air, assainissement, déchets solides) ;
- Qualité de vie, revenus des populations, disponibilité de logements, mobilité, alimentation, éducation, possibilités récréatives, espérance de vie, santé ;
- Gouvernance, régulation entre différents acteurs et décideurs, exigences individuelles et collectives, responsabilité écologique,
- Ecologie, durabilité des ressources, paysage, eau, atmosphère, biodiversité.

C'est dans ce cadre que les principaux enjeux environnementaux liés à l'urbanisation doivent être pris en considération :

- La conversion d'écosystèmes naturels en surface artificialisées, en tout ou partie (infrastructures de transports, bâtiments résidentiels ou tertiaires) ;
- La modification du système hydrologique (cours d'eau, ruissellement de surface) avec les risques d'inondation et de modification des milieux humides (perte de biodiversité en faune et flore) et de la végétation en général ;
- L'effet d'îlot de chaleur ;
- La dégradation de la qualité de l'air par les émissions de polluants dues à la forte concentration des activités (transports routiers en particulier et dans certains cas, combustion de minéraux solides) ;
- Les nuisances sonores
- Les importants flux de matières et d'énergie nécessaires au fonctionnement du système urbain, avec notamment les besoins d'approvisionnement en eau, en énergie et la question des déchets (eaux usées et déchets solides).

La question des ressources et de leur gestion peut être élargie, au-delà des matériaux, au champ des territoires, de la biodiversité et de la préservation des différents types de patrimoine.

¹⁰ Cf. par exemple : Towards a sustainable City : Methods of Urban Ecological Planning and its Application in Tianjin, China, Final report of the Co-operative Ecological Research Project (CERP), coopération Chine-Allemagne, Programmes UNESCO-MAB, Février 1996.

Ressources 1	Matériaux	Energie grise (ACV)
		préférences pour les matériaux renouvelables et certifiés (végétaux isolants, bois, etc.)
		taux de matériaux recyclés (cf. métaux)
		attention aux réserves limitées, matériaux « rares »,
	Énergie (bâtiments, transports, industrie, etc.)	
	Eau (quel usage de l'eau potable ?) et énergie de pompage	
	Territoire	
Ressources 2	Maintien de la biodiversité (faune et flore), Continuité des écosystèmes écologiques : assurer les liaisons permanentes entre les différentes zones.	
Ressources 3	Préservation du patrimoine naturel (sites, paysages), culturel et économique (savoir faire, artisanat) et construit (architecture, ensembles urbains)	

Tableau 1 - Enjeu global et local : gestion des ressources

.IV. La maîtrise des flux : déchets, énergie, transports.

Dans les pays en développement, les municipalités dépensent jusqu'à 50 % de leur budget pour éliminer les déchets, le transport représentant une part prépondérante. Les coûts augmentent sous l'effet du manque de terrains adaptés, à mesure que les zones urbaines s'étendent. Entre 30 et 60 % des déchets urbains solides ne sont pas collectés et moins de 50 % pour cent de la population bénéficient de services de collecte des ordures ménagères¹¹.

Faute de réelle gestion des déchets, les ordures débordent dans les rues ou s'entassent dans les décharges, présentant des risques sanitaires pour la population, par pollution du sol et de la nappe phréatique, et par pollution de l'air, notamment par combustion des déchets, matières plastiques et autres déchets dangereux en particulier. Les coûts sanitaires mondiaux de la pollution de l'air (dont les causes sont multiples) sont estimés à 1 milliard de dollars. Dans les pays en développement, ces coûts représentent entre 5 et 20 % du PIB.



Photo 1 - Décharge non contrôlée, Shanghai

La collecte sélective est encore peu développée. Quelques municipalités (exemple de Pondichéry, en Inde) ont entrepris un tri des déchets à l'intérieur des marchés : 80% des déchets étant organiques, ceux-ci peuvent être valorisés par compostage, ce qui génère un revenu limitant la charge pour la collectivité. Le compost, produit sans odeur et sans nuisance par la technique du vermi-compostage, sert d'amendement organique, supprimant le recours aux engrais chimiques.

Pour l'exploitation des bâtiments, la demande de climatisation est croissante dans les grandes métropoles : des villes comme Shanghai connaissent de fréquentes ruptures de distribution électrique, en raison de pointes de demande supérieures aux capacités de production. Une des réponses réside dans la ressource éolienne, qui est abondante dans la région de Shanghai. Les champs d'éoliennes de FENGXIAN, de CHONGMING et NANHUI produiront l'électricité nécessaire aux besoins de cent dix mille personnes pour leurs activités quotidiennes pendant un an.

Le principal défi de la croissance urbaine au sud concerne les consommations énergétiques des transports urbains, qui peuvent représenter, dans certaines villes, plus de 50% des consommations énergétiques totales (en énergie finale) hors industrie.

Ville	année	Cons. Énergétique (°) (Tep/hab/an)	Transport	Résidentiel	Tertiaire	Emissions CO2 (°) (tCO ₂ /hab/an)
Grenoble	1999	2,08	30 %	39 %	30 %	3,95
Londres	2000	1,79	22 %	47 %	31 %	5,54
Tokyo	1998	1,44	43 %	22 %	35 %	4,8
Shanghai	1998	0,36	52 %	29 %	19 %	1,9
Séoul	1998	1,18	34 %	42 %	24 %	3,17
Beijing	1998	0,54	20 %	40 %	40 %	1,64

Tableau 2 - Répartition sectorielle de la consommation énergétique de quelques villes

(°) Sans industrie mais avec production d'électricité

Source : Pierre-Noël Giraud, Benoit Lefèvre, « Les défis énergétiques de la croissance urbaine au sud. Le couple «Transport – Urbanisme» au cœur des dynamiques urbaines », Octobre 2006, 32 p.

¹¹ Les enjeux du millénaire urbain, PNUE (programme des nations unies pour l'environnement), 2004.

Les solutions techniques existent pour réduire les consommations énergétiques des bâtiments, à condition de tenir compte des caractéristiques de l'environnement climatique dans la conception architecturale et urbaine des bâtiments. Dans le domaine des transports, la maîtrise des consommations énergétiques (carburants d'origine fossile en large majorité) et des émissions liées (polluants, gaz à effet de serre) est loin de faire consensus, car au-delà de la pénétration de véhicules « propres » (le véhicule électrique apportant une alternative acceptable à condition de produire de l'électricité à faible contenu carbone)

Il conviendrait également de mieux orienter les politiques publiques d'aménagement du territoire et dans la réalisation d'infrastructures de transports en commun compatibles avec les dynamiques spatiales urbaines.

	USA	WEU	AFR	LAM	LIA	CHN
Densité Urbaine (hab/ha)	15	55	60	75	204	146
Cons énérg transports (MJ/hab/an)	60843	16793	7706	9441	6635	2917
Em. CO2 transports (kgCO2/hab/an)	4405	1269	592	678	509	213
Nb véh. (autos+motos)/1000 hab	600	446	216	140	233	81
Mobilité TC (% pass.km motorisés réalisés en TC)	2,90%	19%	48,20%	50,80%	41%	55%

Tableau 3 - Consommations d'énergie dans les transports urbains (moyennes par zones, chiffres de 1995)

USA: Etats-Unis; WEU: Western Europe ; AFR : Africa ; LAM : Latin America ; LIA : Low Income Asia ; CHN : Chine.
D'après : Millennium Cities Database for Sustainable Transport, citée dans Kenworthy, J., Transport Energy Use and Greenhouse Gases in Urban Passenger, Transport Systems : A Study of 84 Global Cities, Perth: Murdoch University, 2003.

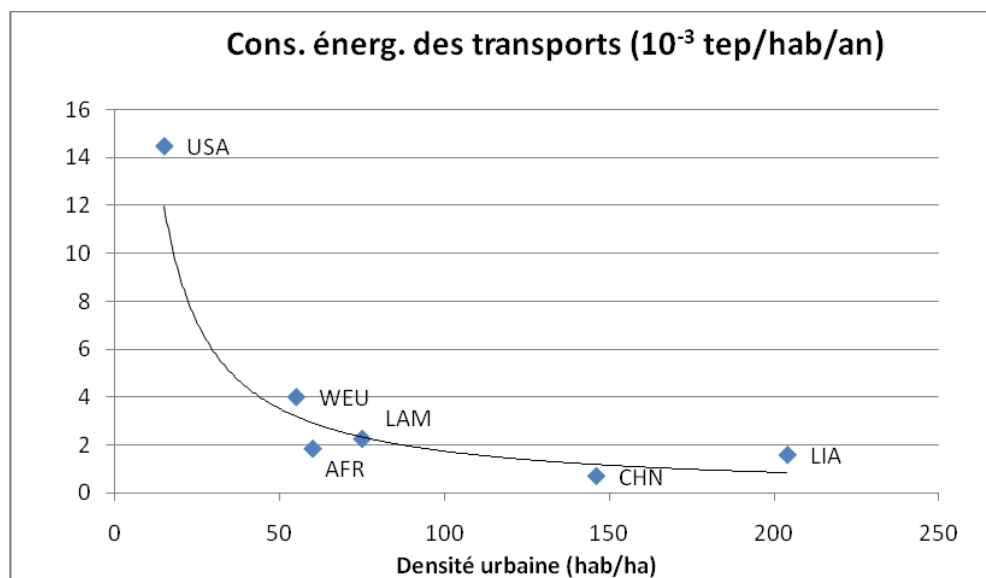


Figure 5 - Corrélation consommation énergétique des transports et densité urbaine

Courbe établie d'après Kenworthy, 2003, par grande zone géographique (données 1995).

USA: Etats-Unis; WEU: Western Europe ; AFR : Africa ; LAM : Latin America ; LIA : Low Income Asia ; CHN : Chine.

En s'appuyant sur les travaux de A. Bertaud¹² et du CERN¹³, quatre types de structure urbaine peuvent être mis en évidence pour les villes du Sud :

- la ville étalée et polycentrique (selon le modèle d'Atlanta),

¹² Bertaud, A., 2001, Metropolis: A Measure of the Spatial Organization of 7 Large Cities; Bertaud, A., 2004, The Spatial Organization of Cities: Deliberate Outcome or Unforeseen Consequence?

¹³ Cerna, Centre d'économie industrielle, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris / ParisTech.

- la ville dense et monocentrique (selon le modèle de Barcelone),
- la ville constituée d'un centre relativement dense entouré de villes satellites (polycentrique),
- la ville duale formée d'un pôle moderne relié à une ville traditionnelle.

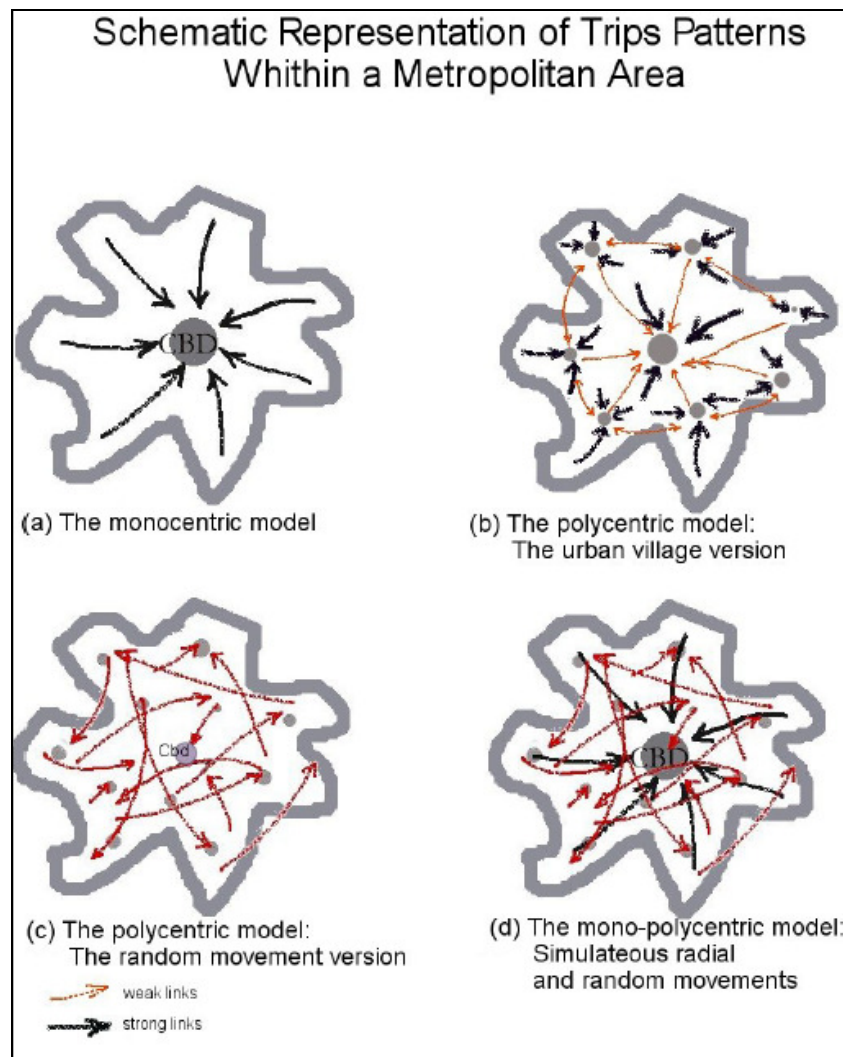


Figure 6 - Typologie des déplacements urbains

La contrainte environnementale impose un renversement de tendance par rapport à l'usage croissant de la voiture, soit une mise à l'écart du modèle d'Atlanta. Pour les trois autres modèles, les politiques de transport et les politiques d'usage des sols doivent être menées de front et articulées :

- pour les premières, encourager les véhicules motorisés « faible carbone », décourager l'usage des véhicules particuliers, promouvoir des transports en commun efficaces,
- pour les secondes, adapter les règles d'urbanisme pour concentrer l'implantation des activités dans les zones de diversité fonctionnelle et de fortes accessibilité grâce au TMR (transport rapide de masse) et favoriser l'articulation des divers modes de transport.

.V. Les principes d'aménagement durable

.V.1. L'articulation des échelles : du « master plan » à la forme urbaine

Quelques principes d'aménagement devraient fonder une démarche d'urbanisme à la hauteur des enjeux environnementaux, sociaux et économiques, compatibles avec la lutte globale contre le changement climatique :

- limiter l'artificialisation des terres et produire une urbanisation maîtrisée, tout en assurant la continuité des éco systèmes ;
- optimiser l'occupation de l'espace (principe des « circuits courts ») et réintégrer les techniques d'assainissement ainsi que l'agriculture dans les aménagements, en valorisant le compostage des déchets ;
- lutter contre les risques d'inondation, en réduisant les surfaces imperméables, en infiltrant les eaux pluviales, en les réutilisant (tout en évitant la prolifération de parasites) ;
- lier les cycle du bois et du carbone, en exploitant les ressources de façon à garantir leur renouvellement ;
- lutter contre l'îlot de chaleur urbain, en favorisant les déplacements à forte efficacité énergétique (fer, déplacement doux) et en assurant une végétalisation des espaces publics et des toitures ;
- réduire la dépendance énergétique générale, en développant les ENR.

La dimension de l'aménagement urbain est essentielle pour parvenir à la maîtrise des nuisances (bruits, pollution, déchets), comme à la valorisation des ressources du site, qu'elles soient énergétiques (éolien, biomasse, solaire) ou climatiques (régimes des vents, des températures d'air, des pluies).

Les enjeux sont multiples et relèvent de l'échelle globale (changement climatique), de l'échelle régionale (gestion des ressources et des matériaux, préservation des écosystèmes), et d'une échelle plus locale (qualité de vie des populations, développement économique, etc.). La démarche consiste à analyser et maîtriser, selon trois échelles d'intervention :

- la capacité portante des territoires avant tout développement de nouveaux établissements humains, quartiers de ville, centres d'activités, ensembles touristiques (échelle du master plan) ;
- les atouts et les ressources du site d'implantation, afin de produire des espaces extérieurs de qualité, de garantir l'accessibilité et la sécurité, enfin d'assurer une bonne gestion des ressources (site analysis) ;
- les interfaces nécessaires entre la parcelle et les services urbains (réseaux et voirie, équipements divers), puis les réponses aux divers enjeux en intervenant à l'échelle du bâtiment (building design).

La méthode proposée consiste, pour chaque site, à établir un état des lieux et une étude d'impact. Les domaines d'application sont doubles :

- Économie et social : activités existant et à développer (agriculture, pêche, artisanat), activités à créer (services, entretien et gestion, etc.)
- Ecologie : patrimoine naturel (maintien de la biodiversité)

Les enjeux principaux à l'échelle du « master plan » relèvent de la préservation et du partage des ressources (énergie, eau, territoire), de l'éco-gestion (eau, énergie, déchets) et de l'inscription dans un plan de déplacements (accessibilité)

La conception des espaces extérieurs est importante, puisqu'elle croise de multiples champs :

- Le paysage, le parti végétal (îlot de chaleur, minéralisation et traitement des sols), la gestion de l'eau pluviale
- Le confort (effets aérodynamiques et ensoleillement)
- Les déplacements et circulations douces
- L'accessibilité et la sécurité

	
Photo 2 - Trottoirs plantés et gazonnés, (Pondichéry, Inde)	Photo 3 - Parcellaire adapté à la ventilation naturelle (Pointe à Pitre, Guadeloupe)

.V.2. L'armature urbaine et l'implantation des activités

A l'échelle des villes en forte croissance, les réponses apportées aux enjeux environnementaux se limitent dans le meilleur des cas à la mise en place d'une ceinture verte (« green belt »), qui est censée atténuer les nuisances environnementales mais aussi limiter l'expansion urbaine par grignotage progressif de l'espace naturel ou agricole périphérique.

D'une manière générale, la conception spatiale d'un aménagement durable repose sur l'articulation entre quatre trames :

- Une trame bleue (blue structure), de gestion des eaux pluviales en surface, associée au réseau hydrologique existant ;
- Une trame verte (green structure), de développement de masses végétales si possible en continu afin d'établir des corridors écologiques en lien avec la trame bleue, et de contribuer au confort urbain (protection aux vents dominants, ombrage et puits de fraîcheur)
- Une trame grise (grey structure) si possible perméable (au moins en partie) pour les déplacements (piétons et vélos en priorité) ;
- Une trame rouge (celle des bâtiments), représentant le développement de l'îlot de chaleur qu'il convient de réduire.

Déplacements et circulations douces

ENJEUX PRINCIPAUX

- Optimiser la mobilité dans le quartier
- Favoriser les déplacements doux
- Réduire la place de l'automobile

EXIGENCES

• Favoriser les déplacements des cyclistes

- Hiérarchiser les voies pour faciliter la circulation des cyclistes
- Assurer la continuité des déplacements doux et les connecter aux pistes cyclables environnantes et aux stations de TC (intermodalité)
- Sécuriser les itinéraires « verts » pour faciliter l'accessibilité et les déplacements pour tous
- Prévoir des stationnements vélos sécurisés sur l'espace public

• Favoriser les déplacements des piétons

- Réaliser un schéma de circulation piétonne en prenant en compte les traversées d'îlot, les liaisons entre les secteurs et avec le reste de la Ville, l'accès aux équipements publics (en particulier les établissements scolaires), l'accès aux services et commerces de proximité, aux espaces verts, ...
- Diversifier les accès aux îlots pour que les piétons puissent choisir les trajets les plus courts et les plus agréables depuis les stations de transport en commun
- Prévoir des traitements perméables pour les voies piétonnes tout en étant roulantes,
- Végétaliser les espaces piétons et prévoir un mobilier urbain suffisant (bancs, poubelles,...)

• Réduire la place de l'automobile

- Automobile = forte occupation de l'espace public, pollution, bruit, émissions de CO2 (fuel = fort contenu en carbone)
- Climatisation des véhicules = contribution à l'effet de serre
- Bruit, pollution = limites d'application de la ventilation naturelle des bâtiments urbains



Photo 4 - Partage de l'espace public entre les différents modes : taxis, trois roues motorisés, triporteur, piétons, etc. (Pondichéry)



Photo 5 - Véhicules électriques (Pondichéry)

Les interactions entre les quatre trames peuvent faciliter le fonctionnement de l'écosystème urbain, notamment en maximisant ses capacités régénératrices de réduction des émissions et d'amélioration de la qualité de l'air et de l'eau, en complément des nécessaires interventions à la source des nuisances. Un plan d'aménagement doit tenir compte des limites de l'écosystème urbain dans cette fonction réparatrice, par une implantation raisonnée des activités polluantes, et par une affectation appropriée des différentes parties du territoire (maintien d'une activité agricole, réserves naturelles, urbanisation, etc.). Cette fonction revient aux documents d'urbanisme, de type SCOT et PLU en France (Schémas de cohérence territoriale à l'échelle de l'aménagement, et Plans locaux d'Urbanisme à l'échelle des communes), instruments indispensables pour définir la localisation et l'implantation des zones à urbaniser, ainsi que pour édicter les règles d'aménagement durable.

En particulier, il convient d'établir une relation entre la qualité environnementale des zones (vent, bruit, accès, etc.) et la destination des bâtiments (locaux scolaires et secteur résidentiel dans les zones plus favorables, par exemple). Le souci de sélectionner les terrains bien ventilés pour la majorité des bâtiments publics permet d'envisager une limitation du recours à la climatisation.

.V.3. Maximisation Method for Sustainable Urban Design

Une méthode de conception élaborée aux Pays-Bas¹⁴ peut être transposée aux climats tropicaux. Il s'agit d'une démarche passant de l'analyse au concept à partir de plusieurs thèmes structurants :

- Le paysage
- Le sol et la nature
- L'eau
- Les déplacements
- L'énergie
- L'archéologie (aspect du patrimoine culturel).

Chaque thématique, située en plan, est confrontée pas à pas avec les autres thématiques.

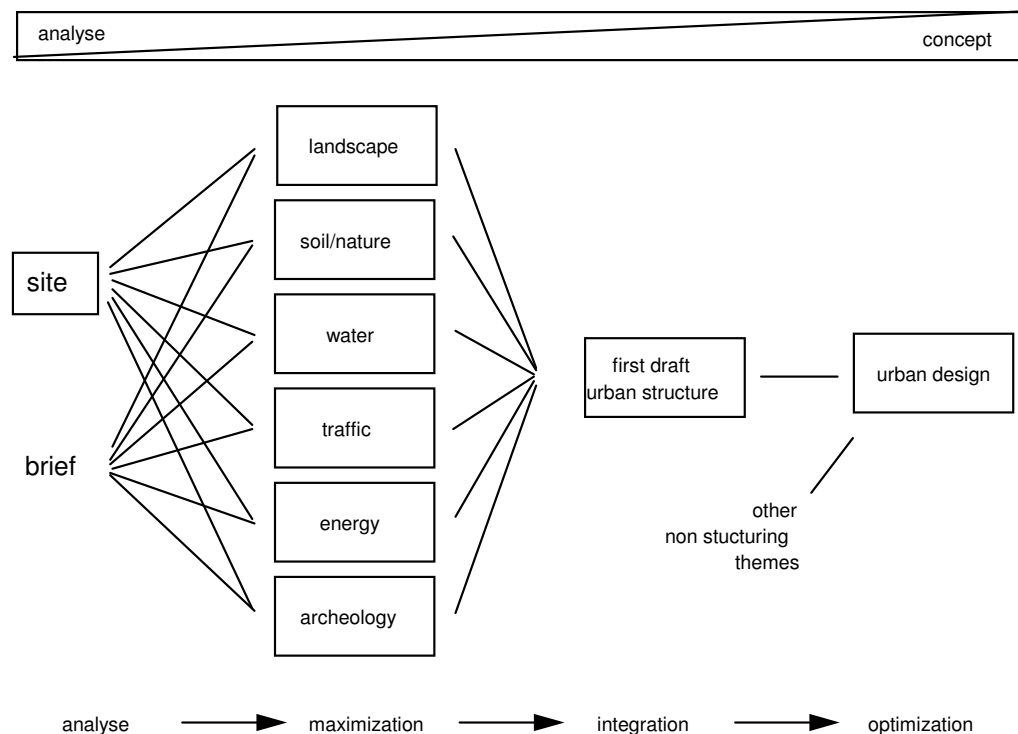
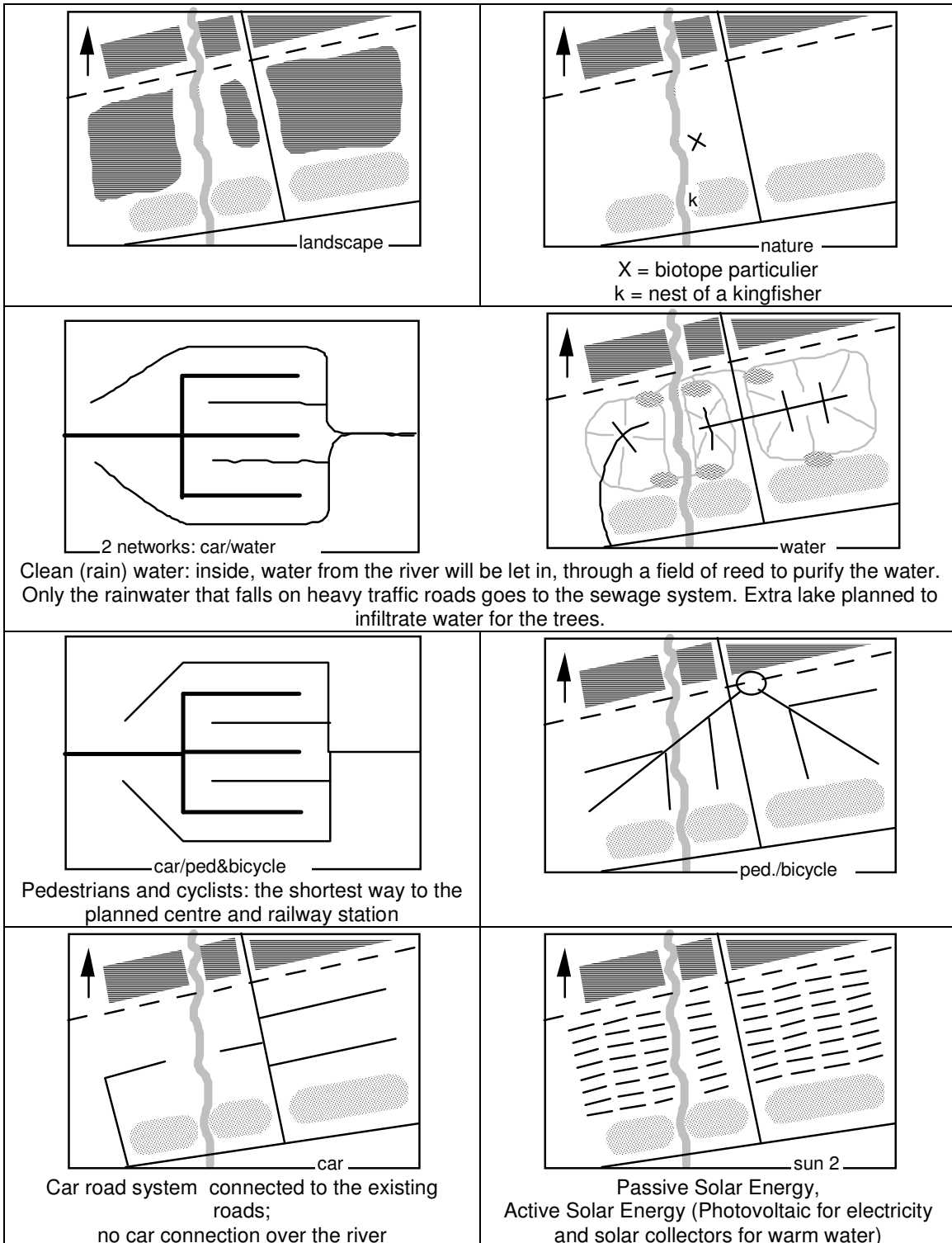


Figure 7 – Démarche de développement urbain durable

¹⁴ Cf. Kees Duijvestein, "The environmental maximization method" in de Jong, T.M. en van der Voordt: "Ways to study and research urban, architectural and technical design" DUP Science Delft 2002.



.V.4. L'effet d'îlot de chaleur

Une des caractéristiques principales de l'environnement urbain, en relation avec les flux d'énergie relève de l'îlot de chaleur urbain. En effet, la relation étroite établie entre l'urbanisation et l'environnement physique se traduit sous une forme négative, d'une modification excessive du climat urbain. On peut citer comme causes principales :

- La forte concentration d'activités consommatrices d'énergie finalement transformée en chaleur (chaleur produite par la ville, ses bâtiments, ses activités industrielles et la circulation automobile) ;
- La capacité thermique accrue des structures urbaines, qui offrent de surcroît une faible réflexivité au rayonnement solaire (surfaces artificielles, revêtements de voirie et toitures en particulier de couleur sombre) ;
- La raréfaction des masses végétales et la réduction des surfaces d'évaporation qui permettraient de tempérer l'air des zones chaudes ;
- L'augmentation de l'effet de serre local par l'atmosphère urbaine polluée.

Certaines formes urbaines piègent plus fortement le rayonnement solaire (exemple de « l'effet canyon »), aggravant les effets des autres phénomènes par une moins bonne capacité à évacuer la chaleur par rayonnement infrarouge. L'effet d'inertie thermique des structures urbaines tend ainsi à réduire le rafraîchissement associé à la période nocturne, alors que c'est la période de récupération de l'organisme, soumis au stress thermique au cours de la journée. Cette question est d'autant plus importante en zone tropicale humide, lorsque la ventilation naturelle, qui est déjà de nature très locale le jour, devient moins active en période nocturne. Ainsi, la question de l'îlot de chaleur implique de mettre en œuvre une double stratégie d'aménagement, notamment en regard du risque d'inconfort nocturne, de prévenir l'accumulation de chaleur en zone urbaine et de faciliter la circulation des masses d'air.

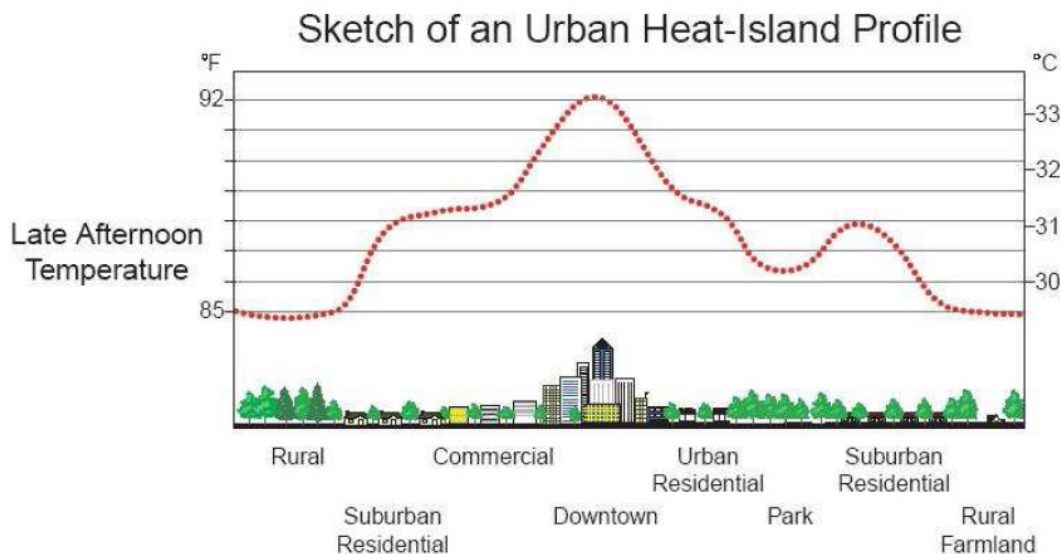


Figure 8 – Représentation d'un profil de température d'îlot thermique urbain en été
(Source : Heat Island Group)

La formation de l'îlot de chaleur est au centre de boucles de rétroaction négatives, qui l'amplifient :

- en effet, les températures élevées ainsi que les nuisances (mauvaise qualité de l'air, bruit) due en particulier à la circulation routière, renforcent le recours à la climatisation des immeubles urbains,
- la climatisation généralisée contribue à accroître le phénomène localement par dégagement de chaleur des unités extérieures dans l'espace public,
- les émissions de CO₂ et de gaz fluorés concourent à leur tour au réchauffement climatique à grande échelle, rendant plus difficile le maintien des solutions naturelles de climatisation.

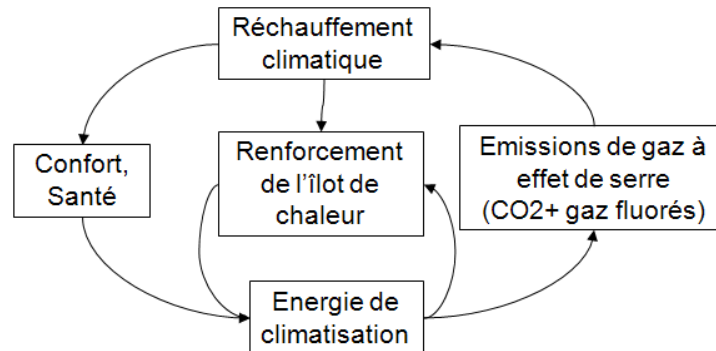


Figure 9 – Principe de formation d'un îlot thermique urbain en été

Un exemple à méditer est la réponse au climat de l'urbanisme traditionnel en zone désertique :

- Les maisons se serrent les unes contre les autres
- Elles s'élèvent en cercles concentriques
- Chaque maison est fortement protégée du rayonnement solaire et du vent par les autres.

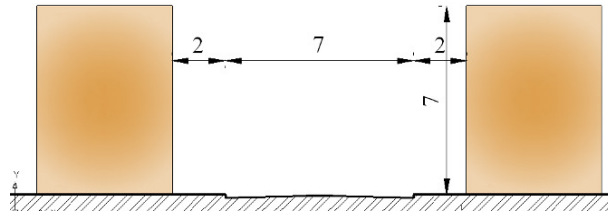


Figure 10 – Exemple de structure radioconcentrique (Ghardaïa)

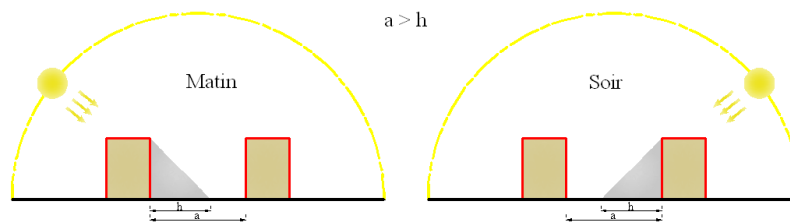
- les rues sont étroites, protégées de fait des aléas climatiques (vent soleil)
- la hauteur des bâtiments est uniforme
- la mitoyenneté est recherchée sur trois cotés

L'ouverture au modernisme entraîne une évolution sur plusieurs aspects :

- La densité de l'aménagement est beaucoup plus faible avec des rues de 6 à 7 m et des hauteurs des maisons de 7 m (en zone urbaine étalée)



- le plan orthogonal impose une orientation aléatoire des façades
- La mitoyenneté des bâtiments selon la position d'implantation passe de 1 à 2, voire à zéro pour les villas.



.V.5. Les deux niveaux de réponse : trames vertes et abords des bâtiments

Les espaces verts urbains peuvent limiter l'ampleur de l'îlot de chaleur. En complément, ils produisent de l'oxygène et absorbent le gaz carbonique, améliorant la qualité de l'air, ils régulent l'absorption des eaux pluviales et constituent un habitat pour la faune urbaine.

Pour les bâtiments et leur environnement immédiat, quelques questions deviendraient plus critiques, notamment celles du confort thermique, de la climatisation et de la gestion des eaux pluviales (rétention des eaux d'orage, stockage éventuel en réponse aux périodes de pénurie).

Il faut également tenir compte de la force accrue des événements climatiques extrêmes, ouragans, tempêtes, cyclones, qui peuvent introduire des solutions constructives particulières afin de limiter la prise au vents des éléments de protection climatiques (types de toitures, auvents et protections solaires, dispositifs de ventilation naturelles, etc.).

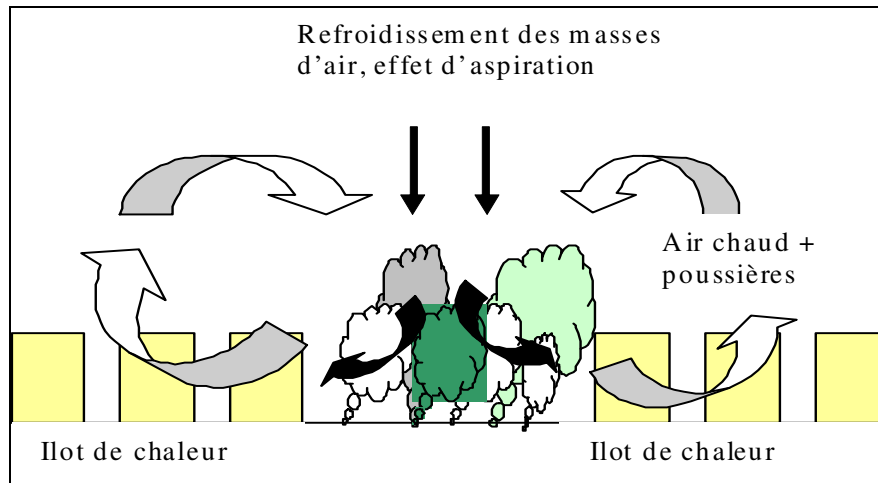


Figure 11 – La lutte contre l'îlot de chaleur urbain

Végétation = hydratation et refroidissement des masses d'air

Boucles de respiration de la ville : mouvement ascendant des masses d'air chaud, effet d'aspiration par les masses d'air refroidies, se propageant à la verticale de la végétation

En site urbain, il conviendra également de lutter contre l'ampleur de l'îlot de chaleur, en augmentant les surfaces d'évaporation des sols et des toitures, ainsi que les masses végétales, en privilégiant les revêtements clairs pour les voiries et les toitures, tout en maîtrisant les risques d'éblouissement, en portant une attention particulière à la géométrie des rues et en écartant les configurations de la rue canyon, qui piège le rayonnement solaire et diminue l'évacuation de la chaleur des parois verticales par rayonnement infrarouge.

Effet îlot de chaleur

ENJEUX

- Développer la place du végétal dans la ville sous forme d'espaces verts continus (écosystèmes, maintien de la biodiversité)
- Limiter l'effet d'îlot de chaleur, dans un contexte de réchauffement climatique
- Assurer la gestion et l'entretien des espaces extérieurs
- Préserver la ressource en eau

EXIGENCES

• Concevoir une trame verte

- Développer les plantations le long des voies et des cheminements sous forme d'une trame verte structurée
- Prévoir un maximum de plantations en pleine terre

• Limiter l'effet d'îlot de chaleur

- Favoriser la perméabilité des surfaces extérieures (coefficient d'imperméabilisation inférieur à 40%)
- Végétaliser les toitures
- Choisir des espèces végétales en fonction de l'exposition au soleil et des besoins de lumière naturelle des espaces extérieurs et des locaux adjacents
- Valoriser l'effet régulateur des arbres à haute tige qui apportent ombre et fraîcheur en été.

• Choisir des espèces végétales adaptées au site

Choisir des espèces robustes, ne nécessitant ni traitements phytosanitaires ni engrais, peu consommatrices d'eau en climat sec, éventuellement associées aux noues de gestion des eaux pluviales.

• Limiter les débits de fuite

- Stockage de l'eau de pluie dans des dispositifs de rétention et d'infiltration traités en bassin d'agrément (hors risques de développements de parasites) ou en réservoir permettant l'arrosage et le nettoyage
- Limitation des débits de fuite (de 2 l/s/ha dans les réseaux à 10 l/s/ha en milieu naturel)



Photo 6 - Projet d'aménagement du parc Bharati, Pondichéry (accès interdit aux véhicules motorisés)

La végétalisation au sol des abords immédiats des bâtiments est intéressante en raison d'un faible albédo, et de sa contribution au rafraîchissement de l'air par évapotranspiration. Cependant, une végétalisation excessive peut contribuer à maintenir un niveau d'humidité trop élevé en milieu équatorial : il conviendrait alors d'associer des surface drainantes au droit des façades (par une bande de gravier, là où le ruissellement est important), et de la végétation haute. La minéralisation relative des abords (et non l'étanchéification) et leur exposition partielle à l'ensoleillement permet une élimination rapide de l'humidité dans l'environnement immédiat du bâtiment (solution jugée plus économique en entretien). Compte tenu des problèmes de santé posés par les moustiques et leurs parasites, ainsi que des risques liés aux termites, il faut éviter la stagnation de l'eau au voisinage du bâtiment.

.VI. Les démarches applicables

L'AEU est une méthode développée par l'ADEME depuis 1996 qui permet d'intégrer les préoccupations environnementales et énergétiques dans les projets de planification territoriale et d'urbanisme opérationnel.

L'AEU repose sur une analyse globale du territoire, organisée autour de différentes thématiques :

- l'énergie,
- le climat,
- les déplacements,
- le bruit,
- les sites et sols pollués,
- la biodiversité et le paysage,
- les déchets,
- l'eau et l'assainissement.

Elle se compose tout d'abord d'un diagnostic pluridisciplinaire puis de préconisations permettant de répondre aux objectifs du projet tout en tenant compte des potentialités et contraintes du site. La méthode constitue un bon outil d'aide à la décision et permet de bien identifier les différents enjeux avant de se prononcer sur un futur projet d'aménagement.

.VII. Outils d'évaluation à l'échelle urbaine et territoriale

.VII.1. Bilan Carbone™ : la mesure de la décarbonisation

Une mesure du mode d'urbanisation, relatif aux enjeux du changement climatique et à la lutte contre l'effet de serre, consiste à relever les performances des différentes formes urbaines en émissions de carbone. La mesure essentielle de décarbonisation de nos sociétés modernes consiste à limiter la consommation des énergies fossiles à fort contenu en carbone (charbon, fuel, gaz), au profit d'énergies plus « propres » (bois-énergie, solaire, éolien...) et surtout à la faveur d'une augmentation rapide de l'efficacité énergétique des structures et infrastructures (le bâtiment et ses équipements énergétiques, les transports et leur motorisation).

Le module de la méthode Bilan Carbone™ de l'ADEME adaptée aux collectivités territoriales évalue les émissions de GES, directes et indirectes, générées par les activités présentes sur le territoire, concernant les habitants, les entreprises, les administrations.

Les secteurs d'activités concernés sont l'industrie, le tertiaire, le résidentiel, l'agriculture et la pêche, le transport. Dans le cadre du transport, sont prises en compte les émissions directes générées sur le territoire (exemple des émissions liées au déplacement des marchandises sur le territoire), ainsi que les émissions indirectes générées en dehors du territoire (exemple des transports hors territoire et nécessaires à son approvisionnement). Les résultats obtenus permettent d'identifier des actions relatives à l'organisation des activités sur le territoire étudié : relocalisation de filière de production, organisation des modes d'échanges, aménagement du territoire.

Le Bilan Carbone™ de la ville de Bourges¹⁵ a permis de définir les postes les plus émetteurs en termes de rejets de gaz à effet de serre. Au niveau du patrimoine géré par la collectivité, il s'agit de la consommation d'énergie fossile pour le chauffage des bâtiments municipaux (57%, en raison de la présence d'un parc de chaudières particulièrement ancien. Au niveau du territoire, il s'agit du déplacement des personnes et des marchandises hors transports en commun (47%) puis de la consommation énergétique du résidentiel et du tertiaire (30%). Pour la ville de Roubaix et du patrimoine géré par la collectivité, la consommation énergétique des bâtiments municipaux représente 89% du bilan (79% des émissions liée à la consommation énergétique des bâtiments municipaux étant dévolus au chauffage) ; l'enjeu énergétique réside donc dans la réduction des consommations par l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments et des unités de production de chauffage. Au niveau du territoire roubaisien, les postes les plus émetteurs sont les matériaux entrants (45% des rejets) et le déplacement des personnes et des marchandises hors transports en commun (39%). Le Bilan Carbone™ du Grand Chalon et du patrimoine géré par la collectivité, la construction des bâtiments et de l'entretien de la voirie occupe le premier rang avec 67% ; au niveau du territoire de l'agglomération, il s'agit des déplacements et des transports de marchandises (59%). L'énergie consommée par les bâtiments résidentiels et tertiaires représente le deuxième poste d'émission de gaz à effet de serre (12%), suivi par les procédés industriels mis en œuvre sur le territoire (11%).

.VII.2. SB Tool (Sustainable Building Tool)

SBTool résulte d'une initiative canadienne de 1996, tournée vers l'international (International Initiative for a Sustainable Built Environment, iISBE). La méthode est fondée sur un tableur composé de 3 modules :

- SBT07-A : définition du contexte et des pondérations propres au projet.
- SBT07-B : informations sur le site et les caractéristiques du projet.
- SBT07-C : auto-évaluations basées sur les données rentrées en A et B.

¹⁵ Cf. <http://www2.ademe.fr/>

Les thèmes abordés comprennent l'échelle urbaine (en A et B principalement)¹⁶ :

A-Sélection du site, organisation du projet et développement

B-Energie et consommation des ressources

C-Impacts environnementaux

D-Qualité environnementale intérieure

E-Qualité des services

F-Aspects socio-économiques

G-Aspects culturels et perceptuels

Le thème A (Sélection du site, organisation du projet, design urbain et développement du site), comporte une liste d'exigences relatives à l'emplacement et à l'aménagement du site telles que :

- la proximité de lignes de transports en commun (A1.6) et la prise en compte des déplacements générés (A1.7, 8 et 9)
- la priorité donnée aux modes de déplacements doux (A3.3, 4 et 5)
- le respect des densités de développement et de diversité fonctionnelle (A3.1 et 2)
- le choix d'un emplacement approprié pour le bâtiment, si possible en réutilisant des sites déjà artificialisés et éventuellement contaminés (à réaménager, A1.5)
- l'éventuel maintien d'une activité de type agriculture urbaine (A1.2)
- la possibilité de solutions alternatives de gestion de l'eau (A2.4) et de ressources d'énergies renouvelables (A2.1 et 9)
- la contribution de la végétation au confort des espaces extérieurs (A3.8)

¹⁶ Cf. l'analyse réalisée par EnviroBAT Méditerranée en 2007 (<http://www.envirobat-med.net/Analyse-de-SBTool-Canada>)

A Site Selection, Project Planning and Development	
A1 Site Selection	
A1.1	Pre-development ecological value or sensitivity of land.
A1.2	Pre-development agricultural value of land.
A1.3	Vulnerability of land to flooding.
A1.4	Potential for development to contaminate nearby bodies of water.
A1.5	Pre-development contamination status of land.
A1.6	Proximity of site to public transportation.
A1.7	Distance between site and centres of employment or residential occupancies.
A1.8	Proximity to commercial and cultural facilities.
A1.9	Proximity to public recreation and facilities.
A2 Project Planning	
A2.1	Feasibility of use of renewables.
A2.2	Use of Integrated Design Process.
A2.3	Potential environmental impact of development or re-development.
A2.4	Provision of surface water management system.
A2.5	Availability of potable water treatment system.
A2.6	Availability of a split grey / potable water system.
A2.7	Collection and recycling of solid wastes in the community or project.
A2.8	Composting and re-use of sludge in the community or project.
A2.9	Site orientation to maximize passive solar potential.
A3 Urban Design and Site Development	
A3.1	Development density.
A3.2	Provision of mixed uses within the project.
A3.3	Encouragement of walking.
A3.4	Support for bicycle use.
A3.5	Policies governing use of private vehicles.
A3.6	Provision of project green space.
A3.7	Use of native plantings.
A3.8	Provision of trees with shading potential.
A3.9	Development or maintenance of wildlife corridors.

Le système offre un cadre de notation à partir d'une boîte à outil, et devient un système de crédits seulement lorsque l'utilisateur le calibre pour la région d'application, en pondérant les différents critères. La méthode, modulaire, est considérée comme flexible, permettant d'intégrer des données de référence en fonction des valeurs régionales, et pouvant ainsi s'appliquer à une échelle locale.

.VIII. Les outils d'aide opérationnels

.VIII.1. Plans de masse et ensoleillement (exemple, Ecotect)

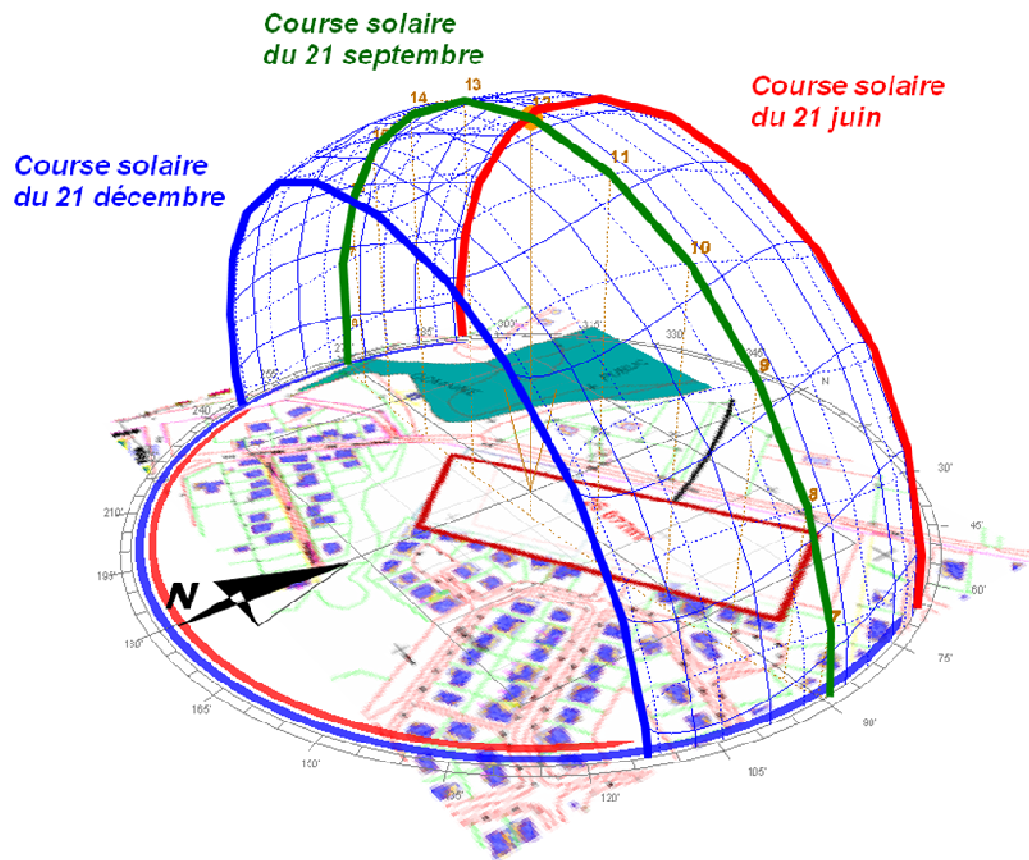


Figure 12 – Plan d'urbanisme et Diagramme solaire 3D

Confort des espaces extérieurs, effets aérodynamiques et ensoleillement

ENJEUX

- l'amélioration de la qualité de l'air
- la contribution à la production du confort des usagers.

En climat tropical humide, il convient également de favoriser la ventilation des structures des bâtiments, par un tracé de voies le plus favorable. L'orientation des bâtiments devra également tenir compte de la course du soleil, en minimisant les façades orientées à l'est et à l'ouest

EXIGENCES

• **Limitier les effets négatifs du vent**

- Favoriser la circulation de l'air au moyen des espaces verts, pour assurer la dispersion des polluants et l'aération des structures des bâtiments en climat humide.
- Assurer la protection aux vents dominants (vents cycloniques):
- Estimer les effets du vent dans les espaces extérieurs
- Prévoir des dispositifs de protection (brise vent) et atténuer les effets aérodynamiques produits par les gabarits des bâtiments (effet de vrille, de rouleau, angles, ...) par des masses végétales et des marquises
- Programmer les usages des espaces publics (jardins, promenade, lieu de repos...) en fonction des effets du vent et des dispositifs de protection possible.

• **Optimiser les conditions d'ensoleillement**

Prendre en considération les effets d'ombre portée par les bâtiments pour le confort des espaces extérieurs.

• **Se protéger des nuisances**

- Nuisances sonores :
- Traiter les nuisances et les ambiances acoustiques en fonction de l'usage recherché des espaces publics
- Choisir des revêtements avec de bonnes performances acoustiques
- Préserver les espaces publics des nuisances sonores dues au transport
- Nuisances visuelles et olfactives :
- Organiser l'environnement immédiat des émergences (ventilations, désenfumage, Points d'Apports Volontaires des déchets...) pour limiter les nuisances et l'effet éventuel du vent

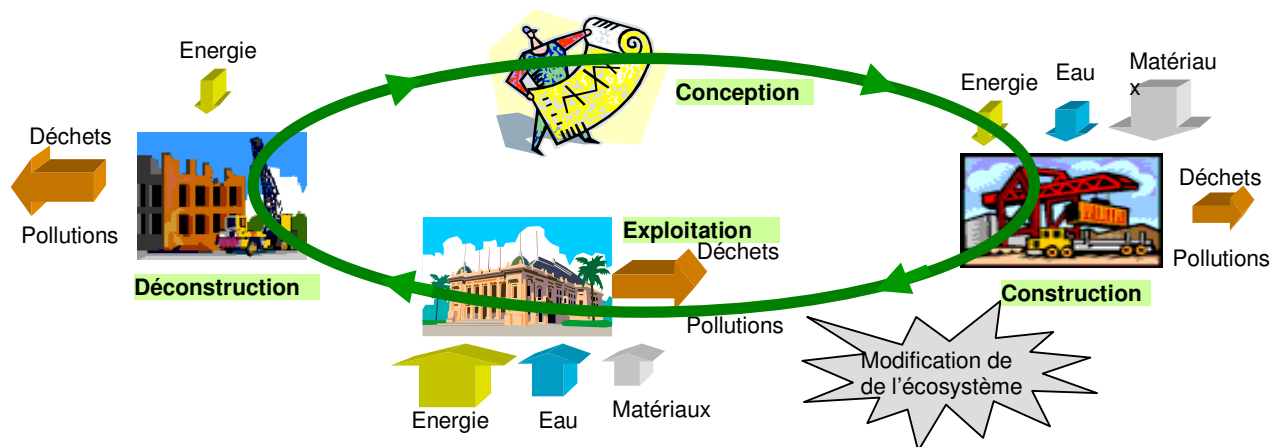
**PARTIE 3 : PRESRIRE - QUELS NIVEAUX
D'EXIGENCES POUR UN BATIMENT « DURABLE » ?**

.I. Le management de la qualité environnementale

La démarche qualité environnementale dans un bâtiment vise à concrétiser le concept de développement durable appliqué à un projet de construction. Elle ne vise pas à se substituer ou à se superposer aux pratiques actuelles mais plutôt ancrer la notion d'environnement au centre de la démarche conception d'un projet.

Un bâtiment conçu, réalisé et géré selon une démarche de qualité environnementale est un bâtiment qui possède toutes les qualités habituelles d'un bâtiment (d'architecture, de fonctionnalité, d'usage, de performance technique...), mais dans des conditions telles que **les impacts** sur l'environnement sont durablement minimisés à toutes les échelles spatiales (espaces intérieurs / parcelle et ses abords immédiats / régionale / nationale / planétaire), et sur son cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières qui ont servi à sa fabrication jusqu'à sa démolition.

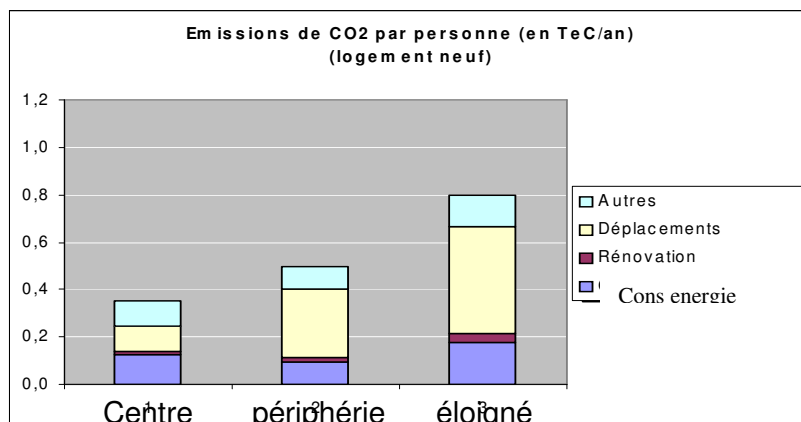
Cette démarche se concentre essentiellement sur les aspects environnementaux encore peu intégrés dans l'acte de concevoir ou de construire, afin d'inviter l'ensemble des acteurs concernés à renouveler leurs pratiques, approfondir leur réflexion, rechercher et expliciter les réponses plus respectueuses de l'environnement.



.I.1. Quel stade prendre en compte la démarche environnementale ?

La réponse est simple : le plus en amont possible. Les enjeux environnementaux, au stade de l'aménagement urbain sont très sensibles et pèsent d'un point considérable sur les impacts environnementaux (voir partie II) :

- par le couplage des problématiques transports / Bâtiments. Dans le choix d'un site d'implantation, le critère prépondérant est souvent le transport. L'allongement des distances travail / maison et l'absence de desserte par transport collectif sont des tendances qu'il faut autant que possible combattre



- Par la localisation et implantation des zones urbanisées. Il faut veiller à la concordance entre la qualité des zones (vent, bruit, accès, etc.) et destination des bâtiments (locaux scolaires et secteur résidentiel dans les zones plus favorables, par exemple). Les terrains bien ventilés doivent être réservés aux maîtres d'ouvrages s'engageant à limiter le recours à la climatisation. Le relief et l'orientation des voies de dessertes sont deux paramètres structurant de l'aménagement d'une zone. La lutte contre le îlot de cycle de chaleur urbain par la végétalisation doit être une priorité dans l'aménagement des parcelles.
- L'extension des réseaux. Une démarche de sobriété doit prévaloir s'agissant de l'aménagement de nouvelles zones. Une faible sollicitation des réseaux permet d'éviter ou de différer des coûts à la collectivité.

.I.2. Comment aborder l'organisation générale d'une opération environnementale ?

Dans le fonctionnement général de toute organisation comme celle d'une maîtrise d'ouvrage, plusieurs strates décisionnelles interviennent. Cependant, lorsque l'on s'intéresse à la dimension environnementale dans les constructions, deux échelles sont particulièrement importantes :

- 1) l'échelle de la direction où l'on fixe les orientations générales et les moyens organisationnels, humains et financiers pour atteindre les objectifs fixés en matière environnementale.
- 2) l'échelle du projet où l'on décline et traduit en pratique les objectifs environnementaux dans le cadre fixé par la direction.

En terme d'organisation, le référentiel de l'association HQE intègre un système de management d'opération qui dans le cadre de maître d'ouvrage non professionnel ou occasionnel suffit totalement pour accompagner 1) et 2).

Pour des maîtres d'ouvrage professionnels, la méthode d'organisation de la démarche HQE est insuffisante. La prise en compte de la dimension environnementale doit se traduire dans l'organisation et le fonctionnement propre de l'institution et s'inscrire dans une politique environnementale

Des outils comme les agendas 21 ou la norme iso 14 001 peuvent aider les maîtres d'ouvrages professionnels à fixer les contours d'une politique environnementale. Quelque soit la méthode, l'objectif est de mobiliser le personnel et l'impliquer autour d'objectifs fixés en commun. La concertation avec tous les acteurs est le moyen le plus pertinent pour impulser la démarche. Seule une réelle appropriation de la démarche à tous les échelons permettra d'initier un cycle vertueux d'amélioration continue des aspects environnementaux.

La mise en place d'une organisation cohérente à tous les niveaux nécessite de faire un repérage des démarches et procédures à mettre en place et des besoins d'outils structurants. Les deux tableaux qui suivent donnent des pistes de réflexions sur des chantiers éventuels à engager pour faciliter l'intégration de l'environnement à tous les échelons. Ces tableaux n'ont pas la prétention de lister l'ensemble des tâches à effectuer mais les rubriques sur lesquelles les BE HQE peuvent apporter leur contribution dans la mise en route de la démarche environnementale et répondre aux questionnements de la maîtrise d'ouvrage.

Questionnement du maître d'ouvrage	Élément de Réponse à apporter pour construire le système d'organisation environnemental du projet
Comment définir les objectifs environnementaux.	– Etablir une déclaration environnementale – Définir le profil environnemental en fonction du contexte du site et des fonctionnalités
Comment traduire précisément les exigences environnementales	– Etablir un programme environnemental existentiel – Se faire éventuellement assister par une assistance à maîtrise d'ouvrage
Comment m'organiser pour mobiliser les différents intervenants	– Structurer les intervenants pour responsabiliser chaque groupe – S'assurer des compétences pour répondre aux objectifs – Communiquer pour informer l'ensemble des intervenants sur le volet environnement
Comment suivre le projet à toutes les phases pour s'assurer de l'atteinte des objectifs environnementaux	– Etablir des Revues de programme à chaque phase – Evaluer périodiquement de la qualité environnementale et – exiger à l'appui les études nécessaires – Envisager des actions correctives le cas échéant
Comment pérenniser la performance environnementale de l'opération	– Exiger la documentation la plus exhaustive possible à la livraison du bâtiment – Etablir un bilan après une période de fonctionnement (2ans)

.I.3. Etablir un profil environnemental

.I.3.1. Croiser l'ensemble des problématiques

La dimension environnementale d'un projet est d'abord une construction visant à limiter autant que possible la pression sur l'environnement à toutes les étapes de vie du bâtiment. Le maître d'ouvrage doit demander aux équipes de construire leur projet autour d'un traitement différencié des cibles environnementales dans les soucis d'une cohérence d'ensemble prenant en compte l'interactivité des cibles entre elles.

La plupart des méthodologies hiérarchise les cibles en fonction de trois niveaux de traitement :

- Normal : niveau réglementaire ou suivant les pratiques courantes tolérées
- Performant : le traitement et la recherche de propositions originales sont vivement encouragés.
- Très performant : cibles incontournables à traiter obligatoirement de façon détaillée et approfondie aboutissant à des résultats remarquables.

Cette hiérarchisation s'appuie sur le croisement entre :

- les attentes et objectifs du maître d'ouvrage et des futurs usagers
- les contraintes et potentiel du site d'implantation issu d'une analyse détaillée du futur lieu d'implantation

Cette superposition des problématiques induit nécessairement l'établissement compromis, entre les besoins du programme fonctionnel et technique et les attentes du maître d'ouvrage, des futurs usagers et exploitant du site.

- l'évaluation des coûts d'investissement et de fonctionnement par une approche en coût global

.I.3.2. Les atouts et contraintes du site

Les contraintes et les atouts du site vont être déterminants dans l'établissement du profil environnemental. Il est nécessaire dans ce but de faire l'inventaire.

- **des nuisances existantes :**

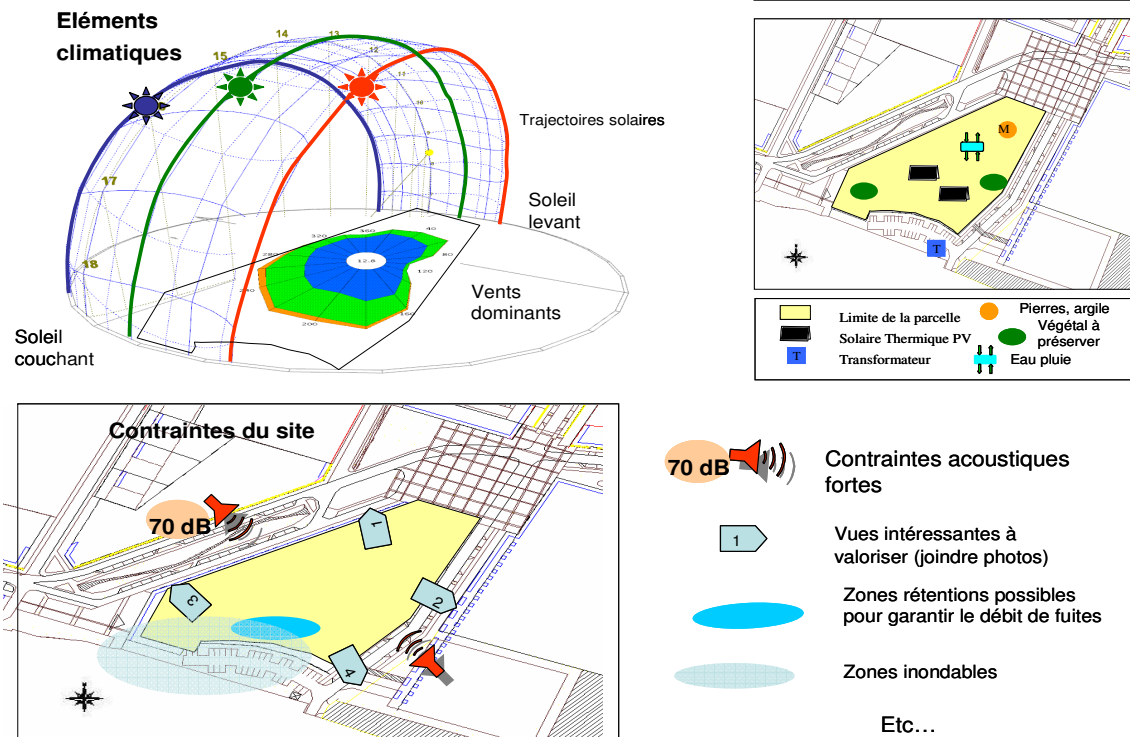
Bruit, pollution de l'air, champs électro magnétiques, eau.

- **potentiels du site**

- Orientation générale des bâtiments et du plan de masse vis à vis de la course solaire et la rose des vents
- Exploitation de la végétation et des masques existants pour créer de l'ombre sur les bâtiments
- Relief : minimiser les travaux de terrassement, réserver les zones les hautes pour les bâtiments climatisés naturellement...

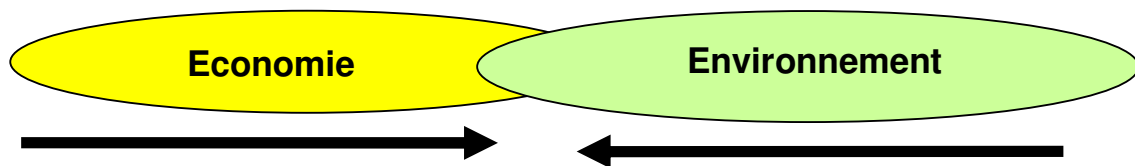
Une visualisation sur un plan de masse des atouts et contraintes du site permettra à la maîtrise d'ouvrage et aux concepteurs de mieux appréhender les enjeux : voir figure.

Atout et contraintes du site



.I.4. Se donner les moyens de ses ambitions

Sans forcément être innovantes, l'ensemble des solutions techniques mises en œuvre dans une opération doit conduire à une amélioration significative du niveau de la qualité environnementale. Ce niveau de prestations plus élevées nécessite en contrepartie non pas un surcoût mais un surinvestissement. Cette vision économique résulte du découplage actuel entre l'économie et la réalité de l'état environnemental de la planète.

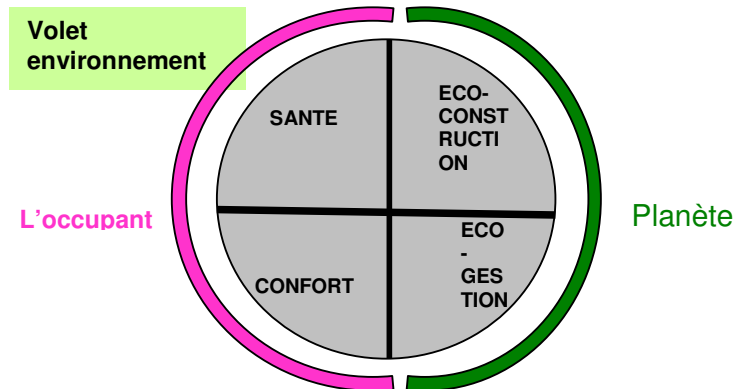


A terme, avec l'avènement d'un pétrole désormais cher, les deux concepts cesseront d'être ambivalents.

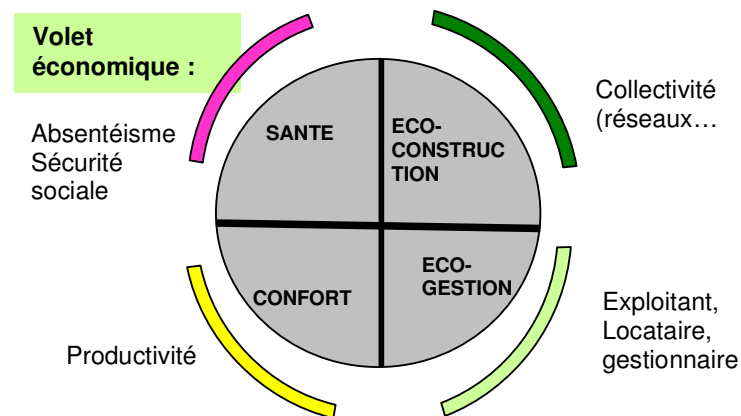
Pour surmonter la période transitoire (d'ici 2050), un raisonnement économique basé sur une approche en coût global permet de valoriser les investissements environnementaux d'aujourd'hui en terme de gains pour l'utilisateur, le gestionnaire, la collectivité et finalement la planète. L'investissement d'aujourd'hui donne pour tous une assurance pour l'avenir, une indépendance vis à vis de la conjoncture énergétique et une visibilité du long terme.

La difficulté de l'approche économique est qu'il n'y a pas forcément recoupement entre /

- les bénéficiaires physiques



- les bénéficiaires économiques



- les investisseurs économiques qui peuvent être différents de l'utilisateur, du gestionnaire, l'exploitant.

La démarche HQE est donc une démarche gagnante en coût global pourvu que l'on transcende les problèmes structurels liés aux différents bénéficiaires. L'état par le biais de :

- d'aide à l'investissement
- de crédit d'impôt et incitation fiscale
- par voie réglementaire

exerce une action correction pour surmonter le découplage entre l'économie / l'environnement, l'investisseur et le bénéficiaire.

En toute état de cause, en phase programme, il est nécessaire en fonction du profil environnemental de l'opération et de la localisation de surinvestissement par rapport aux pratiques courantes pour des opérations similaires de chiffrer l'impact économique des choix environnementaux retenus qu'il soit en base ou en variante.

.I.5. Enjeux économiques et environnementaux : La climatisation, une problématique centrale

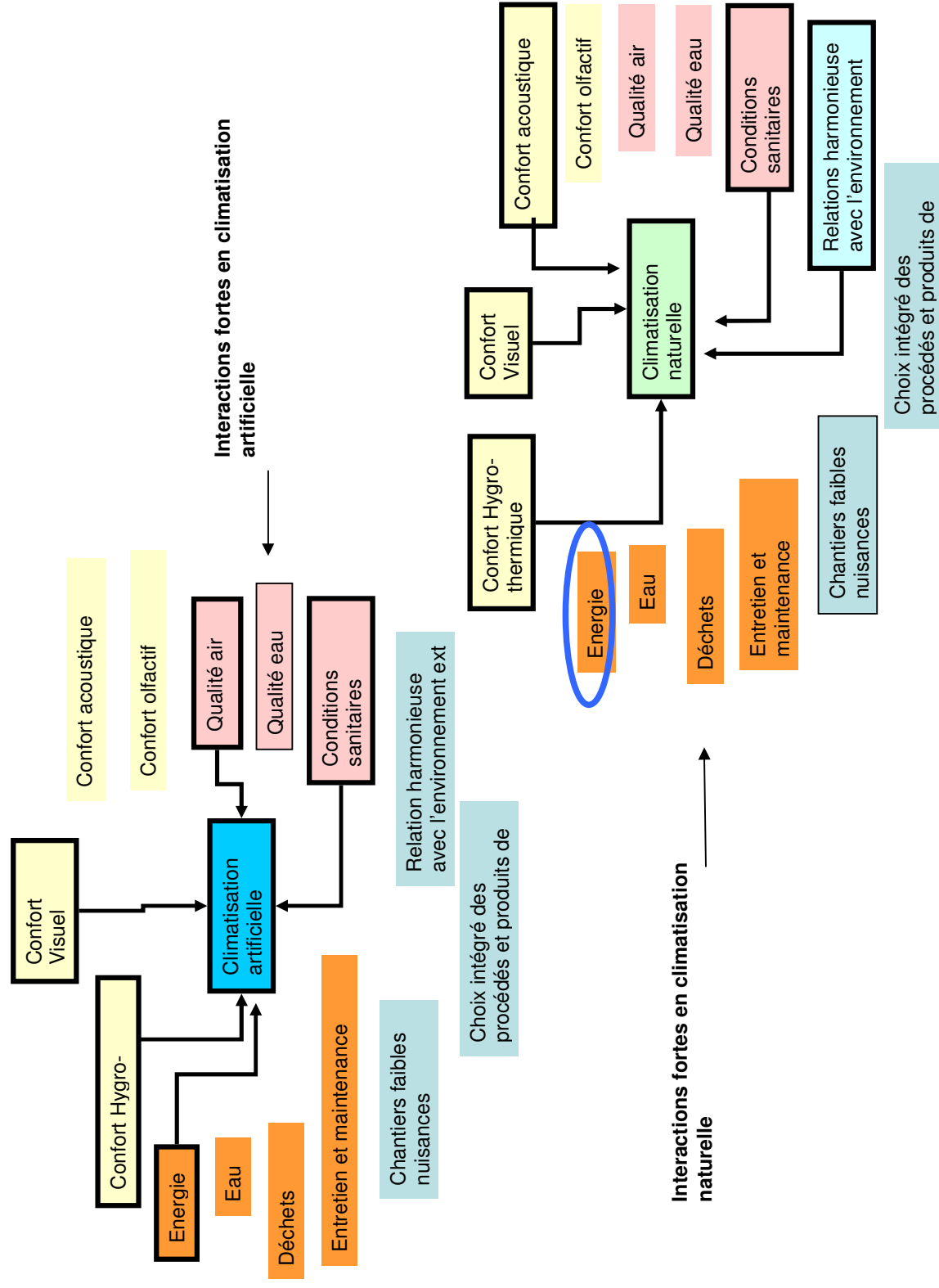
Les deux options structurantes en Climat tropical humide occupent une place centrale dans le bâtiment, sur un plan environnemental. Il s'agit du choix entre :

- la climatisation naturelle
- la climatisation artificielle

En climatisation naturelle, les thématiques liées au confort acoustique, hygrométrique et visuel sont étroitement liées. Les atouts du site orientations des voies, le relief, la nature du vent vont conditionner la possibilité de développer la ventilation traversante. Les conditions sanitaires sont une contrainte fondamentale pour gérer les moustiques et bien évacuer l'humidité.

En climatisation artificielle, le défi essentiel est celui de la réduction des coûts énergétiques (compromis protection solaire et confort visuel) et environnementaux. Le confinement des ambiances pose la question de la qualité d'air et de la nécessité d'une ventilation mécanique. A l'extérieure, le rejet de la chaleur doit veiller à la bonne intégration des unités extérieurs (bruit et intégration architecturale) et la qualité des espaces extérieurs (prévention de la légionnelle).

Ainsi, selon l'option choisie, l'interactivité des cibles va être de nature différente comme le montre le schéma qui suit.



.I.6. Mobiliser les acteurs autour des objectifs environnementaux

Pour impliquer fortement dans la démarche HQE de l'ensemble des acteurs, une organisation rigoureuse du travail de l'ensemble des acteurs est nécessaire. Cette organisation passe par l'élaboration d'un tableau de bord déroulant dans le temps le travail de l'équipe de maîtrise d'œuvre de façon à :

- Mobiliser les bonnes compétences au bon moment
- Etablir périodiquement des revues de programme et évaluer de la qualité environnement du projet
- Envisager des actions correctives au cours de la vie du projet.

L'organisation de l'ensemble de la documentation et la tenue d'un cahier environnemental sont nécessaires pour :

- synthétiser l'ensemble des aspects concernant la prise en compte de l'environnement dans le projet
- s'assurer de la traçabilité des choix dans le temps.

La partie suivante constitue un support de base pour la réalisation du cahier de suivi environnemental.

.II. Construire un programme environnemental

.II.1. Mode d'emploi de la grille d'exigences

.II.1.1. Objectifs de la grille

Cette grille a pour ambition de guider le Maître d'Ouvrage dans la traduction **des objectifs environnementaux d'un projet architectural et sa formulation en termes d'exigences**. Elle permet de constituer le fil conducteur du volet environnemental du projet (voir partie 3). Sa construction **doit permettre d'établir une hiérarchisation des préoccupations en se fondant sur les éléments qui ont un impact de premier ordre sur les enjeux environnementaux**, et en situant à leur juste place les problématiques secondaires. Pour y arriver, il est essentiel que le Maître d'Ouvrage mobilise les équipes de conception de façon à :

- les sensibiliser sur l'incidence des premiers « traits de crayon » sur les choix déterminants et quasiment irréversibles pesant sur le profil environnemental du projet.
- élargir leur réflexion et leur questionnement, en accordant une place centrale aux diverses problématiques environnementales;

.II.1.2. Structuration des thématiques

La grille méthodologique se compose de 5 thématiques regroupant 12 « sous-thématiques » :

- **1- Relation du bâtiment avec son environnement**
- **2- Confort**
 - Hygrothermique des ambiances intérieures et espaces extérieurs
 - Acoustique
 - Visuel
 - Olfactif
- **3- Gestion des flux**
 - Energie
 - Eau
 - Déchets
 - Entretien Maintenance
- **4-Eco-construction**
 - Matériaux et durabilité du bâti
 - Chantier
- **5-Santé**
 - Qualité de l'air et de l'eau
 - Conditions sanitaires

Cette structuration des thématiques reprend autant que faire se peut, pour des questions de cohérence, l'organisation du guide de l'ADEME « SIKODOM » pour la réhabilitation de bâtiments scolaires en Guyane, même si l'approche d'un programme neuf est sensiblement différente de celle d'un programme de réhabilitation sur certaines cibles.

.II.1.3. Mode d'emploi de la grille d'exigences

Pour chaque thématique, les enjeux liés au contexte tropical humide sont préalablement restitués. La grille proprement dite comporte quatre colonnes :

- Colonne 1 : elle indique, pour chaque cible, le titre du sous-thème étudié ;
- Colonne 2 : il y est dressé **une liste des points sur lequel la maîtrise d'ouvrage doit orienter sa réflexion**. A partir de ce questionnement, le maître d'ouvrage peut alors exprimer, en connaissance de cause, les exigences du programme environnemental ;
- Colonne 3 : elle indique **comment évaluer les réponses des équipes de conception**. On apporte ici une gamme d'indicateurs et un mode de justification argumentaire pour juger de la pertinence des réponses ;
- Colonne 4 : cette dernière colonne propose des références bibliographiques, annexes ou des fiches thématiques pour approfondir certains points.

Relation du bâtiment avec son environnement

Éléments contextuels

Contexte socio économique, secteur du bâtiment

- Population : démographique, offre de logements neufs, programme de construction scolaire, risque d'étalement urbain
- Demande de parcelles urbanisées : schéma directeur à caractère environnemental ?
- Demande en constructions neuves (imposant des délais très courts de construction pesant sur la qualité des bâtiments) ;
- Constructions existantes : nombreux mouvements de réaffectation entre logements et bureaux et important phénomène d'indivision ;

Contexte énergétique et environnemental

- Quelle dépendance croissante vis-à-vis des hydrocarbures importés et fort émetteurs de CO₂ et autres Gaz à Effet de Serre (GES), importance restreinte des moyens de production alternatifs (solaire, éolien).
- Croissance des consommations électriques liée en majorité à la forte démographie et à l'expansion de la climatisation considérée comme la panacée aux problèmes de chaleur

Contexte transport

- Plan de Déplacement Urbain ;
- Politique de transports en commun : un usage de la voiture (encombrements, bruit et pollution urbaine, impact environnemental à considérer) ;
- Disponibilité de pistes cyclables, limitation des zones de stationnement, covoiturage ;
- Transport en zones intérieures : liaison par avion ou pirogue. La contrainte transport est une donnée essentielle sur les choix de matériaux de construction pour leur disponibilité sur le site.

Contraintes dues aux éléments naturels

- Climatologie générale : forte humidité, relative faible vitesse du vent, a fortiori lorsque l'on s'éloigne de la mer et répartition inégale du potentiel de ventilation, conjugaison de fortes pluies et de rayonnement diffus important ;
- Agressivité du climat et de l'environnement : la salinité de l'air sur le littoral, les terres latéritiques, et le niveau élevé d'humidité, constituent un cocktail particulièrement agressif pour le bâti et pour les équipements comme les unités extérieures des installations de climatisation ;
- L'environnement végétal, la faune (moustiques, termites, chauves-souris, guêpes maçonnes...), les champignons cryptogamiques sont des éléments naturels qu'il faut prendre en compte pour préserver la santé des bâtiments et des humains (eg : mesures préventives pour juguler le développement de la dengue, ...).

Thématiques	Maîtrise d'Ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maîtrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Aménager dans l'optique d'un développement durable	Assurer un développement urbain durable : évaluer les besoins en énergie, assainissement, déchets, ressources en eau et services disponibles	Minimiser l'impact du projet en termes de contraintes pour la collectivité	
	Gérer les contraintes environnementales locales à travers l'aménagement de la parcelle par rapport : 1- au tissu urbain et à la voirie existante : entrées sorties (positionnement selon les orientations), gestion des flux pour favoriser les déplacements doux 2-dispositifs prévus pour réduire l'impact des nuisances sonores de l'environnement (routes, aéroport, zones d'activités...) et la création des protections acoustiques (relief, murs, massifs) 3-la prise en compte des incidences sur la santé en matière de nature du sol (pollutions éventuelles), risques d'inondations, pollutions de l'air et pollutions électromagnétiques (téléphonie, lignes électriques aériennes,...)	Tout d'abord donner une analyse et un schéma de principe des atouts et contraintes du site Donner une synthèse architecturale et environnementale et un plan d'aménagement annoté justifiant l'implantation des bâtiments (et en particulier les bâtiments ou zones climatisées artificiellement et ceux ou celles ventilées naturellement) et le traitement des aménagements extérieurs	
	Préserver la biodiversité et les éco-systèmes.	Assurer la continuité écologique et de présence végétale sur la parcelle, préparer une liste des plantes et arbustes locaux pressentis	
	Eléments végétaux à préserver (espèces rares ou jouant un rôle sur un plan climatique (ombre, fraîcheur, acoustique, coupe-vent,...) Prendre en compte les éléments climatiques pour assurer la durabilité des ouvrages : intégrer la contrainte de l'environnement dans le choix des matériaux selon les orientations,	Donner les dispositifs généraux de préventions vis-à-vis des effets conjugués : de l'ensoleillement, de la pluie chassante, du niveau d'humidité, des poussières latéritiques, des champignons cryptogamiques... Traiter les abords (éviter la stagnation d'humidité aux abords du bâtiment).	

Créer un cadre de vie extérieur agréable	Favoriser la qualité d'ambiances des espaces extérieurs pour les usagers à l'échelle de la parcelle par : - l'aménagement de zones ombragées et ventilées, - la réduction de l'éblouissement des usagers (albédo du sol, couleurs des toitures) - l'atténuation des contraintes sonores extérieures	Joindre un plan masse du site annoté visualisant : - la rose des vents, en distinguant les zones bien balayées par les vents dominants et les zones calmes (protection par le relief, les arbres de haute tige, les constructions voisines) - la valorisation des vues agréables, et des zones calmes (environnement sonore) - les zones ombrées aux heures les plus chaudes de la journée : impact du relief, bâtiments sur la parcelle, et bâtiments voisins, végétalisation). Effectuer une simulation des ombrages à l'échelle de la parcelle à 8h, 10h, 12h, 14h, 16h et 17h en mars, juin et décembre Voir la partie 1.4 du guide pour la formalisation des réponses sous forme de plan de masse annoté	
	Protéger de la pluie les cheminements et liaisons	Donner les dispositifs prévus pour protéger les cheminements : liaison entre bâtiments, coursives couvertes non exposées à la pluie (Est), accès au parking, local poubelle ...	
	Prévenir les gîtes larvaires (sites de nidifications de moustiques) occasionnant un risque de dengue	Donner les dispositifs prévus pour faciliter les écoulements d'eau et éviter les rétentions (toitures, chenaux, sols).	
	Améliorer la micro climatique au niveau de la parcelle et limiter ainsi le phénomène d'îlot de chaleur urbain.	Faire valoir les améliorations dues à la végétation et la limitation de l'imperméabilisation de la parcelle	
Limiter les impacts de l'ouvrage sur le voisinage	Impact sur le voisinage - Respecter le droit au soleil, à la lumière, aux vues de qualité du voisinage et au vent – Intégrer le projet dans un contexte architectural, urbain physique, social et culturel - Calme et santé : limiter l'impact de pollutions éventuelles dues aux activités - Se protéger mutuellement des rayonnements les plus gênants (Ouest) <i>Autres nuisances</i>	Etablir les diagrammes des ombres aux heures significatives à l'échelle du quartier Visualiser les vues masquées et celles dégagées pour le voisinage Indiquer les dispositifs adoptés pour respecter la tranquillité du voisinage Prévoir l'adoption d'une stratégie commune à l'échelle du quartier	
	<i>Gérer les déchets pour éviter tous risques sanitaires et inconfort olfactif</i> <i>Nuisances olfactives : diluer (et éventuellement traiter) et prévoir la trajectoire de l'air vicié sur le quartier</i>	Joindre un plan masse du site annoté visualisant la trajectoire des déchets, les sources potentielles de nuisance olfactive en complément de la direction des vents dominants	

Niveau de traitement de la cible « relation du bâtiment avec l'environnement » et interaction avec les autres thèmes

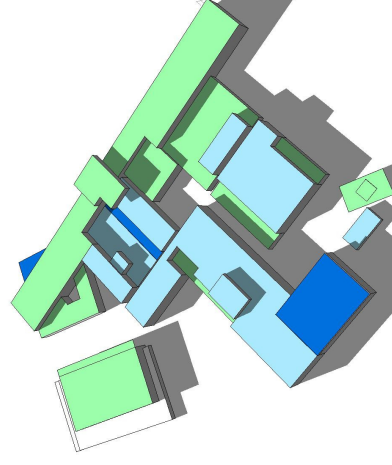
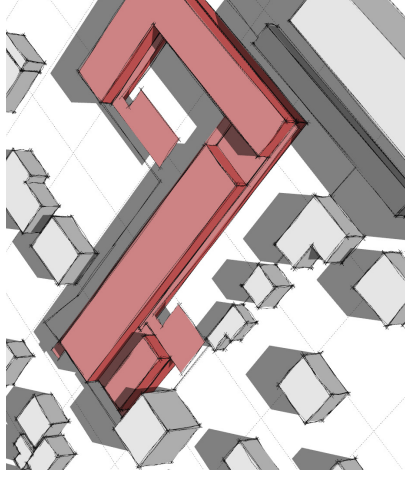
Le niveau de traitement de la cible va dépendre essentiellement du contexte :

- emprise sur la forêt : continuité biologique et préservation des espèces rares (faune et végétaux) ;
- respect du site : terrassement, équilibre de matières qui s'avère être une source d'économies importante (rapport de quantité entre les déblais et les remblais) ;
- traitement du bruit, en particulier en milieu urbain ;
- confort dans les espaces extérieurs, vues et contribution à la réduction du phénomène d'îlot de chaleur urbain
- valorisation des énergies et ressources locales: énergie solaire, éolienne, bois ;

Plus les contraintes sont fortes, plus le travail de conception des équipes de maîtrise d'œuvre sera essentiel.

Exemples d'intégration au site

Visualisation de l'impact des ombrages d'un bâtiment



Confort

Éléments contextuels

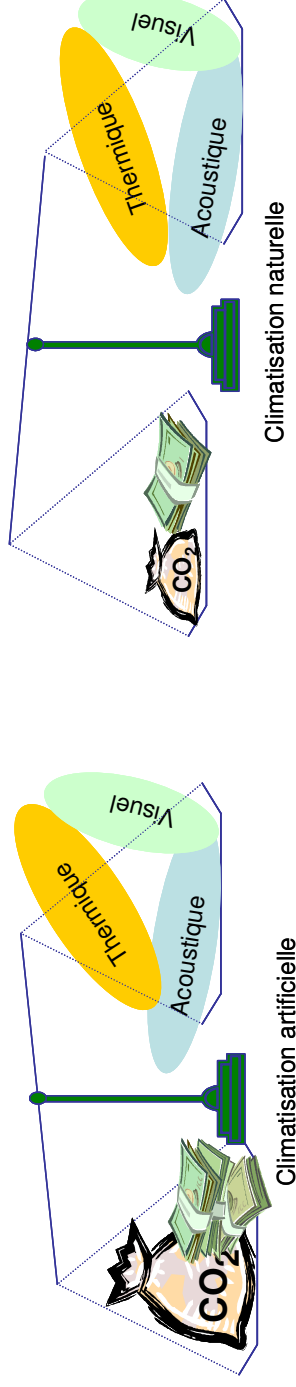
Pour pallier les problèmes d'humidité et/ou de chaleur (confort hygrothermique), les solutions de ventilation naturelle peuvent apparaître comme un retour à des solutions passivistes, en raison de la généralisation dans la vie courante des équipements de climatisation dit « de confort » et de la tendance sociétale forte dans les zones tropicales humides :

climatisation bureaux + climatisation voiture + climatisation des magasins -> climatisation de la maison...

Une autre raison de la demande de climatisation est liée au besoin de déshumidification non seulement pour le confort des usagers mais aussi pour éviter les moisissures sur le linge et les vêtements, les livres et les documents, pour assurer la durabilité des appareils électroniques, ...

Pourtant le « tout climatiser » n'est pas inévitable pour les raisons suivantes :

- des **solutions de conception globale en ventilation naturelle**, souvent assistée de brasseurs d'air, **existent** pour la plupart des problèmes et pathologies potentielles évoqués ci dessus (et en particulier dans l'habitat voir le retour d'expériences de l'opération Ecodom) :
 - o les problèmes de moisissures sont souvent liés à la présence de zones mal « irriguées » par la ventilation naturelle traversante
 - o l'humidité dans les locaux peut aussi résulter et être entretenue par le contact avec le sol et les abords immédiats, des infiltrations par le bâti, de mauvaises évacuations ;
 - o l'élévation de température réduit l'humidité relative et peut solutionner les problèmes de champignons.
- la climatisation induit fréquemment **des problèmes de santé** (allergies, fatigue, migraines, mal de tête) liés au confinement, à l'absence d'entretien en particulier le nettoyage des filtres et/ou au mauvais dimensionnement induisant des chocs thermiques (passages de zones climatisées à des zones non climatisées) ;
- la **hausse prévisible des coûts de l'énergie** incitera inéluctablement à reconsidérer ce mode d'obtention du confort par des procédés coûteux (en investissement et en fonctionnement) sur un plan environnemental, énergétique et économique ;



Des cibles étroitement liées

Les autres thématiques de confort interfèrent fortement avec le mode d'obtention du confort thermique choisi.

L'obtention de ce type de confort par ventilation naturelle est donc confronté à la résolution des problèmes liés aux cibles de :

- Confort acoustique :
 - o La moindre vulnérabilité aux bruits extérieurs et de voisinage est contradictoire avec la recherche de ventilation naturelle et d'une perméabilité maximale ;
 - o La recherche d'intimité acoustique d'une zone à l'autre de la maison est également contradictoire avec le principe de ventilation naturelle traversante d'une pièce à l'autre de la maison.
- Confort visuel : la nécessité de se protéger contre les apports solaires conduit à réduire l'éclairage naturel. Il s'agit de trouver un compromis entre protection solaire et éclairage naturel. Une des caractéristiques fondamentales du climat guyanais à prendre en compte est la composante diffuse importante du rayonnement solaire ; des ouvertures trop importantes peuvent également, dans certains cas, contribuer à un inconfort en termes d'intimité (visuelle ou acoustique).
- Qualité sanitaire des espaces : le traitement de la question des moustiques est essentiel, surtout dans le contexte actuel d'épidémies fréquentes de dengue ;
- Gestion de la sécurité : les points d'effraction possibles peuvent être augmentés en ventilation naturelle, qui nécessite des ouvertures nombreuses (en façade, en toiture..) ;

Toutefois ces difficultés qui doivent être anticipées dans la conception globale d'un projet ne doivent pas disqualifier a priori les solutions en ventilation naturelle qui doivent être privilégiées et pour lesquelles des réponses urbaines, architecturales et technologiques existent.

Les espaces extérieurs immédiats sont à traiter au même titre que les ambiances intérieures

Les espaces extérieurs immédiats prolongent naturellement l'espace de vie des occupants : terrasse, véranda, galeries, pergola loggia, etc...

En Guyane, dans le secteur résidentiel, le temps passé dans ces espaces peut être équivalent à celui passé en intérieur du logement. Le confort de ces espaces doit donc être particulièrement soigné au même titre que les ambiances intérieures.

Niveau de traitement des cibles

Par ailleurs, dans un projet conçu en démarche de qualité environnementale, **la cible énergie doit toujours être traitée à un niveau très performant**, car c'est celle qui a l'impact environnemental le plus important. Ceci a donc des répercussions sur le confort car il oblige à mettre la priorité sur certains choix tels que :

- **L'obtention d'un confort hygrothermique privilégiant la ventilation naturelle**

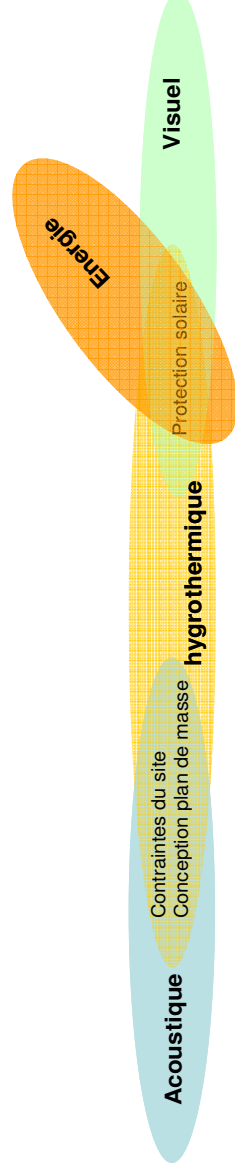
Le recours à la climatisation artificielle doit être réservé aux seules zones le nécessitant : forts apports de chaleur internes (informatique-bureautique, équipements spécifiques,...), contraintes acoustiques fortes, exigences précises de températures et d'hygrométrie....

- **La valorisation du gisement de lumière naturelle**

Pour limiter les consommations d'énergie, l'éclairage des locaux doit utiliser l'énorme gisement en lumière naturelle disponible en Guyane. En toute logique, la recherche d'autonomie en lumière naturelle devient un critère de premier ordre.

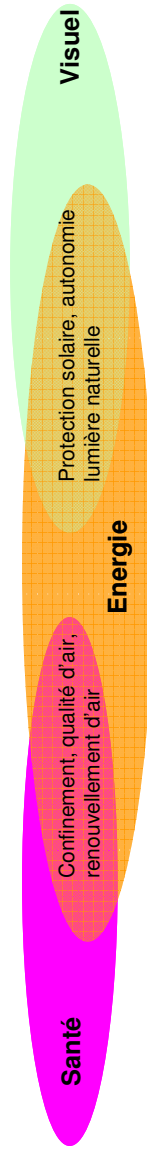
Pour être cohérent avec la nécessité de placer au premier rang la préoccupation énergétique et les enjeux environnementaux induits, une logique d'approche se dessine alors selon le mode d'obtention du confort :

- en ventilation naturelle, comme l'indique le schéma ci-dessous, le confort hygrothermique est obligatoirement traité de manière « très performant » (voir profil environnemental, chapitre 1.4.1, partie 1 du guide). Par effet induit il en va de même pour le traitement du confort acoustique pour un site à fortes contraintes :



*Impact du niveau de traitement
« très performant » de la cible énergie sur celles
de confort en ventilation naturelle*

- en climatisation artificielle, le confort hygrométrique ne doit pas être obtenu au détriment de la qualité de l'air (comme c'est souvent le cas). La recherche d'une consommation minimale oblige à trouver un optimum entre protection solaire et autonomie en éclairage naturel. Par conséquent dans les espaces climatisés, outre le confort visuel, la cible qualité d'air doit être traitée à un niveau très performant.



*Impact du niveau de traitement « très performant »
de la cible énergie sur celles de confort et santé en
climatisation artificielle*

Confort hygrothermique

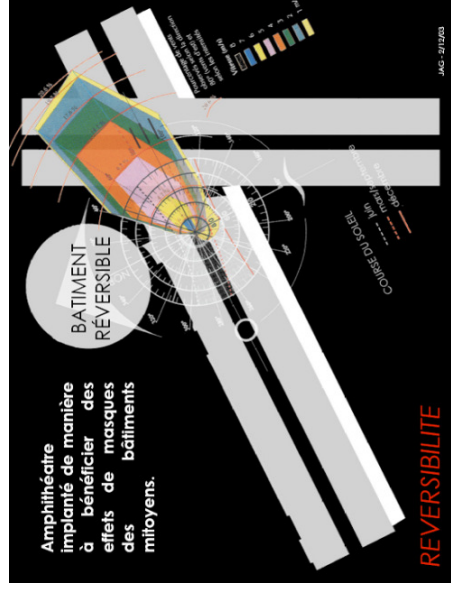
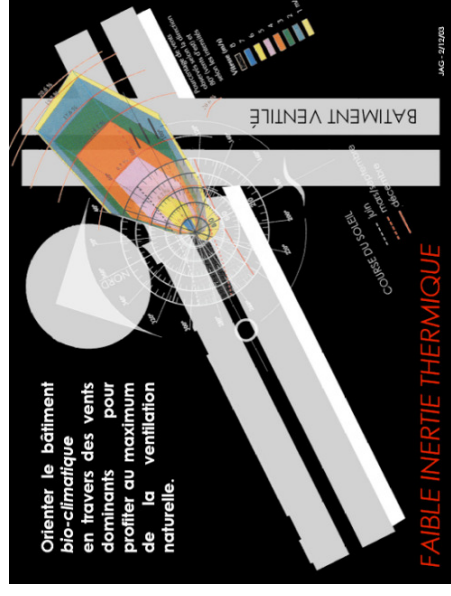
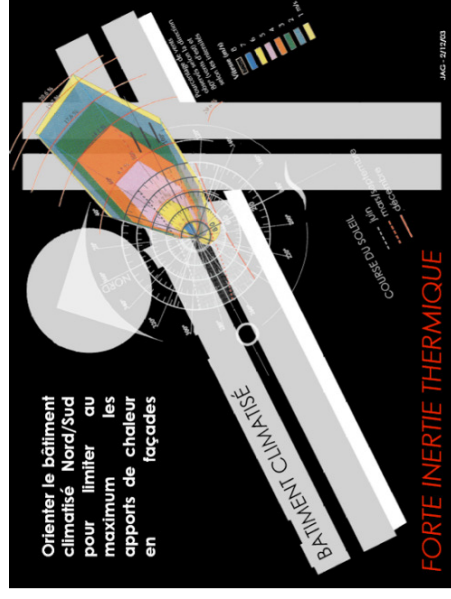
Objectifs généraux :

Les premiers « coups de crayons » lors de la conception d'un projet sont souvent déterminants pour prédéfinir le niveau de confort du bâtiment et ses conséquences en termes de besoins énergétique, en particulier de climatisation et d'éclairage.

En effet, les bons choix d'orientation, d'agencement et d'éclatement des espaces d'un projet constituent les éléments incontournables d'une bonne qualité environnementale, qui font qu'un bâtiment apportera le bien-être nécessaire ou pas, et a fortiori qu'il sera économe, « budgétivore » ou non...

Ce travail est la base de la réflexion environnementale et architecturale d'un projet, et doit être traité par le Maître d'Ouvrage et les concepteurs avec une attention redoublée.

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



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

Bâtiments climatisés naturellement

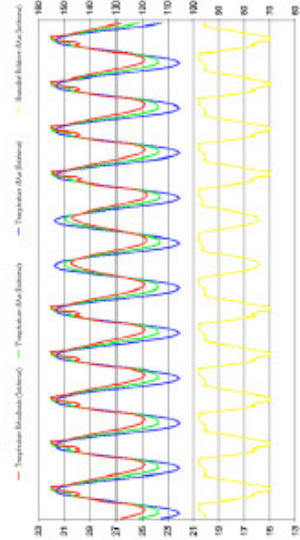
Objectifs généraux :

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

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

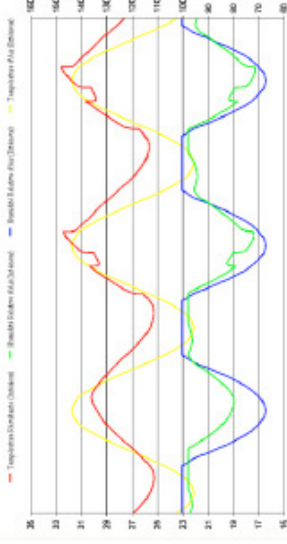
Résultats simulation n°1

Simulation du 19/02 au 01/03 soit 10 jours
Le système et système courts sont en Week-end



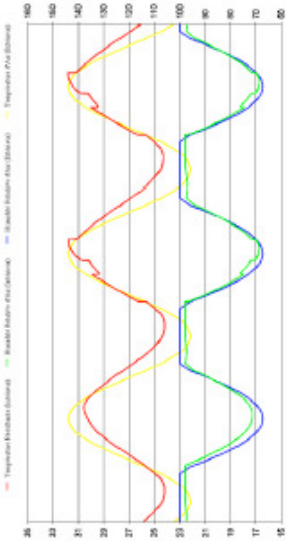
SIMULATION n°2

Idem simul n°1 avec vent à 10x24h et simul sur trois jours
Simulation du 25/02 au 27/02 soit 3 jours



SIMULATION n°3

Idem simul n°2 avec vent à 10x24h et simul sur trois jours
Simulation du 25/02 au 27/02



Exemples de simulation de l'influence des variations hygrothermiques dans un local, en fonction de divers niveaux de ventilation naturelle

Bâtiments climatisés

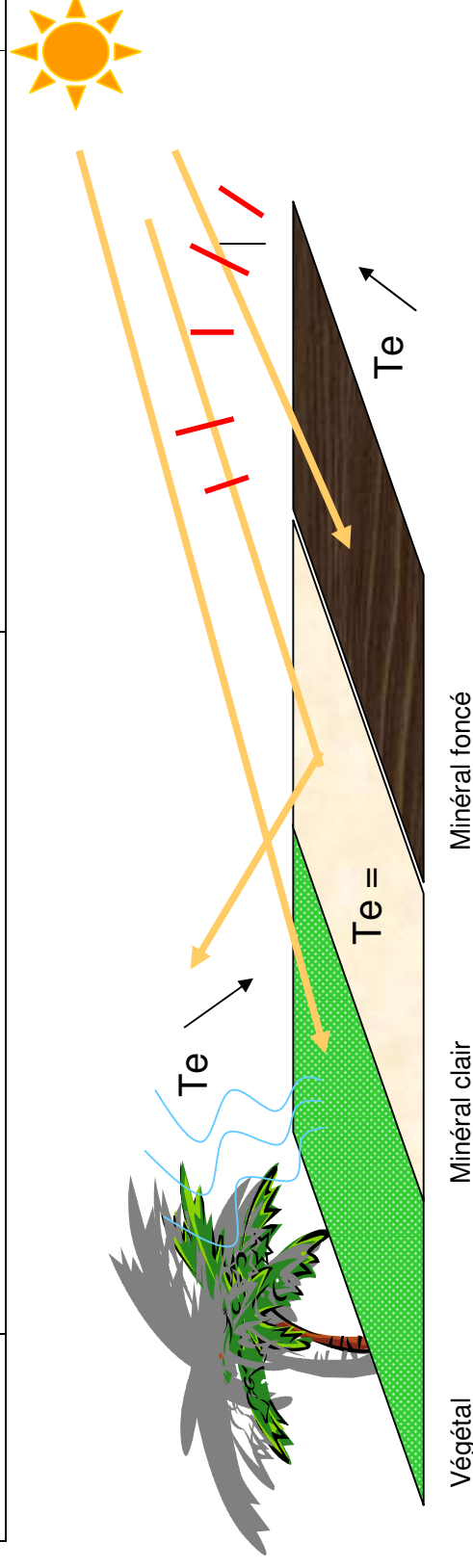
Objectifs généraux :

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

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

Confort dans les espaces extérieurs immédiats

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



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

Confort visuel

Eclairage naturel

Objectifs généraux :

« Les bâtiments doivent être conçus et disposés de manière à ce que la lumière naturelle puisse être utilisée pour l'éclairage des locaux destinés à être affectés au travail, sauf dans les cas où la nature technique des activités s'y oppose » - Code du travail, Art. R235-2

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

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

La valorisation de la lumière naturelle, dont le gisement est considérable en Guyane, contribue aux efforts d'économie d'énergie en limitant la part des besoins couverts par l'éclairage électrique, mais **représente toutefois une source d'apport énergétique contribuant à la surchauffe des locaux**.

La notion d'optimisation prend donc toute sa signification dans la gestion de ce compromis.

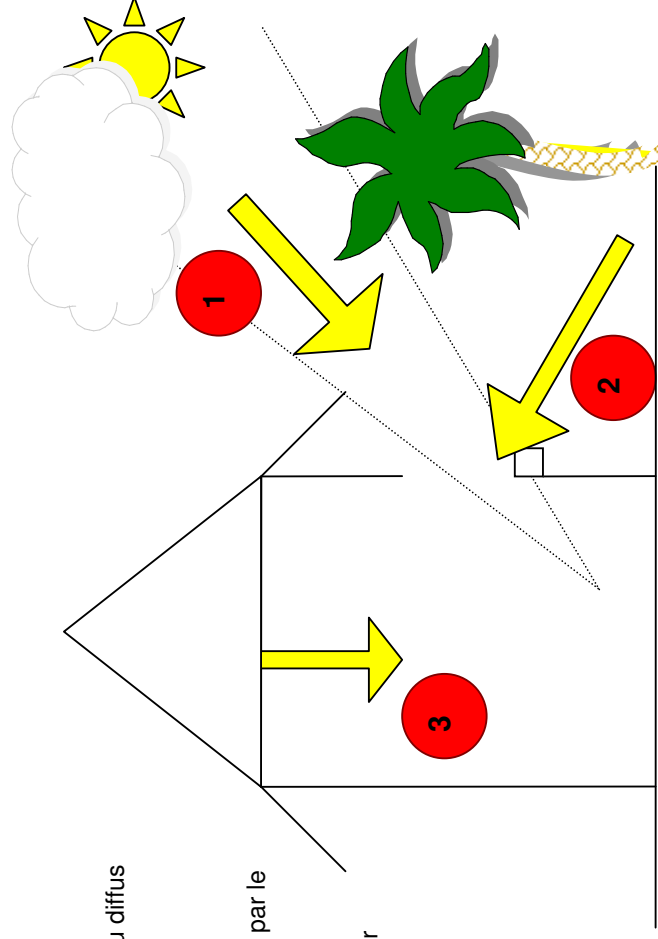
Les choix de dispositifs de protection solaire et de gestion des flux lumineux doivent être approchés dans le cadre d'une réflexion globale « confort visuel / confort hygrométrique / coûts d'exploitations et maintenance associés ».

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maîtrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Disponibilité de la lumière naturelle	Demande d'une disponibilité en lumière naturelle variable selon les locaux : -locaux à occupation prolongée (bureaux, salles de réunion, de cours ..) : 100% doivent avoir accès à la lumière naturelle -locaux sanitaires, circulations : accès à la lumière du jour moins essentielle	Dispositions prises pour respecter ces exigences Préciser le niveau de disponibilité de lumière naturelle pour ces pièces.	Fiche 3.4. : Eclairage naturel

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maîtrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Niveau d'éclairage et d'autonomie optimisés	Canaliser et bien maîtriser les apports solaires selon les besoins des occupants par des compromis judicieux. La problématique est d'apporter la quantité juste et suffisante de lumière pour répondre aux besoins d'éclairage, et éviter des apports solaires excessifs . Cet apport dégrade en effet le confort hygrothermique et/ou augmente la consommation d'énergie dans le cas de locaux climatisés. Le gisement considérable en lumière naturelle en Guyane conduit à des taux de lumière naturelle intérieure disponible ou « Facteur Lumière Jour » (FLJ), voir fiche « lumière naturelle » <u>qu'il faut absolument adapter par rapport aux pratiques métropolitaines.</u>	Optimiser l'emplacement et la dimension des ouvertures et faire appel éventuellement à des « second-jour » ou autres stratégies d'éclairage naturel multidirectionnel Utilisation d'outils d'aides de simulation de la lumière du jour (de type LESODIAL, ECOTECT, RADIANCE...).	Fiche 3.4. : Eclairage naturel
Vues sur l'extérieur	Selon le Code du Travail, « les locaux destinés à être affectés au travail doivent comporter à hauteur des yeux des baies transparentes donnant sur l'extérieur, sauf en cas d'incompatibilité avec les activités envisagées. » La prise de lumière occasionne donc aussi une possibilité de vue vers l'extérieur. Demander un respect strict de cette exigence essentielle de confort tout privilégiant, selon les locaux, les vues en fonction de la nature des activités ou des occupations.	Fournir la quantité de locaux disposant de vues dégagées Prioriser les vues apaisantes profondes pour les salles de classes Panacher « vues calmes » et « activités » pour les bureaux. Privilégier « vues sur la ville » et « activités » pour les maisons de retraites	
Uniformité et éblouissement	Plus que la quantité moyenne de lumière, le critère déterminant de la qualité de l'ambiance visuelle est l'uniformité de sa répartition. Celle-ci nécessite un travail approfondi de l'agencement des volumes, de leur profondeur par rapport aux ouvertures, et de la répartition des prises de lumière. Certains locaux sensibles (salles de travail) devront bénéficier d'une attention particulière pour éviter les phénomènes de tâche solaire (éblouissement ponctuel) à certains moments de la journée.	Pistes pour améliorer l'uniformité de la lumière : • rehausser la position des baies • prévoir des étagères à lumière (« light-shelves »), • organiser des seconds-jours • plafonds diffusants. -prévoir des dispositifs architecturaux pour maîtriser heure par heure et mois par mois l'impact du rayonnement direct: -limitation de la tâche solaire sur les zones à protéger : tableau, écran, bureau - dispositifs de protections mobiles	Annexe : Fiche 3.1.1 : canons à lumière Fiche 3.1.2 : Etagère à lumière

Facteur de Lumière du Jour (FLJ) :**1**Eclairage direct (soleil) ou diffus
(nuages)**2**Eclairage indirect réfléchi par le
sol (albédo)**3**

Eclairage indirect intérieur



Facteur Lumière Jour =

$$1 + 2 + 3$$

Lumière extérieure totale

Eclairage artificiel

Objectifs généraux :

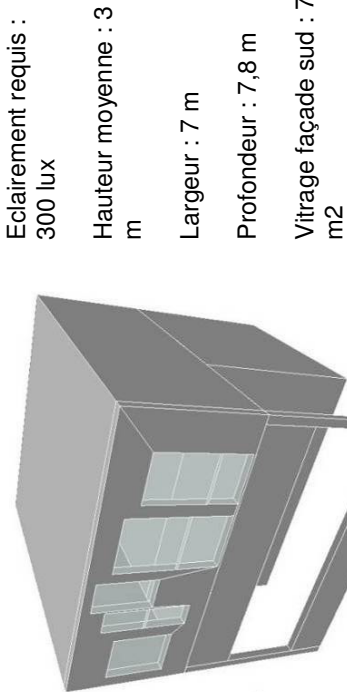
L'éclairage artificiel doit être conçu :

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

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maîtrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Concevoir l'éclairage artificiel comme complément à l'éclairage naturel	Se poser véritablement la question de la nécessité de l'éclairage artificiel en fonction des heures d'occupation de la zone : par exemple dans un établissement scolaire, la question de la nécessité de l'éclairage artificiel sur toutes les salles de classes est une question ouverte dans la mesure où il est possible d'atteindre 100% d'autonomie en éclairage naturel pendant la « journée scolaire ». Dans les autres cas, il s'agit de mettre en œuvre des dispositifs de gestion de l'éclairage qui visent à valoriser au maximum l'éclairage naturel	Pistes pour une meilleure maîtrise de l'éclairage artificiel : - détecteurs de présence - variation de puissance d'éclairement artificiel par zone en fonction de la disponibilité en éclairement naturel - commande différenciée par trame selon la profondeur du local, éclairage... - différenciation avec commandes distinctes entre éclairage d'ambiance (plafond) et ciblé (lampes directionnelle) en particulier pour les bureaux	
Niveau d'éclairement optimal	Les niveaux moyens en lux sont dépendants de la nature des locaux.	Bureaux : 300 lux Enseignement primaire et secondaire : 300 lux Enseignement du soir et secondaire : 400 lux Eclairage extérieur : à définir	Fiche 3.4. : Eclairage naturel
Eblouissement	Dispositions prises pour éviter l'éblouissement en éclairage artificiel	Salles de classe : luminaire basse luminance Bureaux, salles informatiques : luminaires très basse luminance	

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maîtrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Uniformité de l'éclairage	Exiger des rapports d'éclairage entre le plan le plus défavorisé et l'éclairage moyen minimaux	Rapport d'éclairage entre le plan le plus défavorisé et l'éclairage moyen ne doit pas être supérieur à : Niveau performant : 0.7 Niveau très performant : 0.8	
Qualité de la lumière	Assurer une température de couleur (Tc) et des indices de rendu des couleurs (IRC) adaptées la nature des activités	Activités courantes : Tc > 5000 K et IRC > 90	Fiche Eclairage naturel 3.4. :
Eclairage extérieur	Optimiser l'éclairage extérieur en s'assurant dans un premier temps de sa nécessité, puis en l'adaptant aux besoins réels (ratio au m²).	Prévoir un plan descriptif d'implantation des luminaires	

Exemple de calcul de Facteur de Lumière du Jour (FLJ) et d'autonomie en lumière naturelle (logiciel ECOTECT)



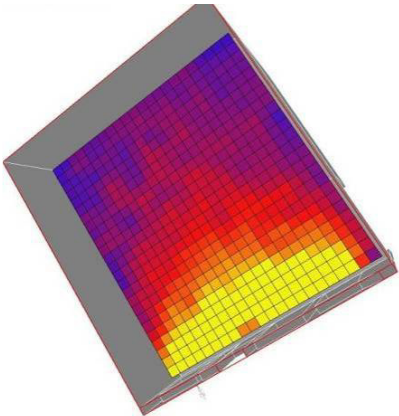
Eclaircissement requis :
300 lux

Hauteur moyenne : 3
m

Largeur : 7 m

Profondeur : 7,8 m

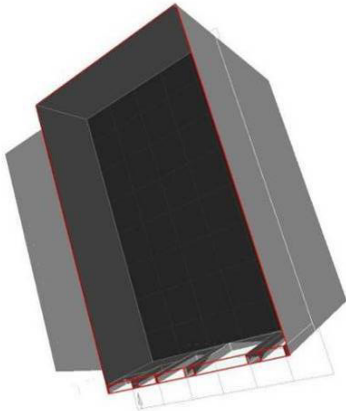
Vitrage façade sud : 7
m²



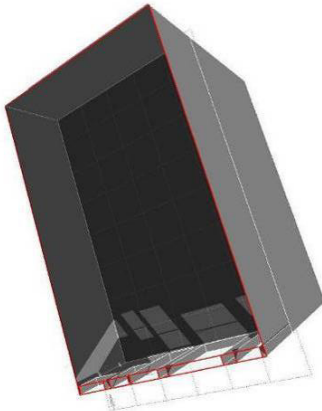
FLJ
Résultats
FLJ moyen : 2.6 %
Autonomie : 82 %
Interprétations
Si le FLJ est satisfaisant, le taux d'autonomie n'est pas suffisant pour une salle de classe par exemple.

%
5.00+
4.50 - 5.00
4.00 - 4.50
3.50 - 4.00
3.00 - 3.50
2.50 - 3.00
2.00 - 2.50
1.50 - 2.00
1.00 - 1.50
0.50 - 1.00
0.00 - 0.50

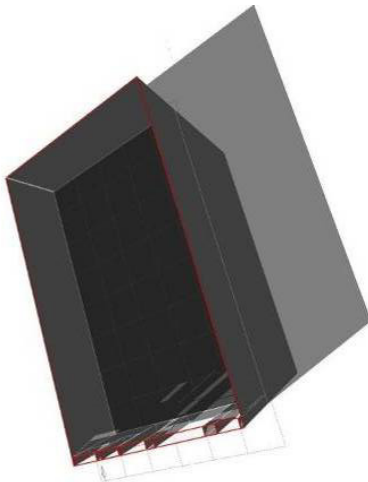
Exemple de simulation (logiciel ECOTECT) : Eblouissement et gestion de la tâche solaire



Matin 9h



Midi



Après midi 16h

Confort acoustique

Objectifs généraux :

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

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

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

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

En région tropicale humide, l'élément déterminant pour l'acoustique est le choix du mode d'obtention du confort thermique : climatisation naturelle ou artificielle.

Dans les ambiances climatisées, la Nouvelle Réglementation Acoustique (pour les établissements publics) ou les règles du GIEC (groupe interministériel d'études sur le climat) peuvent être appliquées.

A contrario, pour les ambiances climatisées naturellement, c'est à dire ouvertes sur l'extérieur, les indices et les niveaux d'isolement requis par rapport aux bruits aériens sont inadaptés : une démarche appropriée doit être adoptée ce qui n'empêche pas de traiter les autres paramètres déterminants du confort acoustique de manière similaire au traitement en ambiance close ..

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage :	Maîtrise d'œuvre :	Pour en savoir plus
Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Localiser les zones : - les mieux exposées au vent - les moins exposées vis-à-vis des sources sonores extérieures Etablir un plan de masse en expliquant les choix effectués pour : - prendre en compte les obstacles naturels et artificiels dans la recherche de l'isolement vis-à-vis du bruit aérien ; - exploiter ou modifier le relief et le paysage pour limiter les nuisances sonores routières ; - orienter les bâtiments en fonction des sources de bruits de l'environnement et des vents dominants - prendre en compte la destination des pièces au moment de leur positionnement dans le bâtiment.	Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	
Dispositions architecturales pour réduire les contraintes dues aux sources extérieures de bruit	La climatisation naturelle requiert un environnement suffisamment venté et des contraintes acoustiques raisonnables, gérables dans le cadre d'ambiances ouvertes. C'est pourquoi la première démarche de conception est de croiser les critères « vent » et « contraintes acoustiques » pour réserver les meilleures zones pour les locaux ou bâtiments destinés à être naturellement climatisés. Les zones climatisées artificiellement regroupent des ambiances fermées qu'il est plus facile d'isoler même dans le cadre de contraintes externes bruyantes.	Etablir un plan de masse explicatif visualisant les zones sensibles, les zones bruyantes, les zones tampons...	Nouvelle Réglementation Acoustique (http://www.urbanisme.equipement.gouv.fr/public/accesbat/doc_pdf/Ex_solutions_acoust.pdf) Voir les travaux de réglementation DOM (DDE, CSTB)
Dispositions des locaux	Cohérence de la disposition relative des locaux sur un plan vertical et horizontal.		
Isollements vis-à-vis des bruits extérieurs	Le critère pertinent pour juger de la performance des bâtiments est l'isolement acoustique standard pondéré (DnTA,tr)	<u>Locaux climatisés</u> : les valeurs minimales d'isolement peuvent être reprises de la NRA ou des règles du GIEC <u>Locaux naturellement climatisés</u> : les réflexions des équipes de maîtrises d'œuvre s'inspireront des travaux en cours sur l'adaptation de la réglementation dans les DOM	

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage :	Maîtrise d'œuvre :	Pour en savoir plus
	Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	
Isolement Vis-à-vis des bruits aériens en provenance d'autre locaux	Le critère pertinent pour juger de la performance des bâtiments est l'isolement acoustique standard pondéré DnTA en db	<u>Locaux climatisés</u> : les valeurs minimales d'isolement peuvent être reprises de la NRA ou des règles du GIEC. <u>Locaux naturellement climatisés</u> : les réflexions des équipes de maîtrises d'œuvre s'inspireront des travaux en cours sur l'adaptation de la réglementation dans les DOM. Le positionnement des bâtiments et des locaux, l'interposition d'espaces tampons, l'aménagement de barrières ou écrans acoustiques sont les principaux moyens d'action pour trouver les bons compromis acoustiques	Voir les travaux de réglementation DOM (DDE, CSTB)
Traitement acoustique des locaux	La correction acoustique des locaux doit être envisagée pour : - les halls et les circulations communes - les locaux nécessitant une bonne intelligibilité de la parole : salles de classes, salles de conférence... ; - les locaux accueillant des activités bruyantes (réfectoire, gymnase, salle de sport ...) ; - les locaux de grand volume	Respecter les exigences de durée de réverbération Tr recommandées par la réglementation acoustique (NRA)	
Bruits de chocs	Cela concerne essentiellement les bruits d'impacts transmis par : - les planchers entre étages - le bruit d'impact de la pluie en toiture	Respecter les exigences en termes d'indice acoustique à respecter vis-à-vis de la réglementation : Niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé LnT,w perçu dans les locaux de réception.	

Locaux climatisés : aspects spécifiques des équipements de climatisation

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage :	Maîtrise d'œuvre :	Pour en savoir plus
Equipements climatisation	Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Charte OPTICLIM
de	<u>Equipements extérieurs</u> Valeur d'émergence maximale admise pour l'environnement extérieur (décret 95 – 408 du 18/4/95) (la vérification des niveaux sonores des équipements extérieurs peut se faire selon la norme NF S 31-010) <u>A l'intérieur des locaux</u> Quel est le niveau de bruit reçu par les occupants L_{nAT}^{17} ? <u>Local technique (climatisation)</u> Quel traitement acoustique ?	Le niveau sonore des unités extérieures ne doit pas être supérieur à celui de l'environnement extérieur de plus de : - 3 dB(A) la nuit - 5 dB(A) le jour Il ne doit pas dépasser Hôtel , hôpital :30 dB(A) Bureaux, enseignement : 35 dB(A) Commerce : 45 dB(A) Décrire les solutions choisies si le local technique est proche de zones sensibles	
Installations de climatisation individuelle	Sélectionner les appareils en fonction des caractéristiques acoustiques intérieures et extérieures Unités intérieures : - Niveau de pression acoustique de l'unité L_w - Niveau de pression acoustique normalisé dans le local (facultatif) Unités extérieures : - Niveau de pression acoustique de l'unité L_w - Mesure de l'émergence selon la norme NF S (facultatif) - Positionnement de l'unité extérieure vis-à-vis du voisinage le plus proche	Fournir et argumenter : $L_w = \text{_____ dB}$ $L_{nAT} = \text{_____ dB}$ $L_w = \text{_____ dB}$ Situer sur le plan masse	Charte OPTICLIM individuel

¹⁷ L_{nAT} : niveau de pression acoustique normalisé exprimé en dB(A) pour une durée de réverbération égale à 0,5 s à toute fréquence, dans le local de réception.

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage :	Maîtrise d'œuvre :	Pour en savoir plus
de Installations climatisations centralisées	Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales Unités terminales : sélectionner les unités intérieures en fonction des critères suivants : - Niveau de pression acoustique de l'unité L_w - Niveau de pression acoustique normalisé dans le local (facultatif) Groupes frigorifiques : pour les aspects acoustiques prendre en compte : - le type groupe d'eau glacée, le capotage acoustique - le niveau de puissance acoustique L_w du groupe et le spectre correspondant si disponible - la position du groupe de production d'eau glacée et des compresseurs	Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental » Fournir et comparer les niveaux acoustiques $L_w = \text{_____ dB}$ $L_{nAT} = \text{_____ dB}$ $L_w = \text{_____ dB}$ Situer sur le plan masse	Label OPTICLIM centralisé

Confort olfactif

Chapitre traité avec la qualité de l'air

Eco-Gestion

Éléments contextuels

Cette thématique regroupe l'ensemble des flux matériels (énergie, eau, déchets) ou d'équipements ou de travail humain (entretien et maintenance) qui « traversent » le bâtiment pendant sa durée de vie. La maîtrise de ces flux, de par leurs multiples dimensions et répercussions humaines (et en particulier sur les confort et la santé des occupants des bâtiments concernés, et de la planète entière), environnementales et économiques, doit, dans tout projet poursuivant une démarche de qualité environnementale, être au centre du processus de conception, de réalisation et de suivi.

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

La gestion énergétique

Le pays est confronté aux problématiques suivantes qui font d'une démarche globale de Maîtrise de l'Energie, au sens large -comme explicité en 2.3.2-, la seule voie possible et même « raisonnable » :

- une prépondérance de l'électricité dans le secteur du bâtiment puisque c'est quasiment le seul vecteur énergétique utilisé dans ce secteur ;
- une démographie « galopante » engendrant une pression considérable sur la demande d'électricité (près de 1% d'augmentation tous les 2 mois) justifiant d'autant plus une démarche commençant par une maîtrise de cette demande ;
- la saturation du barrage hydro-électrique de Petit-Saut déjà évoquée conduisant à satisfaire tous les besoins nouveaux par de l'électricité d'origine fossile fortement émettrice de CO₂
- une dépendance énergétique totale pour ces importations d'énergie fossile à fort impact environnemental et à très faible densité d'emplois. Sur un territoire où le taux de chômage est très élevé une démarche de Maîtrise de l'Energie, dont la densité d'emplois est beaucoup plus élevée que celle de la production d'énergie par des ressources fossiles importées (2 à 4 fois plus d'emplois par négawh, c'est-à-dire par kWh évité, que par kWh produit et distribué) a donc des avantages sociaux et des bénéfices économiques indirects importants qui concernent principalement le secteur du bâtiment.
- la fragilité et la richesse de l'environnement naturel, rendant par ailleurs impossible de reproduire une seconde fois la catastrophe écologique qu'a constitué la réalisation du barrage de Petit Saut (320 km² de forêt primaire inondée avec de multiples espèces faunistiques et floristiques disparues et impact sur le réchauffement global catastrophique en raison du dégagement de méthane (CH₄) résultant du non-abattage de la forêt avant travaux)

La **gestion de l'eau potable**, pour laquelle la situation suivante nécessite également une démarche de maîtrise des besoins d'eau potable :

- l'abondance de la ressource pluviométrique annuelle globale n'empêche pas les problématiques de carences saisonnières ou locales en eau potable (coupures à Macouria et à Saint-Laurent du Maroni dans les années 2004-2006) ;
- la demande fait l'objet d'une pression croissante, encore plus forte que celle sur l'énergie, en raison notamment des effets multiplicatifs de la croissance démographique et de celle de la demande par habitant (amélioration du confort, nouveaux usages de l'eau) ;
- cette croissance considérable de la consommation occasionne de par la vastitude du territoire, sa topographie à faible relief, ses spécificités climatiques (chaleur facilitant la prolifération microbienne), la nature des sols (eau très chargée en latérite) et la fragilité de ses écosystèmes, des travaux importants, coûteux et continus en matière :
 - d'unités de traitement,
 - d'extension des réseaux d'eau potable ou de re-dimensionnement de ceux-ci,
 - de réalisation de stations d'épuration.

Les coûts écologiques et économiques induits sont colossaux : le prix de l'eau est amené à augmenter durablement en Guyane.

La **gestion des déchets d'usage** pour lesquels il existe peu de perspectives de filières de récupération -recyclage-valorisation tant le territoire est vaste, à faible densité, à tissu industriel inexistant et en situation d'insularité économique.

La **gestion de l'entretien et de la maintenance** enfin qui est caractérisée en Guyane par la situation suivante :

- dureté du climat et de l'environnement (températures élevées, humidité et pathologies récurrentes, dureté de l'eau, ...) mettant à mal bâtiments et équipements ;
- vulnérabilité de l'économie et de toute activité en général, en raison de sa soumission à des importations de produits, composants, pièces, systèmes nécessaires pour l'entretien et la maintenance ;
- absence de savoir-faire local pour des installations complexes et ponctuelles et coût considérable de cet entretien maintenance pour les bâtiments et leurs équipements techniques résultant de cette réalité climatique et technique et de cette insularité économique ;
- impact environnemental important de certains déchets et sous-produits résultant de la maintenance, et de déchets d'usage des bâtiments en raison de la faiblesse et de l'absence d'organisation des filières de récupération recyclage (les fluides frigorigènes de climatiseurs, à l'impact sur l'effet de serre 1 300 fois plus important que le CO₂, et qui de fait ne sont pas récupérés) .

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

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

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

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

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

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

Approche générale

Nous proposons qu'une démarche environnementale de conception-réalisation-utilisation des bâtiments guyanais poursuive une approche générale, issue de la démarche énergétique « négawatt » qui est caractérisée par les étapes suivantes :

- une démarche de **SOBRIETE** consistant à effectuer un travail sur la minimisation des besoins de chacun des flux : énergie, eau, déchets, entretien-maintenance qui signifie :
 - o un travail sur la conception de la sobriété consistant très en amont à minimiser dès le plan masse (implantation sur le site, forme, répartition des zones, ..) et les premiers choix architecturaux les besoins de flux divers (besoins de climatisation, d'éclairage, ..), ce travail continuant en aval par un dimensionnement optimal des équipements et des systèmes ;
 - o un travail au niveau des choix conceptuels architecturaux, des choix de composants d'enveloppe, d'équipements, de systèmes et d'aménagements pour qu'ils soient durables et adaptés au contexte climatique, ce qui signifie qu'ils soient solides, robustes, accessibles et conservent leurs propriétés techniques, fonctionnelles et esthétiques dans le temps...
 - o un travail enfin d'incitation (information – exemple : affiche ou tableau encourageant à des économies d'eau, d'électricité), de facilitation (moyen technique – exemple interrupteurs permettant une commande zonée de l'éclairage), voire de contrainte (dispositif – exemple : butée de limite basse de réglage d'un thermostat de commande climatisation) des usagers pour un usage sobre des fluides en question.
- une démarche classique d'**EFFICACITE** ensuite consistant, pour chaque usage final d'un fluide au sens large (c'est-à-dire y compris les déchets et la maintenance), à avoir recours à la technique fournissant le meilleur service possible pour le minimum de consommation de fluide : en matière énergétique il s'agit non seulement du rendement du système (efficacité lumineuse pour l'éclairage, EER pour la production de froid, ...) mais aussi d'une démarche plus globale permettant d'associer, par exemple, un dispositif architectural et technique pour optimiser un service énergétique donné ;
- une démarche « **RENOUVELABLE** » enfin consistant à utiliser la ressource ou l'ensemble des ressources ayant le plus faible impact possible sur l'environnement en particulier pour l'énergie et l'eau en favorisant l'emploi de ressources renouvelables.

Cette démarche négawatt nécessite une analyse fine des besoins pour chaque flux, usage final par usage final et zone par zone, voire pièce par pièce, pour le bâtiment permettant de choisir le meilleur vecteur en terme environnemental (quelle forme d'énergie, quel type d'eau – potable ou pas, quel type de maintenance, etc...).

Elle doit vraiment commencer par un travail sur la sobriété qui devra mobiliser des moyens conceptuels importants en termes de diversité et de complémentarité de compétences, au sein de la Maîtrise d'Ouvrage mais aussi de la Maîtrise d'œuvre, une démarche environnementale ne devant par contre pas être sobre en termes de capitalisation de matière grise.

Gestion de l'énergie

Objectifs généraux :

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

Thématiques	Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maitrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Rafraîchissement (création d'ambiances confortables)	Développé dans le traitement de la cible « confort thermique » Points spécifiques : - la possibilité de non climatisation totale ou partielle (réversibilité) à certains moments de l'année ou de la journée ou pour certains usages particuliers de cette zone de tout ou partie du bâtiment ; - le dimensionnement des installations qui doit tenir compte sans redondance ou « sécurité excessive » des usages simultanés prévus ou « anticipables » de plusieurs zones du bâtiment (par exemple si deux zones ont très peu de chances d'être utilisées en même temps, on en tiendra compte dans le dimensionnement global) ; - la sélection d'équipements qui, outre leurs performances énergétiques intrinsèques, doivent de plus être performants sur d'autres plans environnementaux : type de gaz frigorigène, niveau acoustique,.... - L'orientation vers le choix de brasseurs d'air beaucoup moins consommateurs que les meilleurs climatiseurs. Les techniques d'utilisation des énergies renouvelables viennent alors bien « en dernier » dans cette approche et malgré les promesses de la climatisation solaire thermodynamique : - la climatisation naturelle, lorsqu'elle est possible reste une option préférable sur un plan environnemental et économique. - une démarche préalable « sobriété- efficacité » est toujours plus rentable et permettra aussi de justifier en aval cette option solaire alors optimalement dimensionnée	Tenir compte dans le dimensionnement de la climatisation : - de données enthalpiques (température et humidité) réalistes (voir le guide climatiser dans les DOM) correspondant en outre aux périodes d'occupation ; - des foisonnements d'usage par zone - d'apports internes réalistes Il est par conséquent fortement recommandé d'utiliser des méthodes de simulation thermiques dynamiques pour effectuer ces dimensionnements (ECOTECT, TRNSYS, CODYRUN,,). Il s'agira de ne pas tenir compte des pointes exceptionnelles : on peut admettre qu'une zone prévue pour accueillir couramment 20 personnes par exemple, ne pourra pas assurer ponctuellement les besoins de rafraîchissement pour un nombre sensiblement supérieur à ce maximum courant. Prévoir une réflexion approfondie sur les équipements de rafraîchissement, climatisation et traitement d'air performants avec un choix des meilleurs rendements garantis par des organismes indépendants des fournisseurs.	Guide « Climatiser dans les DOM » Logiciels de calcul des apports (

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage :	Maîtrise d'œuvre :	Pour en savoir plus
Eclairage	Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales Thème complètement développé dans la cible confort visuel Le maître d'ouvrage aura un rôle déterminant dans cette démarche d'éco-gestion pour l'éclairage puisque c'est lui qui décidera in fine : - de cette possible complémentarité entre éclairage naturel et artificiel (en tolérant éventuellement un taux d'insatisfaction ponctuel au niveau de l'éclairage) qui conduira alors clairement à des économies d'investissement et de maintenance induite ; - des choix des systèmes d'éclairage privilégiant par exemple un zonage avec un fort niveau d'éclairement limité aux zones qui le nécessitent (plan de travail), et d'autres aux niveaux d'éclairement plus restreints. La même démarche de conception pour l'éclairage artificiel de l'intérieur du bâtiment sera utilisée pour l'éclairage extérieur	Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental » La démarche des concepteurs devra absolument faire appel à des outils (logiciels LesoDIAL, ou ECOTECT) pour mettre en évidence les pourcentages d'autonomie d'éclairage naturel au dessus de certains seuils).	Fiche 3.3. : Eclairage naturel Logiciel LesoDIAL (http://lesowww.epfl.ch/f/transfer_software_lesodial_f.html) ou ECOTECT
Eau chaude Sanitaire (ECS)	- Minimisation des besoins d'Eau Chaude Sanitaire en termes de niveau de température, de quantité, zonages des besoins étant entendu que certains besoins peuvent, en Guyane être satisfaits par de l'eau froide ; - Utilisation systématique d'équipements économes d'eau potable : intermittence, débit (voir par ailleurs la partie « gestion de l'eau ») ; - Recours à l'ECS solaire avec réflexion sur le type d'appoint éventuel au solaire qui pourra aussi utiliser de l'énergie récupérée (sur les climatiseurs par exemple)	Une démarche d'éco-gestion sur l'ECS est gagnante simultanément sur deux fluides : l'eau et l'énergie La conception, le dimensionnement et la mise en oeuvre de systèmes d'Eau Chaude Solaire doit faire l'objet d'un travail rigoureux et détaillé car les contre-performances dans ce domaine sont nombreuses en Guyane. La démarche du concepteur se préoccupera aussi des dispositifs ayant un impact potentiel sur la santé : dispositif anti-brûlure, anti-légionelle,...	Démarche Qualisol Antilles-Guyane

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maîtrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Autres usages énergétiques	Démarche systématique usage par usage : - de minimisation des besoins pour chaque usage énergétique ; - d'utilisation d'équipements efficaces ; - de choix du meilleur vecteur énergétique La démarche ne se limitera pas aux équipements attachés au bâtiment mais aux équipements qui doivent ensuite être installés .	La démarche s'appuiera sur les moyens d'appréciation existants de l'efficacité énergétique : étiquettes énergie (étiquette européenne), labels (energy star, ...), etc..... En matière de choix optimal de vecteur énergétique, on évitera par exemple de faire une cuisine tout électrique en Guyane sous peine de rendre incohérente une démarche de bonne qualité environnementale.	Etiquette Energie, label energy star
Utilisation de systèmes de production d'énergies renouvelables	Pour conclure les projets ayant une forte réflexion en termes de maîtrise des consommations d'énergie, le Maître d'Ouvrage pourra choisir d'équiper son projet d'un système de production d'énergie renouvelable. Le plus plausible en Guyane reste le photovoltaïque raccordé au réseau, système par lequel le Maître d'Ouvrage produit et revend de l'électricité à EDF.	Vérifier les possibilités financières et techniques pour l'installation d'un système de production photovoltaïque, en location de toiture ou sur fonds propres.	Fiche 3.2.1 Protections solaires photovoltaïques

Gestion de l'eau

Objectifs généraux :

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

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

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

Thématiques	Maitrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maitrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Démarche détaillée	-Zonage du bâtiment et des espaces extérieurs en termes de besoins en eau, qualitatifs (type d'eau) et quantitatifs. On définira par exemple les usages qui peuvent être satisfaits par de l'eau brute (non traitée) ; -Réflexion sur la conception de la diminution des besoins en eau : par exemple choix d'options de végétalisation sans besoins d'eau en saison sèche ; -Utilisation systématique d'équipements terminaux (toilettes, robinets, douches, ..) à faible consommation d'eau - Réflexion sur l'utilisation des eaux renouvelables du site pour certains usages (toilettes, arrosage, lavage, ..) : eau de pluie, eau de forage	Respecter les spécifications techniques détaillées rigoureuses en matière de conception et de mise en oeuvre de système de récupération des eaux pluviales pour répondre à des exigences sanitaires draconiennes.	Annexes : Fiche 3.2.2 : Maîtrise de la consommation d'eau Fiche 3.2.3. : Récupération des eaux pluviales

Gestion des déchets

Objectifs généraux :

On cherchera ici à :

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

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

Entretien et maintenance

Objectifs généraux :

On ne rappellera jamais assez l'agressivité du climat équatorial guyanais et son impact sur le gros oeuvre et le second oeuvre d'un bâtiment.

Il s'agit ici de concevoir un bâtiment en termes d'enveloppe, de systèmes et d'équipements minimisant les besoins d'entretien maintenance : la maintenance la plus environnementale sera celle qui n'a pas besoin d'être réalisée !

D'une manière générale, la conception générale devra faciliter durablement une maintenance optimale : ergonomie des espaces, accessibilité...

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

Eco-construction

Éléments contextuels

Gisement de matériaux locaux

Si l'on quantifie et hiérarchise le gisement de matériaux de construction optimum pour une démarche de Qualité Environnementale et de développement durable en Guyane, le bois local arrive sans contestation en première place.

Le bois local en effet ;

- a un faible contenu en énergie grise ;
- utilisé en structure il contribue au stockage de carbone (1 m3 de bois stocke une tonne de CO2) ;
- constitue une filière est créatrice d'emplois locaux direct et indirects.
- etc...

Pourtant l'expérience de projets publics de construction récents donnant une part belle au bois local montre que la filière est insuffisamment structurée pour répondre à la demande locale sur des bases économiques viables. L'importation de bois de métropole ou de provenance brésilienne constitue une sérieuse concurrence sur un plan économique, alors que les ressources de la forêt guyanaise permettraient de développer une industrie de la construction bois très performante sur le plan environnemental. L'offre étant limitée, c'est plutôt la demande (commande publique) qui s'organise pour éviter les pics et les périodes de pénuries.

Nouvelles filières de matériaux

En matière de matériaux de construction remarquables sur un plan environnemental, deux filières tentent, à l'heure où nous écrivons ce guide, d'émerger :

- la production de brique crue latéritique
- la production de brique cuite à base d'argile.

Ces types de matériaux, outre leur fabrication locale, s'intègrent d'autant plus facilement dans une démarche de qualité environnementale qu'ils possèdent toutes les qualités requises pour assurer un excellent confort thermique, acoustique, visuel voire olfactif, et qu'ils sont tout ou partie recyclables.

Tenue des matériaux : agressivité du climat, de l'environnement minéral et vivant

La tenue des matériaux aux conditions particulières d'humidité est un critère déterminant, compte tenu des conditions extérieures d'hygrométrie souvent proches en zone tropicale humide de la saturation. Le tableau ci-dessous donne les températures de rosée de l'air (c'est-à-dire la température limite d'une paroi (mur, toiture) en dessous de laquelle l'air se condense à son contact) pour les Antilles et la Guyane :

	Température de rosée moyenne en °C	Température de rosée maximale en °C
Guadeloupe (le Raizet)	22	25,5
Martinique (Le Lamentin)	22	26
Guyane (Rochambeau)	23,3	26,5

Au niveau d'humidité élevé s'ajoutent la salinité de l'air et les poussières issues de terres latéritiques pour constituer un cocktail particulièrement agressif pour les matériaux de façades. La faune, la flore et les champignons cryptogamiques sont également à intégrer dans la réflexion en phase conception, pour éviter des problèmes de tenue dans le temps.

Transport des matériaux

Une disparité forte des coûts de construction est due au poste transport. D'une manière générale, on veillera à toujours limiter les trajets sur un projet de qualité environnementale. Ceci est valable pour la logistique et l'organisation des chantiers, comme pour l'acheminement des matériaux..

Tri des déchets

Il est nécessaire de faire l'inventaire des filières de valorisation des déchets de bâtiments à travers des filières de recyclage :

- du verre concassé,
- des huiles de vidange,
- des déchets toxiques (piles, batteries),
- déchets verts (plateforme de compostage à Matoury).

D'autres sont, à l'heure où ce guide est rédigé, à l'étude comme l'élaboration d'une filière de recyclage de pneus, en collaboration avec le Brésil, ou des projets de recyclage de plastiques ou de papier.

Niveau de traitement et interaction des cibles

Le traitement des cibles d'éco-construction a un fort impact sur le confort et la santé mais aussi sur la gestion de l'énergie, de l'eau et des autres ressources naturelles.

Matériaux

Objectifs :

Une construction à forte qualité environnementale se doit d'être conçue et réalisée à partir de matériaux adaptés aux conditions locales, à faible impact sur l'environnement, en termes d'émission de gaz à effet de serre et de production de déchets, et idéalement produits ou mis en œuvre localement.

L'impact énergétique d'un matériau et ses répercussions en équivalent CO₂, est défini par l'énergie grise. Celle-ci détermine les quantités d'énergie utilisées pour fabriquer un matériau, de l'extraction des matières premières nécessaires à sa production, jusqu'à sa fin de vie et son éventuel recyclage.

Les matériaux locaux sont donc à encourager dans une certaine mesure, mais ce choix est à panacher avec d'autres critères tels que l'adaptation d'un type de matériau au climat ou à un emploi particulier, son niveau de toxicité ou encore la possibilité de son recyclage ou de sa réutilisation locale.

Enfin, la démographie vigoureuse de la Guyane génère une demande très importante en construction et en équipements neufs. Les projections très fortes en termes de besoins sur les cinquante prochaines années doivent inciter les maîtres d'ouvrages à prévoir et anticiper ces évolutions, et concevoir les bâtiments de façon à pouvoir reconfigurer et étendre les espaces en fonction des besoins

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maîtrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Evolution de l'ouvrage sur sa durée de vie	Anticiper les évolutions futures du projet, et la facilité de sa transformation en un bâtiment destiné à d'autres usages Plusieurs concepts sont envisageables : - Extension - Flexibilité - Adaptabilité - Démontabilité - Séparativité	Détailler les options prises pour l'éventuelle réutilisation des locaux (principes constructifs, choix climatiques, dimensionnement des réseaux,...).	

Thématiques	Maitrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maitrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Adaptabilité	Est-ce que le type de matériau choisi est forcément adapté au contexte climatique, au savoir-faire et à la disponibilité locaux, ou à l'usage établi ? On cherchera ainsi à éviter : - les matériaux métalliques et facilement oxydables (éléments rapportés en façade, châssis, charpente, brise-soleils,...), en particulier à l'est - les matériaux plastiques, en particulier ceux exposés au soleil (est et ouest) - les produits intérieurs hygrophobes (de type laines minérales voire moquette...) Vérifier pour les systèmes ou procédés innovants : -s'ils sont forcément indispensables - si les pièces détachées sont facilement disponibles - si une maintenance locale est envisageable	Détailler les choix de matériaux en façade. Fournir des attestations pour les matériaux garantissant : - la bonne résistance aux rayons Ultra-Violets, - la non-corrosion des éléments métalliques de façade. Fournir pour chaque système innovant les garanties nécessaires en terme de maintenance.	
Impact environnemental	Vérifier l'impact énergétique et écologique (toxicité), des matériaux choisis. L'aspect écologique des matériaux est traité dans la partie 2.5.3 (qualité de l'air) Le Maître d'Ouvrage pourra ainsi, dans un souci tant environnemental que de développement local, décider d'orienter son projet vers des quotas d'utilisation de matériaux sains et/ou locaux. Si pour quelques raisons que ce soient, le choix devait s'orienter vers des bois non-locaux (ce qui semble difficile pour un projet dit « environnemental »), le Maître d'Ouvrage se devra d'exiger les Eco-certifications FSC (Forest Stewardship Council) ou PEFC (Pan European Forest Certification)	Fournir une liste des matériaux les plus couramment utilisés dans le projet, en spécifiant si possible leur valeur en énergie grise ou leurs FDES (fiche de déclaration environnementale et sanitaire)..	Annexes : Fiche 3.3.1.: Isolants d'origine végétale Fiche 3.3.2 : Toiture végétalisée Fiches 3.5. Energie grise

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maîtrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Transports	On veillera à la minimisation des transports pour l'acheminement des matériaux (qui plus est dans le cas de chantiers éloignés de Cayenne). Préférer tant que faire se peut l'utilisation du bois par exemple pour des chantiers éloignés, en raison des plus faibles volumes utilisés.	Evaluer les possibilités d'utilisation de matériaux préfabriqués ou produits en périphérie du projet, et de matières premières disponibles au plus près du chantier.	

Chantier

Enjeux :

Une démarche de qualité environnementale d'une construction se doit d'être cohérente : les efforts pratiqués lors de la conception d'un bâtiment doivent inévitablement se retrouver lors du chantier de construction.

Tout chantier de construction génère des nuisances. L'enjeu d'un chantier vert est de limiter ces nuisances auprès des riverains, des ouvriers du chantier et sur l'environnement. Les déchets de chantier représentent en tonnage l'équivalent de celui des ordures ménagères. Leur gestion représente donc un enjeu environnemental de premier ordre.

Le chantier à faibles nuisances a pour but d'aider les intervenants du bâtiment à se préparer à l'évolution de la législation, notamment en matière de gestion des déchets, mais aussi de réduire les impacts qu'engendre un chantier sur les personnes présentes sur le site, sur le voisinage et sur l'environnement.

Un chantier bien préparé, bien organisé et bien suivi voit son nombre d'accidents et son coût global diminuer. Pour ceci, il convient notamment d'impliquer dans cette démarche toutes les personnes présentes sur le chantier en particulier, pour les marchés publics l'OPC et le coordinateur SPS.

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maîtrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Optimisation de la gestion des déchets de chantier	Phase conception : dispositions prises pour limiter la production de déchets En fin de vie du bâtiment, les dispositions prises pour le recyclage des différents composants Equilibrer la production de remblais et de déblais Optimiser le tri et la valorisation des déchets de chantier. Afficher une information spécifique sur la gestion des déchets. Valoriser au mieux les déchets en adéquation avec les filières locales existantes	Recourir à la préfabrication, au calepinage, à l'utilisation des matériaux disponibles sur le site ou à proximité. Limiter les mouvements de terrain et équilibrer les apports et exports Intégration des exigences sur la gestion des déchets de chantier ci-après dans la charte « chantier à faibles nuisances » Quantifier des déchets de chantier par catégorie. Plan d'installation de gestion des déchets. Fournir les fiches et les bordereaux quantitatifs de matériaux Viser un pourcentage minimum de déchets valorisés (par rapport à la masse totale des déchets générés). Organiser le tri et le stockage des déchets sur le chantier.	

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maîtrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Réduction des nuisances, pollutions et consommations de ressources engendrées par le chantier	Le respect des riverains est un critère important : - Etablir une concertation avec les riverains - Mettre en place des exigences acoustiques sur les engins de chantiers. Décrire précisément les impacts potentiels des activités et les mesures mises en place pour les réduire (perturbation du trafic routier, pollution sonore). Définir l'emplacement des différents dispositifs sur le chantier ainsi que les éléments spécifiques à la démarche environnementale (zones de stockage, débordements, ...). Elaborer des fiches de suivi permettant le contrôle du bon fonctionnement des procédures environnementales.	Intégrer les points suivants dans une charte chantier à faibles nuisances. Programmer les réunions de suivi et communiquer sur le bilan environnemental. Informers les riverains des différents désagréments pouvant être occasionnés par le chantier. Récolter et tenir à disposition les documents d'informations sur la sécurité concernant les produits, matériaux et engins présents sur le chantier. Plan de circulation des véhicules. Dispositifs adoptés. Fournir les fiches et les bordereaux quantitatifs de matériaux.	
Bilan de chantier	Etablir en fin de chantier un bilan environnemental du chantier (mesures prises, bilan quantitatif des déchets par type et filières de valorisation...)		

Santé

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

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

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

Éléments contextuels

Climatisation et conditionnement d'air :

De nombreux locaux sont climatisés en Guyane sans traitement d'air neuf : c'est généralement le cas des bâtiments climatisés par des splits.

Le renouvellement d'air n'est donc pas assuré, hormis parfois par des systèmes de ventilation mécanique simples (VMC).

Les occupants d'un local sont donc soit confinés dans un air de mauvaise qualité, soit ont recours à une ventilation par ouverture de portes ou de fenêtres, avec toutes les conséquences négatives que cela engendre en terme de consommations d'énergie, ou de condensation.

Revêtements intérieurs et extérieurs :

L'utilisation de bois peut nécessiter un traitement extérieur (lasure, vernis) peu écologique ainsi qu'un traitement anti-termites nocif pour l'environnement.

De même la plupart des revêtements intérieurs contiennent des : COV (composés organiques volatils) dont l'impact sanitaire est important, en particulier les formaldéhydes.

Une démarche environnementale privilégiera donc les bois non traités et les vernis et lasures sans formaldéhydes et à très faible taux de COV).

Isolants :

Si ces composants sont essentiels pour la Maîtrise de l'Energie, l'impact environnemental et sur la santé humaine de la plupart des produits distribués en Guyane peut être problématique :

-Impact sanitaire des fibres minérales (isolation des faux plafonds, etc.. ...) qui devront être encapsulées pour ne pas être en contact avec les ambiances intérieures

-Impact global des isolants gonflées avec des gaz à Potentiel de Déplétion de la couche d'Ozone (ODP) non nul et à pouvoir de réchauffement global très élevé auquel on préférera par exemple des mousses gonflées au CO2

Moustiques

Les moustiques se développent dès l'apparition de stagnations d'eau et sont porteurs de risques de dengue voire de paludisme selon les endroits de la Guyane.

Autres nuisibles :

Les autres nuisibles potentiels pour la santé humaine sont chauves-souris qui affectionnent particulièrement les endroits sombres et peu ventilés des toitures. Des problèmes liés aux pigeons sont également souvent relevés.

Légionelles :

Les problèmes de légionelloses peuvent apparaître au niveau des chauffe-eau, mais ne sont pas liés en Guyane aux systèmes de climatisation centralisée.

Niveau de traitement et interaction des cibles

Le traitement des cibles de santé a un impact non seulement sur le confort mais aussi sur la gestion des ressources notamment l'eau et l'air

Qualité de l'air et de l'eau

Objectifs :

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

Thématiques	Maitrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maitrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Contrôle de la qualité de l'air neuf, ventilation et perméabilité de l'enveloppe	Bâtiments naturellement climatisés Bâtiments climatisés artificiellement Dispositifs d'introduction de l'air hygiénique Prendre en compte les contraintes de pollutions extérieures pour l'emplacement des prises d'air neuf Choix du système de ventilation : En cas d'installation simple ou double flux, réserver les passages de gaines en plan et en coupe	Indiquer sur les schémas de ventilation les sources de nuisances extérieures : - plantations pouvant provoquer des allergies - poussières - nœuds de circulation routière, - sources de bruit, moustiques, de fumées, d'odeurs, ... Indiquer par des schémas les principes de ventilation mécanique : - remplacement de la (des) source(s) d'air neuf - rejet de l'air vicié - typologie de la ventilation (naturelle ou VMC) Réervations de gaines en plan et en coupe Passages de gaines intérieures en plan et en coupe (en particulier, contraintes de l'installation de ventilation...)	
Contrôle de la qualité de l'air ambiant	Les matériaux et produits utilisés pour la conception d'un bâtiment peuvent se révéler très toxiques. Ils concernent essentiellement : - les peintures, solvants, lasures, traitements des façades (Composés Organiques Volatils, formaldéhydes) - les isolants Veiller à faire appliquer la réglementation sur le renouvellement d'air	Fournir les détails de produits ou systèmes utilisés pour : - les revêtements des parois intérieures et extérieures - l'isolation de toiture Renouvellement d'air neuf minimal réglementaire par occupant : - bureaux : 18 m³/h sauf pour les élèves des écoles et collèges 15m³/ - salles de réunion : 18 m³/h - locaux sanitaires : 15 m³/h	Fiche 2.4.1 Peinture écologique Charte OPTICLIM

Thématiques	Maîtrise d'ouvrage : Questionner sur les éléments ayant un fort impact environnemental Orienter la réflexion sur les choix fondamentaux à fortes incidences environnementales	Maîtrise d'œuvre : Quantifier les exigences. Justifier les réponses Les indicateurs pour quantifier « l'effort environnemental »	Pour en savoir plus
Contrôle de la qualité de l'eau	Les sources de contamination de l'eau sont diverses : eau chaude sanitaire, eau courante, eaux usées. Le Maître d'Ouvrage devra en outre s'assurer, lors du fonctionnement du bâtiment, de prévoir des produits d'entretien sains.	Eviter les « bras morts » des circuits d'eau chaude Prévoir une synoptique en cas de récupération d'eau de pluie (potable, non-potable) Eviter les zones de nidification potentielle des moustiques	Charte Qualisol Antilles-Guyane

Conditions sanitaires

Objectif :

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

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

PARTIE 4 : ATTEINDRE LA CIBLE ENERGETIQUE

.I. Concevoir avec le climat : les outils fondamentaux

.I.1. Les données météorologiques indispensables

Le confort ressenti dans un bâtiment tertiaire ou dans l'habitat n'est jamais indépendant des conditions climatiques extérieures. Cette idée, qui pourrait paraître évidente, conduit néanmoins à envisager la conception des bâtiments et la maîtrise du confort comme les résultantes des conditions climatiques locales et non pas comme une norme universelle applicable en tout lieu du globe. La recherche du confort en zones chaudes et humides doit ainsi être détachée de celle développée en zones tempérées, cette dernière étant dominée par des problématiques de chauffage. Cette posture permet de modérer le rôle joué par les systèmes de contrôle des températures intérieures et d'humidité : la recherche d'un confort raisonnable vis-à-vis des conditions climatiques locales est la première condition pour réduire une sollicitation excessive des systèmes de refroidissement ou de climatisation.

Quatre variables sont ainsi prédominantes dans la maîtrise du confort vis-à-vis du climat local : la température de l'air extérieur, l'humidité relative, le niveau d'ensoleillement et la direction et l'intensité des vents dominants.

.I.2. Diagramme des conditions météorologiques et zone de confort

Le confort thermique est une sensation complexe relative à l'environnement climatique, qui résulte de facteurs physiques, physiologiques et psychologiques. On appelle ambiance confortable, une ambiance pour laquelle l'organisme humain peut maintenir constante sa température corporelle (homéothermie) sans mettre en jeu d'une manière perceptible (donc désagréable) ses mécanismes de thermorégulation. Le confort thermique se définit alors par l'absence d'inconfort.

La source de chaleur interne due au métabolisme stabilise le corps à 37°C environ. Afin d'éviter une augmentation de la température du corps, l'organisme évacue la quantité de chaleur au fur et à mesure de sa production.

Les 4 modes d'échanges établis entre le corps et l'ambiance sont :

- La conduction : il s'agit des échanges thermiques qui ont lieu quand le corps est en contact avec une surface (lorsque la main touche une surface chaude ou froide par exemple). Ces échanges sont limités en importance.
- Le rayonnement : il s'agit des échanges de rayonnements infrarouges avec les parois qui peuvent être chaudes ou froides (à proximité d'un mur qui a été exposé au soleil dans la journée : on ressent une sensation de chaleur, sans toucher le mur).
- La convection : il s'agit des échanges de chaleur liés au mouvement de l'air autour du corps. Ils sont d'autant plus intenses que la vitesse de l'air est importante et que l'écart de température entre l'air et le corps est grand.
- L'évaporation : La puissance échangée par évaporation a lieu à 2 niveaux : la respiration et la sudation.

La qualité de l'enveloppe est déterminante pour réduire au minimum ces échanges entre le corps et l'ambiance et limiter ainsi des efforts trop importants de thermorégulation. Les choix constructifs (inertie et isolation du bâtiment, conception des vitrages et des dispositifs de protection solaire) déterminent en grande partie les conditions d'échange par conduction et rayonnement: température de l'air, températures des parois. Le contrôle de l'humidité et de la vitesse de l'air intervient quant à lui dans la maîtrise des échanges par convection et évaporation.

Il est, ici, inutile de rappeler combien la température de l'air agit sur la perception du confort tant cette dimension fait partie du sens commun. Cette température est même souvent considérée, à tort, comme la seule donnée décrivant un climat local. Il est important de signaler qu'il est bien plus pertinent de considérer l'écart entre la température extérieure et la température intérieure (dite de consigne), ce dernier renseignant dans une certaine mesure l'effort énergétique que devront fournir l'enveloppe du bâtiment et les systèmes de refroidissement ou de rafraîchissement pour atteindre un confort raisonnable.

Trois données relatives à cet écart sont à considérer dans la conception d'un bâtiment en zone tropicale : les écarts entre la température de consigne avec les maximales et les minimales et degrés-heures.

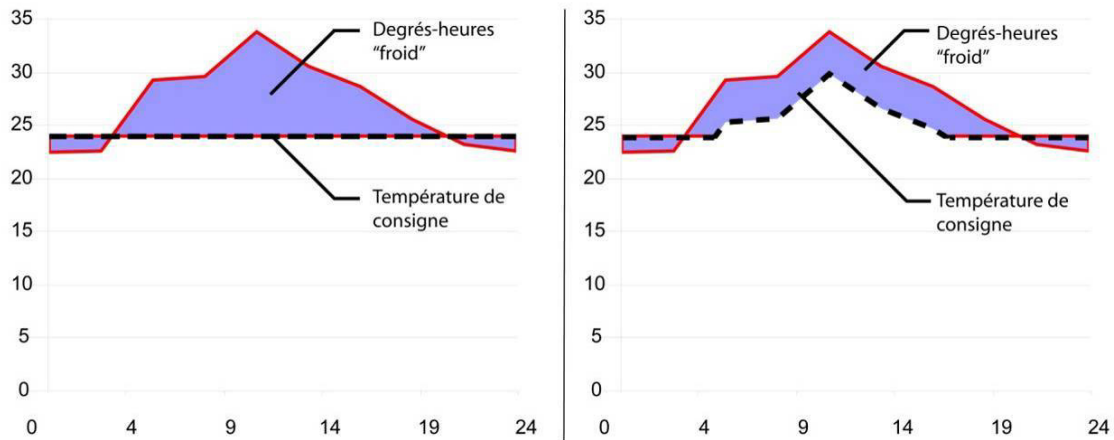


Figure 13 - Température de consigne et quantité de degrés-heures pour une journée (le 9 février 1990)

La quantité de degrés-heures « froid » indique dans quelle mesure la température extérieure est supérieure à la température de consigne tout en intégrant à cette donnée la durée cumulée pendant laquelle l'enveloppe et les systèmes devront être mobilisés pour refroidir ou rafraîchir le bâtiment. Il est indispensable de préciser ici que la température de consigne ne doit pas nécessairement être envisagée comme une donnée constante dans le temps. Dans le cas d'un confort adaptatif (les occupants du bâtiment se vêtissent en fonction du climat du jour) ou du rafraîchissement, la température de consigne varie en fonction de la température extérieure afin de maintenir un écart constant (ou le plus stable possible). D'un point de vue énergétique, cette manière d'appréhender le confort permet de réduire significativement les degrés-heures et donc les consommations d'énergie induites. Il est admis qu'elle réduit également certains effets négatifs sur la santé, notamment ceux résultant d'un « choc » thermique provoqué par de trop grands écarts entre l'air extérieur et l'air intérieur.

Température extérieure	Température intérieure
24°C	22°C
25°C	22°C à 24°C
28°C	24°C à 25°C
30°C	25°C à 26°C
32°C	27°C
34°C	28°C

Tableau 4 - Ecart de températures acceptables dans le cas d'un confort adaptatif

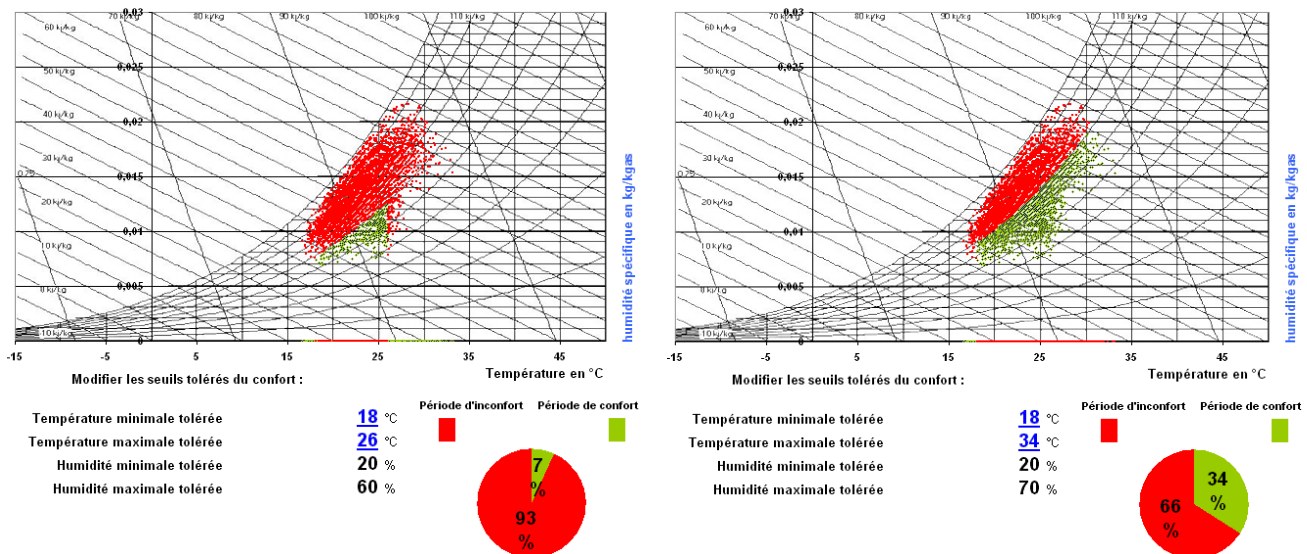
Dans la zone intertropicale, les variations de températures sont relativement peu marquées. Elles sont comprises entre 15°C et 35°C entre les saisons pour une valeur moyenne de 25°C à 26°C. Plus on se rapproche de l'équateur plus les différences de températures diminuent. De même l'écart des températures diurnes et nocturnes reste faible (entre 4°C et 10°C) et diminue avec la proximité de la mer.

Outre les questions d'écart de température, le confort thermique est tributaire des conditions d'humidité. L'être humain est extrêmement sensible à cette dimension qu'il est important de préciser d'autant qu'elle est loin d'être totalement intuitive.

L'air, outre de nombreux gaz entrant dans sa composition, contient une quantité non négligeable d'eau. Cette eau s'y trouve généralement sous la forme de vapeur. La physique nous apprend que l'air ne peut contenir, sous forme gazeuse, plus d'une certaine quantité d'eau. Cette quantité d'humidité dépend en premier lieu de la pression atmosphérique et de la température (plus la température de l'air est importante, plus les quantités de vapeur d'eau qu'il pourra contenir seront importantes : 1 kg d'air sec à 10 °C peut en contenir jusqu'à 7,6 g et à 20°C jusqu'à 14,7 g). On appelle cette quantité maximale de vapeur d'eau « quantité de saturation ». Lorsque, à une température et une pression atmosphérique données, la vapeur d'eau dépasse cette valeur, l'eau contenue dans l'air se condense pour former des gouttelettes sur les parois (rosée).

La physique et l'ingénierie climatique ont adopté une représentation graphique baptisée diagramme de l'air humide (ou diagramme psychrométrique).

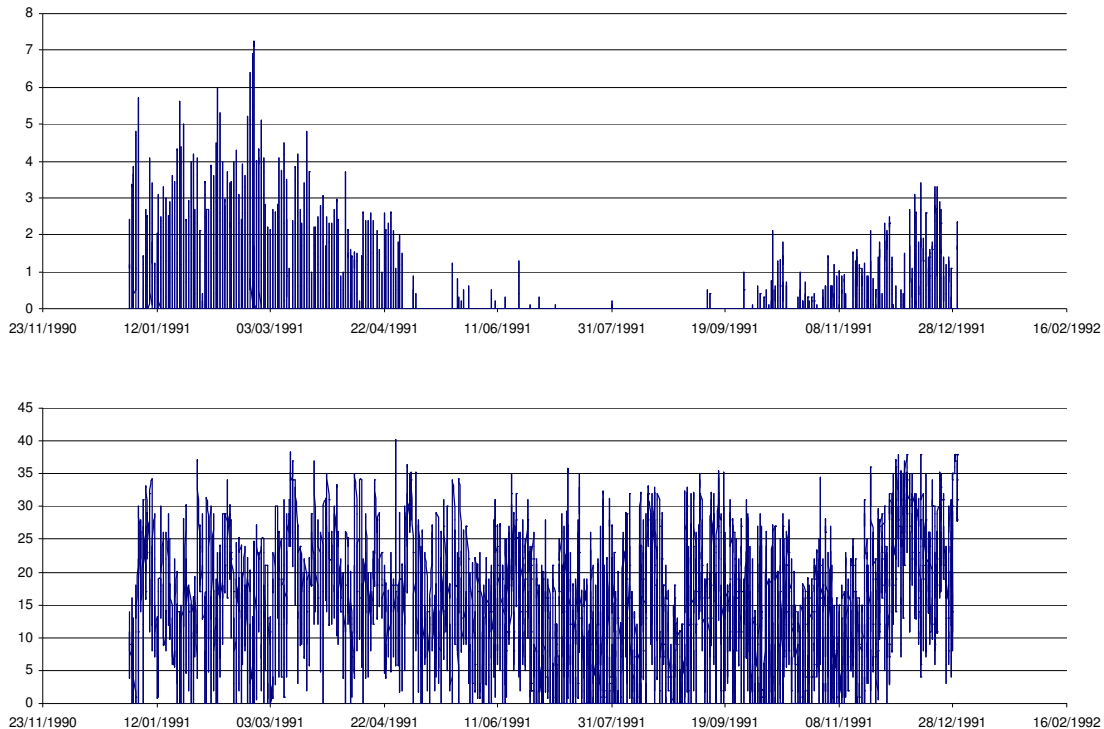
Ce diagramme enthalpique permet principalement de lire les températures de l'air et en ordonnées la quantité d'eau par masse d'air sec- appelée aussi humidité spécifique. Les courbes croissantes symbolisent l'humidité relative, c'est-à-dire la pression de vapeur présente dans une particule d'air rapportée à la pression de vapeur saturante. Cette humidité est exprimée en pourcentage. On la distingue de l'humidité absolue ou spécifique qui exprime la masse de vapeur d'eau associée à chaque kilogramme d'air sec.



Les variations du confort ressenti sont, jusqu'à un certain seuil, plus sensibles aux conditions d'humidité relative que d'humidité absolue ou spécifique. En effet, un air contenant 15 g d'eau par kg air sec à 25 °C (soit 50 % d'humidité relative, HR) sera regardé comme répondant au confort alors qu'il sera ressenti comme plus sec à 35 °C (30 % d'HR). On estime généralement le confort hygrothermique dans un local dont l'air est calme, comme un intervalle de température (plus ou moins grand selon le niveau de tolérance admis) compris entre 22 et 25 °C et d'humidité relative variant autour de 50 % d'HR. Plus l'intervalle de tolérance sera grand, moins sera importante la sollicitation sur le système de refroidissement ou de climatisation.

Lorsque l'humidité relative est trop basse, une sensation de sécheresse de l'air est perçue par l'organisme, notamment par les muqueuses de la bouche et du pharynx. A l'inverse, si l'air est trop chargé en humidité, le corps peine à évaporer la sueur produite. Cette situation d'hyperthermie caractérise particulièrement le milieu tropical humide.

En effet, dans ces climats, les valeurs moyennes d'humidité relative se situent dans une fourchette allant de 70% à 85%, les minima atteignant rarement moins de 60%. L'humidité relative moyenne s'accroît d'environ 5% par tranche de 5° de latitude, au fur et à mesure qu'on se rapproche de l'équateur. L'humidité absolue reste élevée : entre 14 et 20 grammes d'eau par kilogramme d'air sec contre 5 à 10 grammes en zone tempérée.



Les données de température et d'humidité d'un climat local renseignent d'une part sur la fréquence et la durée pendant lesquelles celui-ci est en adéquation avec la zone de confort hygrométrique recommandée et sur les efforts énergétiques que devront fournir l'enveloppe et surtout les systèmes quand il ne l'est pas. Ces efforts concernent principalement le refroidissement de l'air et sa déshumidification. En effet, le diagramme de l'air humide illustre l'effort énergétique qu'on se doit de mobiliser pour passer d'un air chaud et humide à un air tempéré avoisinant les 50 % : cet effort concerne en même temps une énergie (exprimée par l'enthalpie) de refroidissement et une déshumidification (diminution de l'humidité spécifique). Plus l'air sera durablement humide et chaud plus les systèmes seront sollicités. Un levier non négligeable dans une approche respectueuse de l'environnement sera ainsi l'élargissement (dans une mesure raisonnable bien entendu) de l'intervalle de tolérance des températures et d'humidité de confort.

Pour élargir cet intervalle, un autre levier peut également être actionné : la vitesse de l'air. On modifie ici, une température perçue et non pas mesurée. L'air est un excellent isolant thermique. Lorsqu'il n'y a pas de mouvement d'air une pellicule d'air chaud se forme autour de la personne. Le vent permet de chasser cet air réchauffé et de mettre la peau au contact de l'air ambiant. Lorsque la température est élevée, l'eau du corps s'évapore. Les mouvements d'air sèchent la surface de la peau et favorisent l'évaporation donc le refroidissement.

Ces échanges thermiques par conduction et évaporation entre le corps et l'air ambiant expliquent pourquoi un air circulant à une vitesse importante augmente la sensation de fraîcheur et pourquoi on tolère alors des températures plus élevées que dans une ambiance d'air calme. L'inconfort déjà sensible à 29°C, peut être réduit grâce à une vitesse d'air de 1 m/s de l'ordre de 3 à 4°C.

Il est cependant recommandé des vitesses maximales à ne pas dépasser. Ainsi une personne au repos considérera une vitesse d'air comprise entre 0,15 et 0,3 m/s comme agréable. Au-delà de 0,3 m/s, l'individu ressent les courants d'air.

Pour augmenter la vitesse de l'air, plusieurs techniques sont envisageables dans le bâtiment : des systèmes mécaniques (brasseur d'air bien moins énergivores que la climatisation) et des systèmes passifs favorisant la circulation d'un air traversant (par exemple, en jouant, avec les ouvertures, sur les différences de pression entre les façades Nord et sud).

Optimiser le confort d'un local en zone intertropicale passe donc par des besoins de rafraîchissement. La climatisation ne suffisant pas à corriger tous types d'inconfort, il convient de limiter conjointement ces besoins en rafraîchissement en contrôlant le niveau d'ensoleillement du bâtiment.

.I.3. Maîtriser l'ensoleillement

Il est nécessaire de comprendre la géométrie solaire afin de réduire des apports énergétiques indésirables. Les protections solaires jouent dans ce cas-là, un rôle non négligeable. Ce rôle consiste d'une part, à éviter les apports de chaleur (réduire au maximum l'impact du rayonnement direct sur la paroi vitrée) et d'autre part à permettre un éclairage naturel du local (exploiter le rayonnement diffus et réfléchi).

Un rayonnement vertical, comme c'est le cas dans les zones intertropicales, conduit généralement à considérer que des protections solaires horizontales de type auvent sont suffisantes. Or, l'expérience montre que les apports par rayonnement direct sont très sensibles à de faibles variations des dimensions des protections. Il s'agit ici d'exposer les principaux éléments qui déterminent la trajectoire solaire et de mieux comprendre les effets de son incidence sur le bâtiment. De cet examen, sont déduits les éléments de conception de l'enveloppe qui peuvent participer à la protection au rayonnement direct.

.I.3.1. Trajectoires solaires

• La position du soleil

La position du soleil dans la voûte céleste dépend de deux variables : des variables temporelles, jour de l'année et heure de la journée et des variables spatiales, position sur le globe donnée par la latitude et la longitude.

Les variables temporelles de la position du soleil se traduisent par 2 angles.

- La déclinaison exprimée en degré, traduit l'angle du rayonnement solaire (plan de l'orbite de la terre) par rapport à un plan parallèle à l'équateur. L'inclinaison du plan de l'équateur par rapport au plan de l'orbite terrestre évolue au cours de l'année. A l'équinoxe, le plan de l'équateur se superpose au plan de l'orbite terrestre, aux solstices l'angle entre plan de l'équateur et plan de l'orbite terrestre est maximum.

Equinoxe : $\delta=0$

Solstice d'été : $\delta=+23,45^\circ$

Solstice d'hiver : $\delta = -23,45^\circ$

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left[\left(j+284\right) \frac{360}{365}\right]$$

- La déviation angulaire horaire exprime un cycle de rotation apparent du soleil autour de la terre, effectué en 24 heures (360°/24, soit 15°/h).

$$\omega = 15(12-t)$$

Par convention, ω prend la valeur 0 à midi solaire. Expression de l'angle horaire compté depuis midi exprimée en degrés et t représentant l'heure solaire.

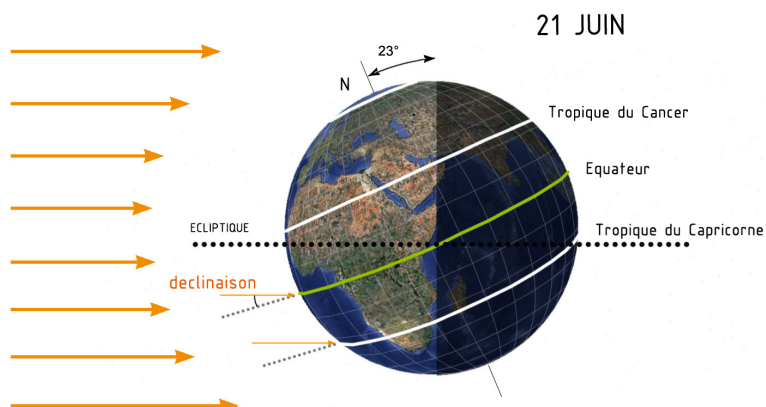


Figure 14- solstice d'été – la durée du jour est la plus longue dans l'hémisphère Nord et la plus courte dans l'hémisphère sud.

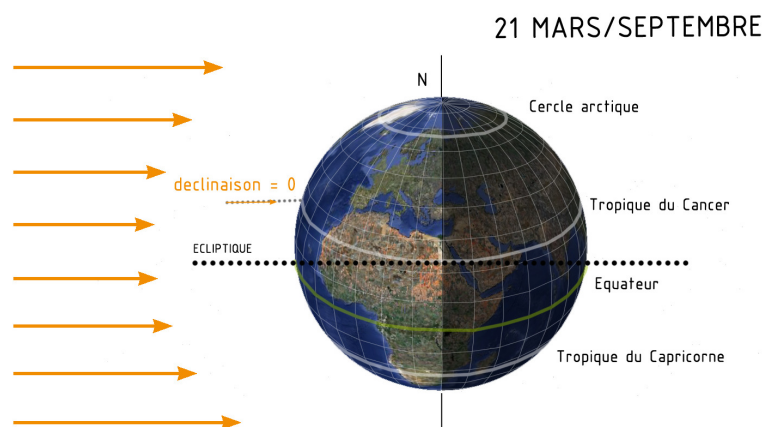


Figure 15 – équinoxe – la durée du jour et de la nuit sont identiques à tout point du globe

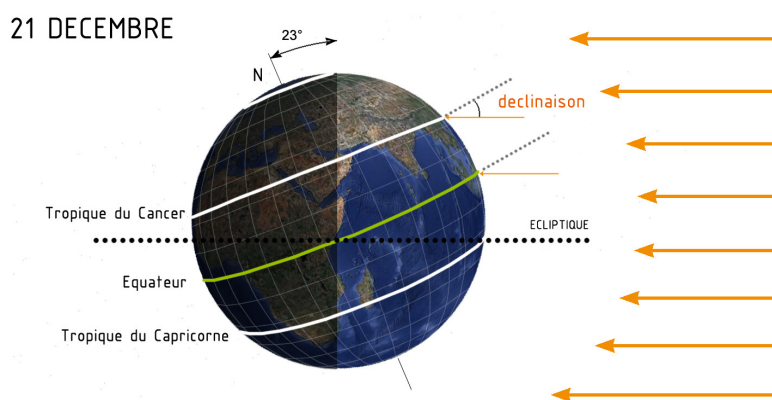


Figure 16 – solstice d'hiver - la durée du jour est la plus courte dans l'hémisphère Nord et la plus longue dans l'hémisphère sud

• Les projections sphériques :

Un observateur perçoit cette course solaire dans l'espace infini et illimité de la voûte céleste. Il convient pourtant de la représenter de façon conventionnelle dans un espace fini. La projection sphérique permet de projeter sur un plan bidimensionnel le parcours du soleil. Cette représentation angulaire est axée sur le nadir. Vu d'un point donné de la terre, le soleil suit alors une course dont chaque position est déterminée par une hauteur et un azimut.

La hauteur H est l'angle formé par la direction du soleil et le plan horizontal :

$$\sin H = \sin L \cdot \sin \delta + \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos L$$

L'azimut est l'angle formé par la direction du soleil avec le plan vertical Nord-sud :

$$\sin Az = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos H}$$

La hauteur et l'azimut du soleil varient d'heure en heure mais aussi suivant le rythme des saisons. La connaissance de ces angles pour un lieu donné est essentielle pour déterminer :

- les durées d'ensoleillement,
- l'intensité du rayonnement reçu,
- la proportion de rayonnement solaire réfléchi et absorbé par les parois.

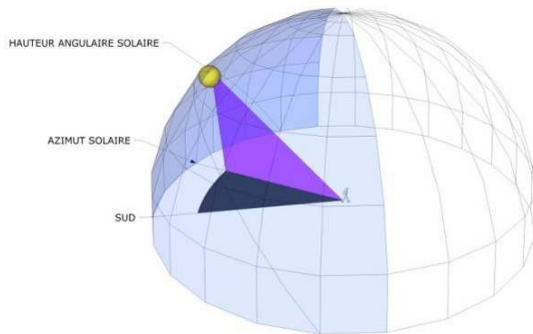


Figure 17 – représentation tridimensionnelle de l'hémisphère fictive

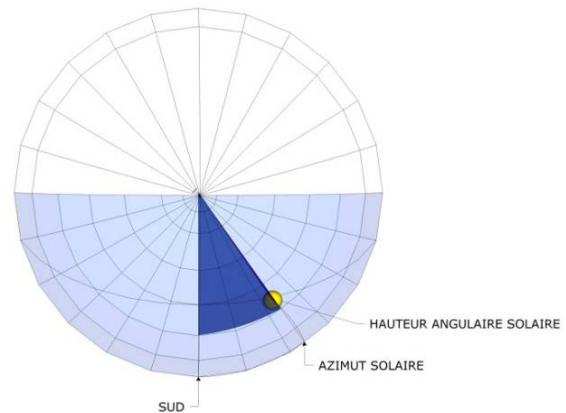


Figure 18 – projection en plan de cet hémisphère fictive

La représentation des ces projections sphériques est appelée diagramme solaire. Le cercle extérieur représente l'horizon (hauteur du soleil $H=0^\circ$), le centre représente le zénith ($H=90^\circ$). Les azimuts sont représentés par les rayons.

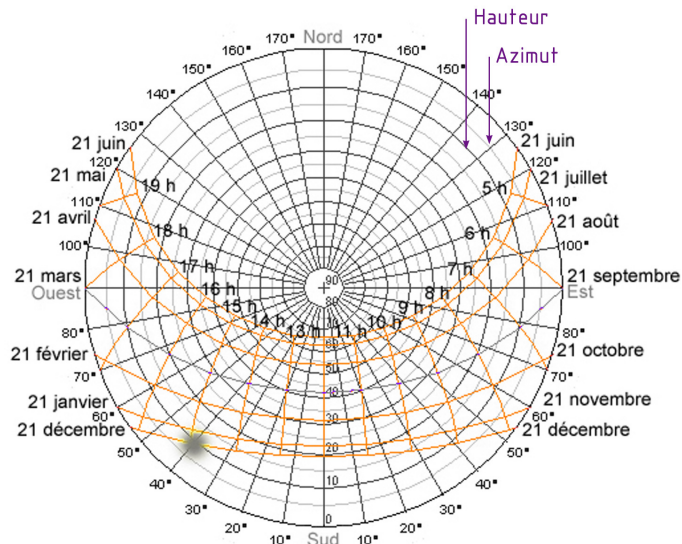


Figure 19 – exemple de diagramme solaire

Le diagramme solaire permet également de visualiser les effets de masque et la durée d'ensoleillement :

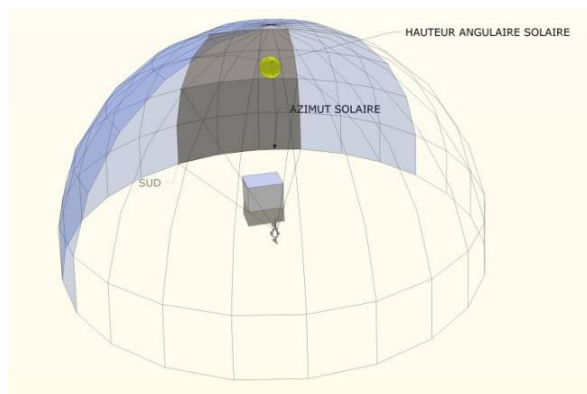


Figure 20 – représentation tridimensionnelle de la voûte céleste et effet de masque d'un objet

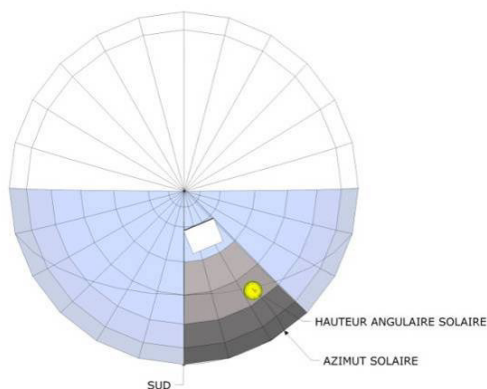


Figure 21 – représentation en plan de l'effet de masque.

- **Trajectoire du soleil dans les régions à climat chaud et humide**

Les régions concernées par ce guide sont comprises entre les tropiques du cancer et du capricorne.

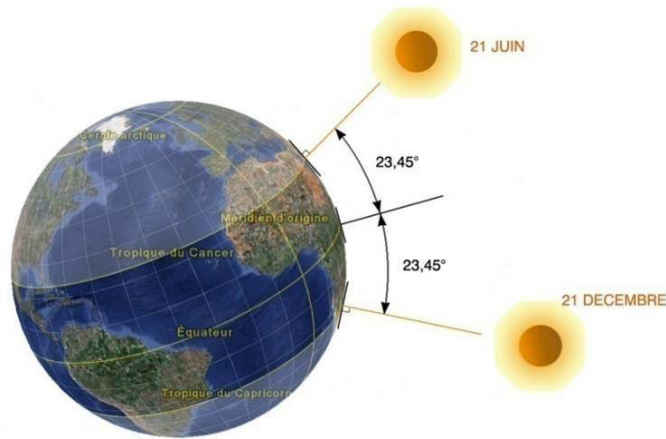


Figure 22 – Zones tropicales

Si on compare les diagrammes solaires des 3 latitudes : Tropiques du cancer ($23,45^\circ$ nord), Equateur, tropique du Capricorne ($23,45^\circ$ sud) à un diagramme solaire d'une latitude supérieure dans l'hémisphère nord, on remarque que la variation de hauteur d'une saison à l'autre est faible.

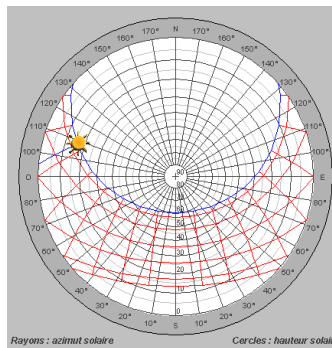


Figure 10 – diagramme solaire de Dublin (latitude : $53,30^\circ$ nord, longitude : 6° est)

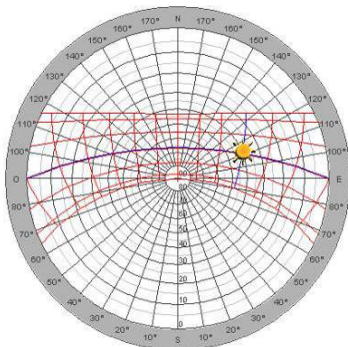


Figure 11 – tropique du Cancer

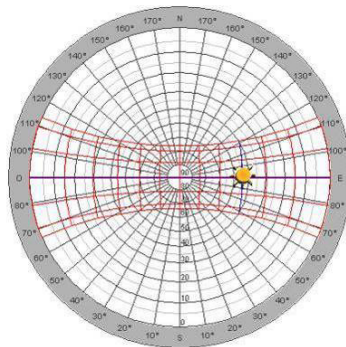


Figure 12 – Equateur

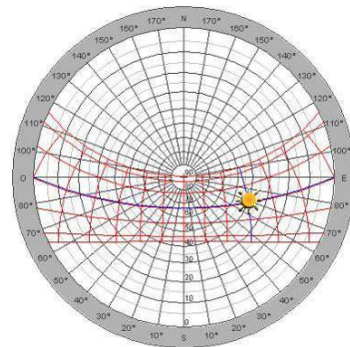


Figure 13 – tropique du Capricorne

Au niveau du tropique du Cancer, dans l'hémisphère nord, le soleil est au plus haut (90°) le 21 juin et au plus bas le 21 décembre (45°).

Au niveau de l'Equateur, le soleil est au plus haut (90°) à l'équinoxe tandis qu'il est au plus bas (65°) aux solstices.

Au niveau du tropique du Capricorne, dans l'hémisphère sud. Le soleil est au plus haut (90°) le 21 décembre et au plus bas le 21 juin (45°).

.I.3.2. Protection solaire des composants de l'enveloppe

Connaître à tout moment l'énergie solaire effectivement reçue sur l'enveloppe permet de concevoir correctement cette dernière mais aussi d'anticiper l'orientation optimale ainsi que le type de protections solaires envisageable. Des logiciels Informatiques de simulation de l'ensoleillement constituent des outils d'aide à la conception.

L'orientation d'un bâtiment dépend de la nécessité ou non de profiter des apports solaires (notamment en saison froide). Ainsi, en climats chauds on privilégiera un axe longitudinal Est/Ouest de façon à réduire l'exposition au soleil bas des façades dont il est difficile de se protéger. Malgré tout, on aura tendance à s'écarter de cet axe en climat désertique ou méditerranéen où les apports solaires peuvent être valorisés durant la saison froide, en direct par les vitrages ou la nuit, grâce à un déphasage des apports rendu disponible par un jeu sur l'inertie du bâtiment.

Les systèmes d'occultation d'un bâtiment peuvent être de tout ordre, on les classe généralement en 3 typologies :

- les projections horizontales (auvents)
- les loggia (protection horizontale et protections verticales)
- Les brise-soleil ou lames.

On distingue généralement les lames verticales qui sont plus adaptées à un soleil bas et donc aux orientations du matin et du soir (Est ou Ouest), des lames horizontales, plus adaptées à un soleil haut et frontal (orientation nord ou sud en fonction de l'hémisphère).



Photo 1 - 1. avancée de toit -2. auvent en brise-soleil. 3. protections latérales ajourées - 4. Loggia sur deux niveaux - 5. renforcement de la fenêtre - 6. brise-soleil horizontaux¹⁸

¹⁸ 1. [<http://www.panoramio.com/photo/8139925>] -2. [Los Angeles Getty Richard Meier]. 3. [collège Weiler Montgeron Phillipe Gazeau] - 4. [logements Bordeaux Bastide Ateliers Lion] - 5. [<http://unattimo.unblog.fr/tag/ombres/page/2>] - 6. [<http://www.somarser.fr/brise-soleil-auvent.html>]

Dans les climats plus chauds, lorsque les parois opaques ne sont pas isolées thermiquement, les masques peuvent être conçus pour la totalité des parois verticales et s'étendre aux surfaces de toitures, pour former une double enveloppe. En complément des détails architecturaux de l'enveloppe, l'environnement proche ou lointain (la végétation par exemple) peut également affecter l'exposition des parois vitrées au rayonnement direct ou diffus et, par conséquent, limiter l'ampleur de l'énergie transmise au local.

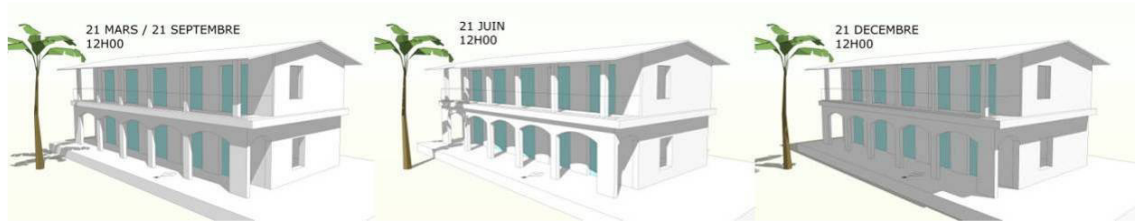


Figure 15 – Débord de toit à l'étage et galerie en rez-de-chaussée créent une double enveloppe et optimisent l'ombre portée sur la paroi.

• Etude de cas : Maison à Saint-Denis de la Réunion

Pour illustrer la démarche à suivre pour le choix et le dimensionnement d'une protection solaire satisfaisante on prendra, à partir d'ici, l'exemple d'une maison située à Saint-Denis de la Réunion. Les variables spatiales sont: Latitude : 20° Sud, Longitude : 55° Est.

On a choisi d'employer ici un logiciel en ligne¹⁹ dédié aux architectes, bureaux d'études, maîtres d'ouvrage dans les secteurs du bâtiment, de l'environnement, de la construction- réhabilitation qui a pour objectif de réaliser un système opérationnel d'auto formation à distance au contrôle d'environnement. Ces outils permettent de produire le diagramme solaire de la latitude concernée. Ce logiciel donne également la hauteur du soleil tout au long de la journée à une date précise, la durée du jour, les heures de lever et de coucher du soleil.

A la Réunion, comme dans les Tropiques en général, les écarts de températures et d'hygrométries sont faibles d'une saison à l'autre. Le graphique ci-dessous (figure 16@) montre que les mois de janvier, février et mars correspondent aux mois chauds où l'ensoleillement est le plus fort. La figure 17 montre que cette période correspond aux mois où le soleil est le plus haut. Pour concevoir une protection solaire efficace, on ne se base pas sur ces mois les plus ensoleillés mais on prend en compte la contrainte d'ensoleillement la plus forte, c'est à dire quand le soleil est au plus bas. On peut trouver cette date grâce au diagramme solaire. A Saint-Denis de la Réunion, le soleil est au plus bas le 21 décembre (hauteur du soleil : 45°).

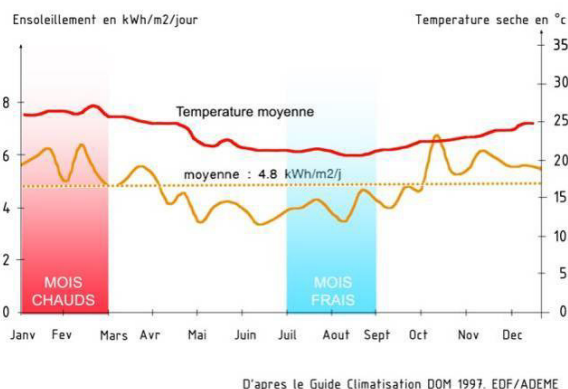


Figure 16 - Evolution de la température durant l'année

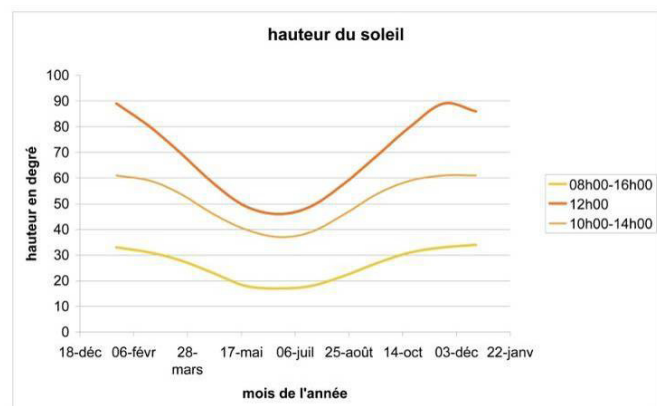


Figure 17 – Hauteur du soleil au long de l'année

¹⁹ « Audience » -Programme Léonardo -Laboratoire CERMA, UMR CNRS 1561 - Ecole d'Architecture de Nantes, rue Massenet, 44300 Nantes - tel 02 40 59 43 24

• Dimensionnement d'une protection solaire à partir d'une validation géométrique :

Plusieurs ouvrages proposent des méthodes de calcul géométrique pour dimensionner des masques solaires, on retiendra les principaux :

- Victor Olgyay, « Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism », Journal of Architectural Education (1947-1974), Vol. 18, No. 3 (Dec., 1963)
- B.Givoni, « L'homme, l'architecture et le climat », éd le Moniteur, Paris, 1978

Ci-dessous un exemple de formule permettant d'évaluer l'effet de masque d'une protection solaire.

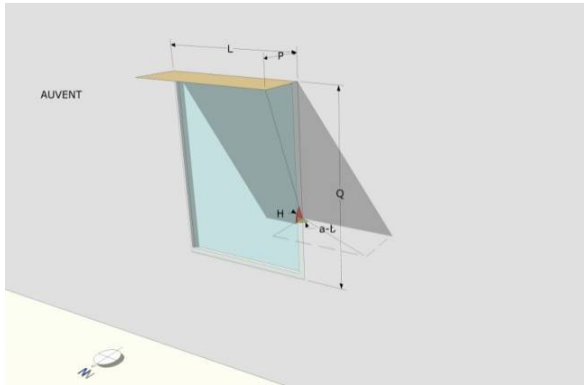


Figure 18 - auvent

Soleil : H =hauteur, a =azimut solaire, b = azimut de la façade
 Hauteur de l'ombre : $Q = P \times \tan H / \cos(a-b)$
 Soit Z la surface ombragée (en négligeant l'effet de bord)
 $Z = Q/H = (P/H) \times \tan H / \cos(a-b)$
 Z reçoit le rayonnement diffus
 $(1-Z)$ fraction qui reçoit le rayonnement direct
 Pour éviter l'effet de bord : il faut un débord latéral $D = P \times \tan(a-b)$

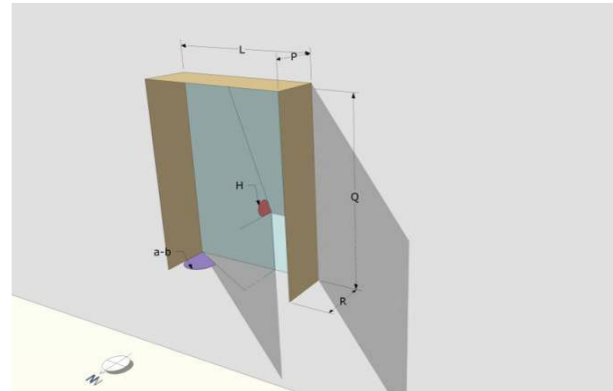


Figure 19 – effet de loggia

Soleil : H =hauteur, a =azimut solaire, b = azimut de la façade
 Soit Z la surface ombragée (en négligeant l'effet de bord)
 $Z = R/L \tan(a-b) + (R/H \times [\tan H / \cos(a-b)] - (R^2/LH) \times \tan H \times \tan(a-b) / \cos(a-b)$
 Z reçoit le rayonnement diffus
 $(1-Z)$ fraction qui reçoit le rayonnement direct

• Dimensionnement d'une protection solaire à partir d'une validation visuelle :

Dans cette partie, on utilise un logiciel de modélisation 3D²⁰, téléchargeable sur Internet et gratuit. Ce logiciel permet de modéliser un bâtiment et de l'orienter selon les directions Nord-sud et est-ouest. On peut y simuler la projection des ombres sur les façades et sur le sol, d'un élément de l'enveloppe ou d'un élément lointain.

Pour être au plus près de la réalité dans notre modélisation, on utilise un autre logiciel également téléchargeable sur Internet et gratuit qui représente la terre à partir d'images satellites et de photos aériennes compilées²¹. La combinaison de ces deux modules intégrés, permet de représenter le bâtiment tel qu'il sera réalisé et de l'implanter virtuellement à l'endroit exact où il se situera sur le globe (latitude et longitude). Le logiciel intègre les données spatiales correspondant à l'emplacement et reproduit avec fidélité la trajectoire du soleil et les effets d'ombres à différentes périodes de l'année et de la journée. (méthode cf Annexes).

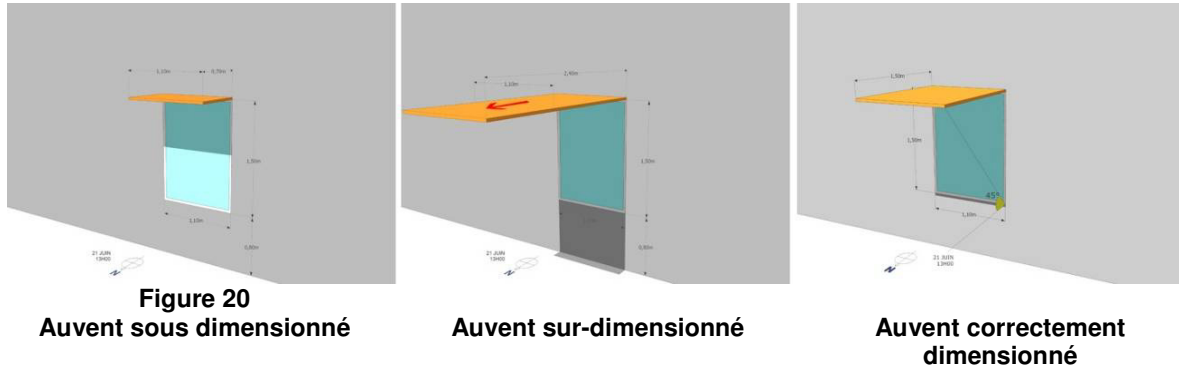
Grâce à cet outil, il est par exemple possible de modéliser une ouverture de 1,10m par 1,50m située à Saint-Denis de la Réunion et différentes protections solaires. On fait varier leurs caractéristiques (hauteur, largeur, profondeur...) de manière à n'avoir pratiquement jamais de rayonnement direct.

²⁰ logiciel Google SketchUp 6

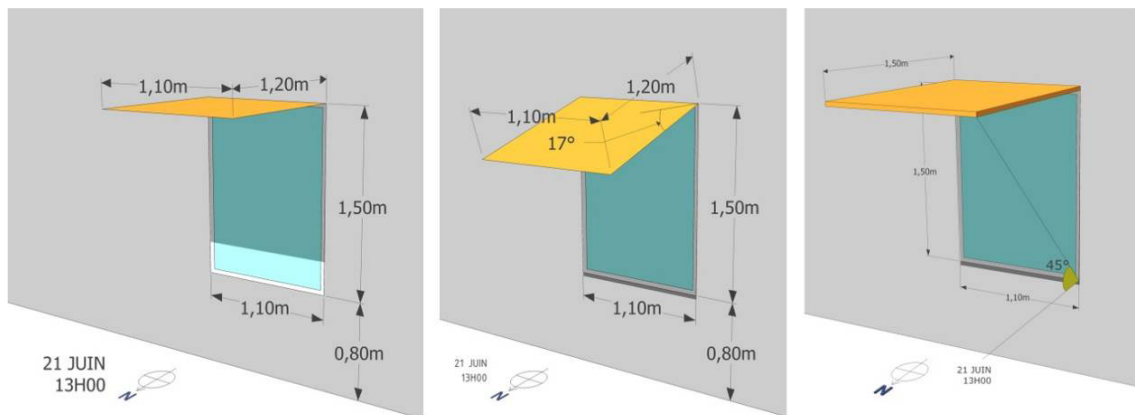
²¹ logiciel Google Earth ou plugin de google sketch-up : <http://sketchuptips.blogspot.com/2008/01/plugin-model-location.html>

Protection par un auvent horizontal :

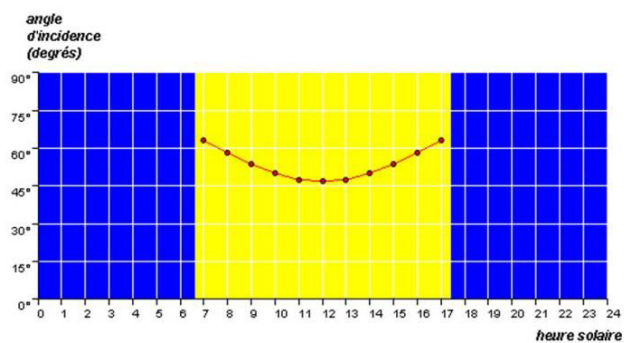
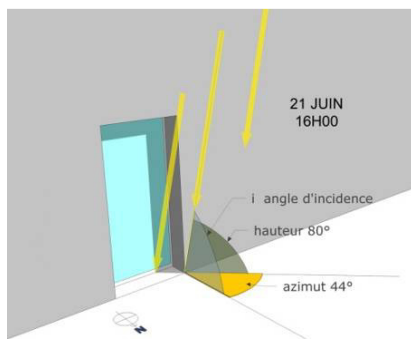
Pour débiter, on prend comme variables temporelles le 21 juin-12h00, quand le soleil est au zénith. A ce moment précis, la hauteur au cours de la journée est maximum (45°) et l'azimut nul. On ajuste la profondeur de l'auvent pour créer une ombre totale sur le vitrage.



L'inclinaison de l'auvent permet de diminuer sa profondeur. Ainsi un auvent de 1,20m de profondeur incliné de 17° protège autant du rayonnement direct qu'un auvent horizontal de 1,50m. Néanmoins, il laisse passer beaucoup moins de rayonnement diffus.



Au cours de la journée, l'angle d'incidence varie : 57° à 8 h 00 et 16 h 00 à 46° à 12 h 00.



Nous voyons ci-dessous, qu'un auvent de même largeur que le vitrage ne suffit pas à protéger celui-ci en dehors de l'heure de zénith.

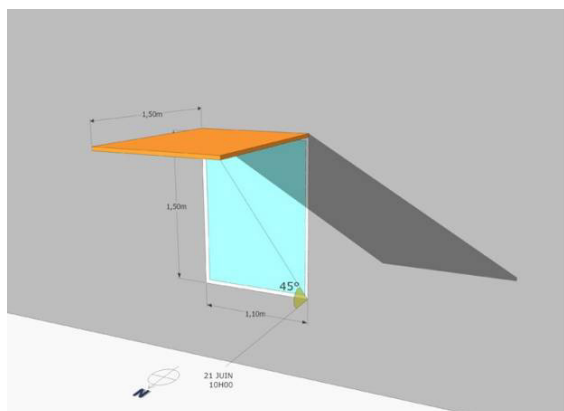
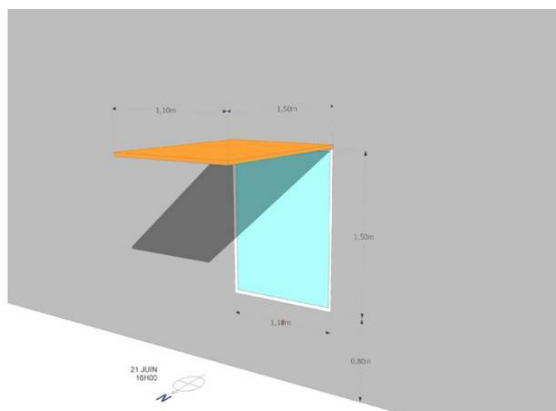


Figure 24
10H00 l'effet de masque est partiel



16H00 : même chose

On peut donc jouer sur la longueur du auvent afin de créer des débords latéraux.

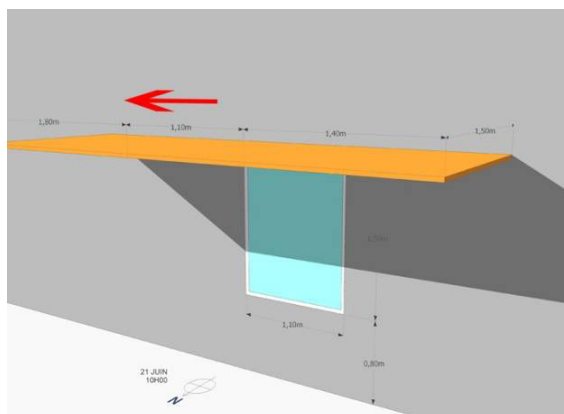
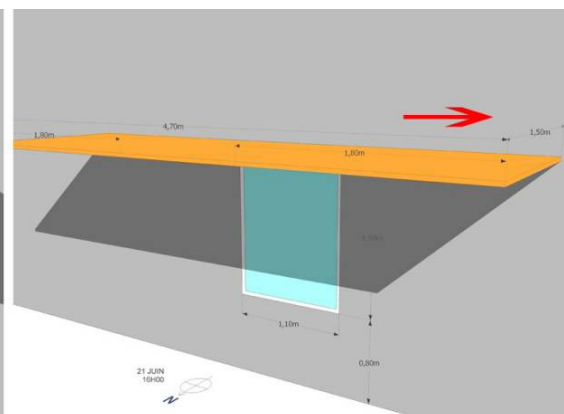


Figure 25
L'auvent s'étend vers l'est pour protéger du rayonnement direct du matin



L'auvent s'étire vers l'ouest pour protéger du rayonnement direct de l'après-midi

Dans notre exemple cet effet de débord n'est pas suffisant. Prenons un cas extrême : un auvent de 2,20m par 4,70m

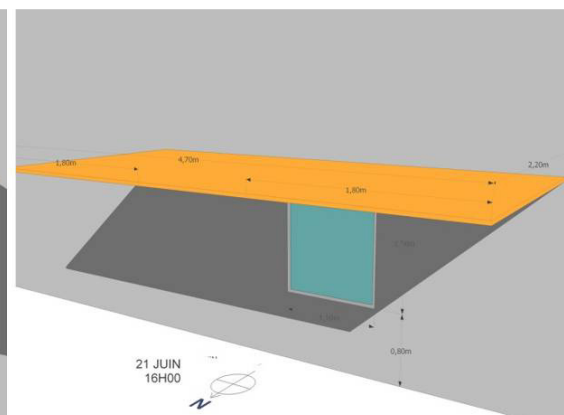
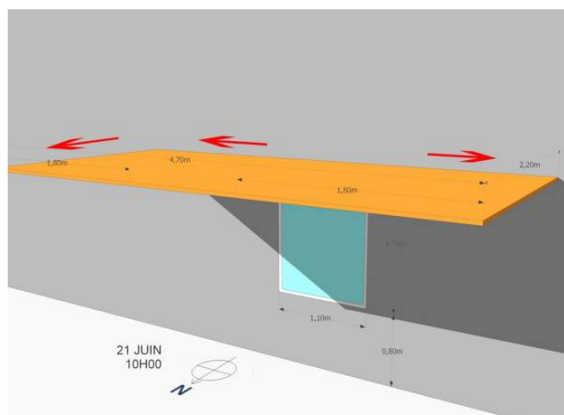


Figure 26 – auvent de 2,20 m de profondeur par 4,70 m de longueur.

Même avec de telles dimensions, l'effet de masque n'est pas optimal. On comprend donc l'utilité de grands débords de toits ou des balcons dans les latitudes tropicales.



Photo 2 - Maison malgache

http://lh6.ggpht.com/_JzoigsWk2zk/R2d36HZafel/AAAAAAAAAGQ/S6WbvNqeUTE/Imerimandroso+039.jpg



Photo 3 - Maison créole

<http://bo.resaplanet.com/upload/galleryphoto/11/70/maison-creole-ancienne.jpg>

Protection par une loggia :

Quand l'installation d'un auvent n'est pas suffisante, on peut ajouter des protections verticales en complément, ce qui revient à créer une loggia. Cette loggia peut-être comprise dans l'enveloppe si celle-ci est suffisamment épaisse. La fenêtre est alors en renforcement par rapport au nu de la façade.

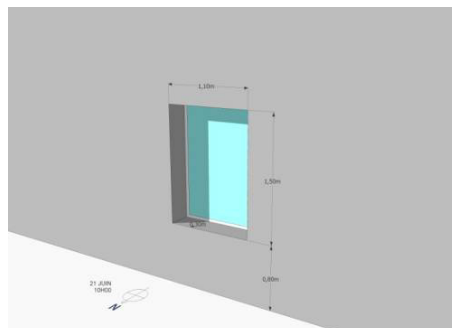


Figure 27 - fenêtre en renforcement

Dans le cas d'un climat tropical, un simple renforcement du vitrage ne suffit pas.

Si on reprend l'auvent d'une profondeur de 1.50 m, on ajoute des protections verticales de part et d'autre. On les dimensionne de telle sorte que l'ombre de milieu de matinée et de milieu d'après-midi couvre totalement le vitrage.

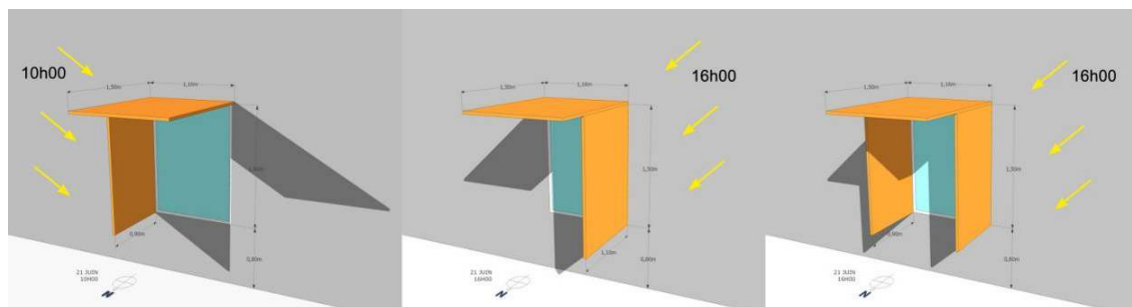
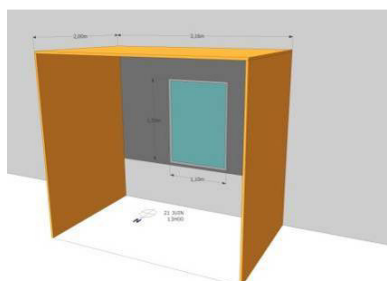
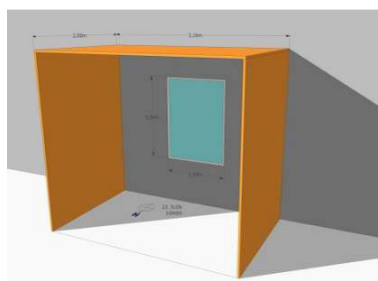


Figure 28 – Protection horizontale et verticale

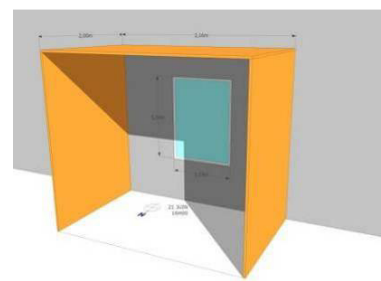
Dans notre exemple, une loggia efficace comprend une avancée horizontale de 1.50m de profondeur et des protections latérales de 1.10m de profondeur. Ce système réduit le champ de vision et l'apport de rayonnement diffus. Pour les augmenter, on peut reporter la loggia et la sur-dimensionner.



**Figure 29
12H00**



10H00



16H00

Protection par des lames horizontales :

Les brise-soleil sont une alternative aux systèmes d'enveloppe lourds à l'image d'une avancée de toit, d'un auvent ou d'une loggia. On peut estimer la surface à couvrir avec des lames horizontales grâce au pré-dimensionnement de l'auvent.

Nous l'avons vu précédemment, pour une fenêtre de 1,50m de haut par 1,10m de large, une protection horizontale de la même dimension permet de protéger la totalité de la fenêtre au zénith. On a donc besoin pour masquer le soleil d'une surface de 1,65m². On peut répartir cette surface uniforme en plusieurs lames. Le nombre de lames dépend de leur profondeur. Si on décide de mettre des lames de 10cm de profondeur on aura donc 15 lames espacées de 10cm (figure 29). De même si on veut des protections de 30cm de profondeur, 5 lames espacées de 30cm suffiront (figure 30).

Pour palier aux variations de l'angle d'incidence au cours de la journée on peut sur-dimensionner la longueur des lames et réduire l'écart entre chacune.

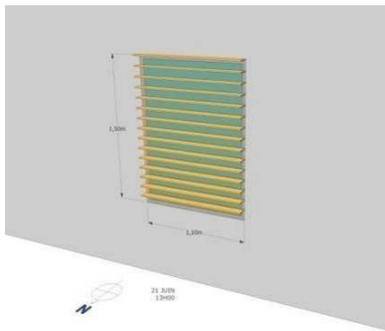
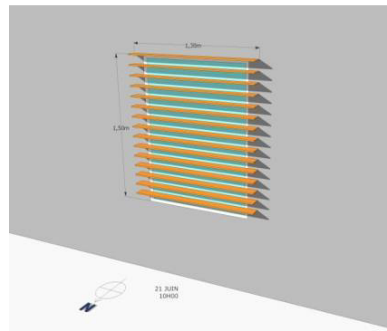


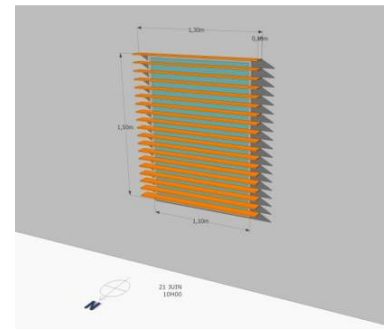
Figure 30
Dimensionnement pour 12 h 00

*15 lames profondeur : 10 cm,
longueur : 110cm, écart : 10cm*



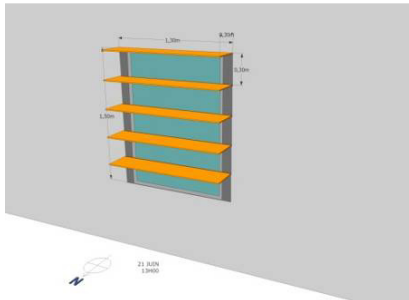
**10 h 00-augmentation de la
longueur**

*15 lames profondeur : 10 cm,
longueur : 130cm, écart : 10cm*



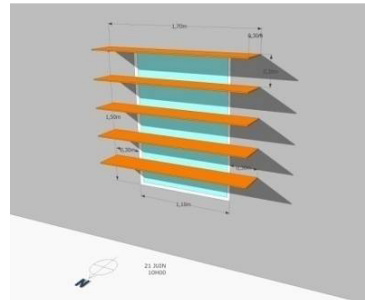
10 h 00 – réduction de l'écart

*19 lames profondeur : 10 cm,
longueur : 130cm, écart : 8 cm*



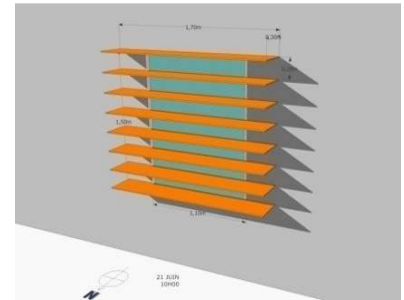
**Figure 31 Dimensionnement à
12 h 00**

*5 lames profondeur : 30 cm,
longueur : 110cm, écart : 30cm*



**10 h 00 - augmentation de la
longueur**

*5 lames profondeur : 30 cm,
longueur : 170cm, écart : 30cm*



10 h 00 – réduction de l'écart

*8 lames profondeur : 30 cm,
longueur : 160cm, écart : 20 cm*

Protection par des lames verticales :

Pour illustrer l'efficacité de ce type de protection on prendra l'exemple de la même fenêtre mais orienter plein ouest donc éclairée seulement l'après-midi. La logique reste la même que pour les lames horizontales.

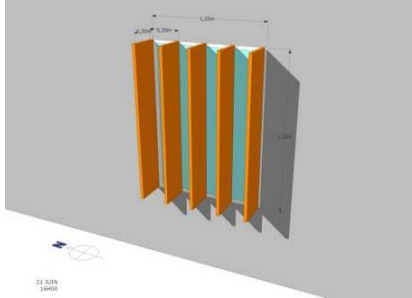
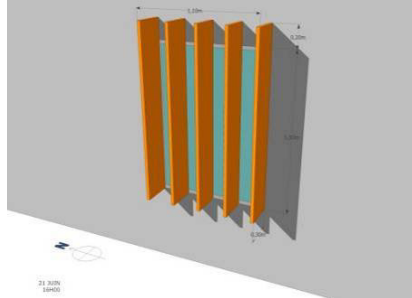


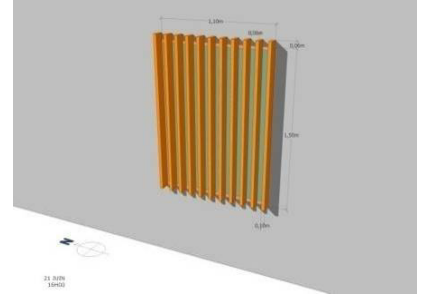
Figure 30
16 h 00

5 lames profondeur : 30 cm,
hauteur : 150 cm, écart : 30 cm



16 h 00-augmentation de la longueur

5 lames profondeur : 30 cm,
hauteur : 170 cm, écart : 30 cm



16 h 00-augmentation de la longueur

11 lames profondeur : 10 cm,
hauteur : 160 cm, écart : 8 cm

.I.3.3. Intensité du rayonnement solaire et facteur solaire

Le rayonnement solaire global qui atteint les parois d'un bâtiment est la somme :

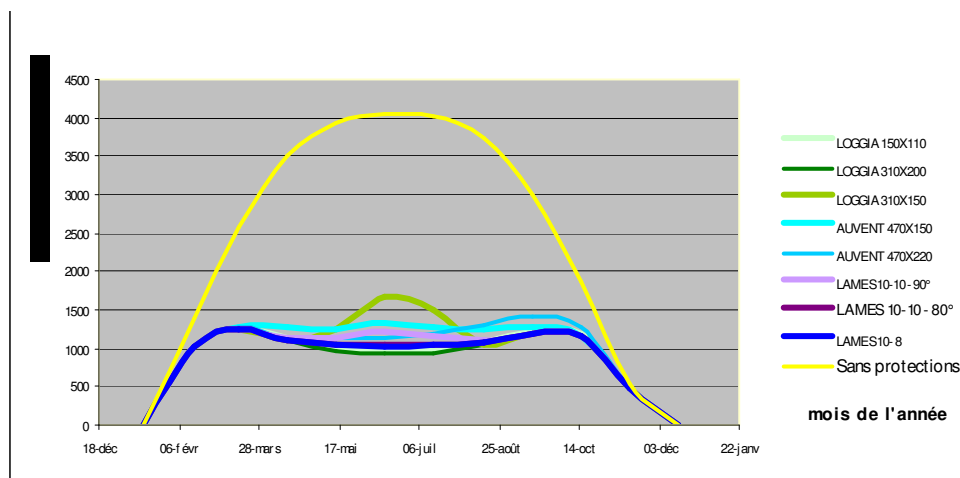
- du rayonnement direct issu du soleil
- du rayonnement diffusé par le ciel et les nuages,
- du rayonnement réfléchi et diffusé par l'environnement, en particulier par le sol.

La quantité totale d'énergie arrivant sur une surface est appelée énergie incidente globale. Elle dépend principalement de l'intensité du rayonnement solaire et de la nébulosité, de l'angle entre le rayonnement solaire direct et la surface de la paroi. Dans la zone intertropicale, les apports solaires journaliers sur une surface horizontale sont en moyenne de 5kWh/m² avec une puissance maximale de 1kW/m² au zénith.

Pour comparer les masques entre eux, on utilise le logiciel en ligne de formation au contrôle de l'environnement²². Dans cette partie on utilisera la fonction qui permet de modéliser une fenêtre et sa protection. Dans un premier temps, sont implémentés les paramètres qui définissent le vitrage pris isolément (dimensions et propriétés). Le logiciel donne alors la quantité de flux solaire incident global (direct et diffus) pour chaque 15 du mois. Les paramètres qui définissent les protections solaires (type de dispositif, emplacement, dimension...) sont définis quant à eux à partir du pré-dimensionnement de la méthode visuelle précédente. Pour chaque dispositif, on obtient ainsi la quantité d'énergie transmise pour chaque 15 du mois. Cet indicateur permet alors la comparaison des dispositifs.

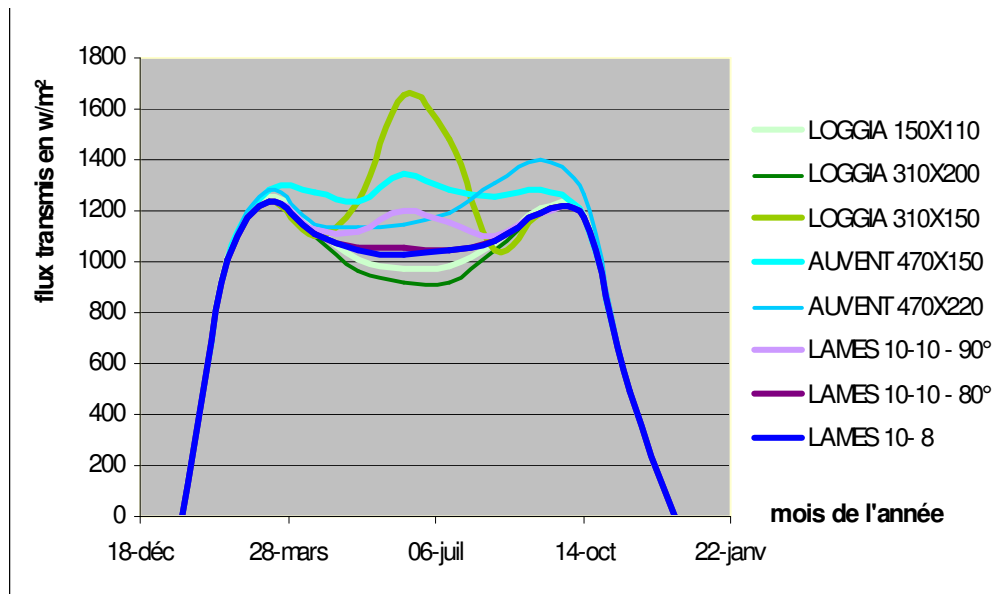
On a représenté ci-dessous ici la quantité de flux solaire transmise au local pour chaque type de protection solaire (la courbe jaune représente un vitrage sans protections). Dans l'ensemble les protections solaires sont toutes efficaces et réduisent les apports solaires de plus de la moitié.

²² « Audience » : <http://audience.cerma.archi.fr/>



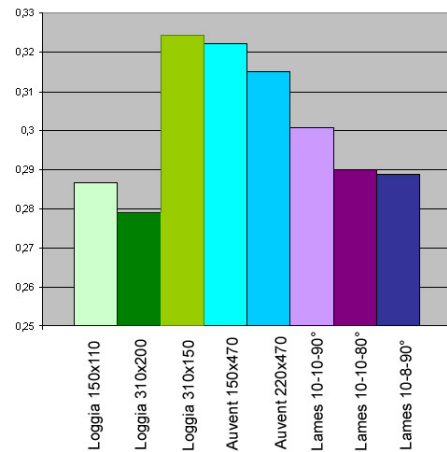
Si on compare la quantité de flux transmis au local pour chaque protection, on voit se dessiner un classement par type. Le type de protection le plus efficace s'il est correctement dimensionné reste la loggia. Puis viennent les lames. Bien que ce soit cohérent géométriquement, on notera que diminuer l'écart entre les lames est aussi efficace que donner une inclinaison aux lames. Ces deux paramètres (écart et inclinaison) permettent de diminuer significativement l'apport de flux solaire et de tendre vers une efficacité presque équivalente à une loggia (courbes bleu foncé et prune).

Enfin l'auvent reste le dispositif le moins performant. Même très grand, il reste moins efficace que si on vient lui ajouter des protections verticales (loggia).



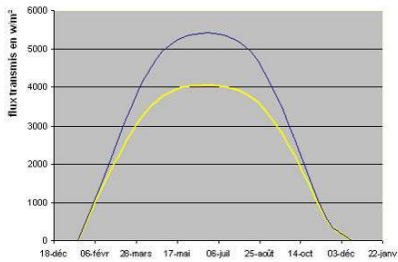
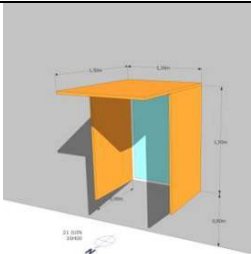
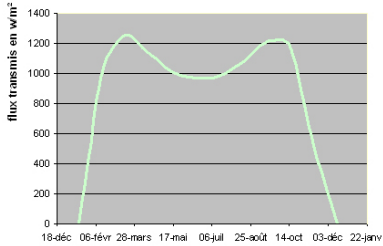
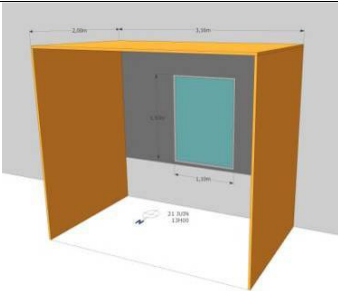
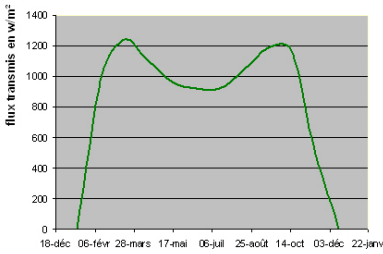
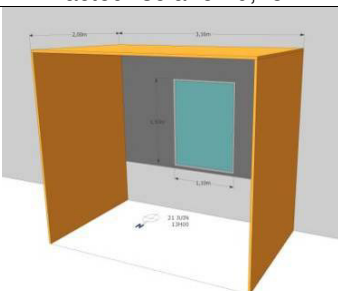
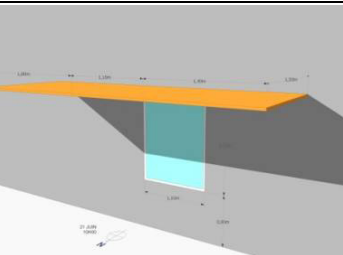
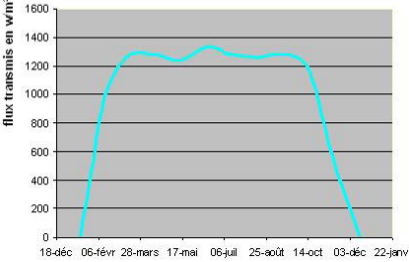
Une interpolation de la courbe permet d'évaluer pour chaque protection, la quantité totale d'énergie transmise au local durant une année. Le rapport de cette quantité d'énergie transmise annuelle sur la quantité d'énergie incidente annuelle donne le facteur solaire. Plus la valeur du facteur est faible plus le vitrage est protégé.

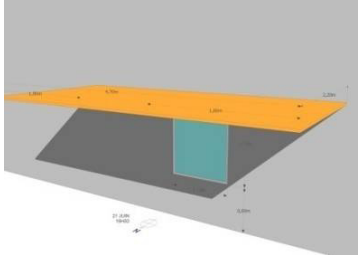
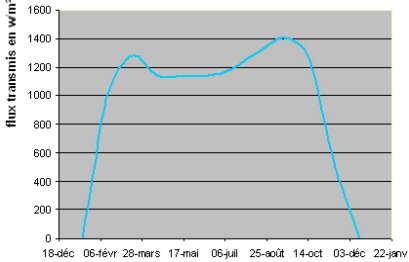
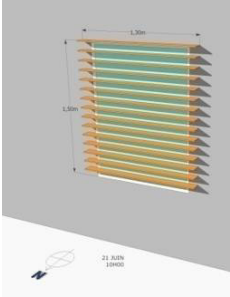
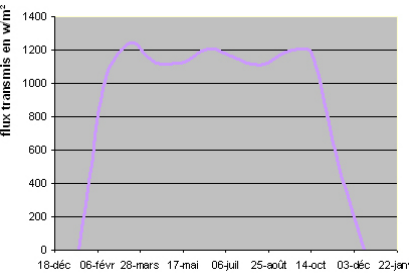
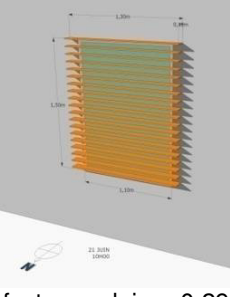
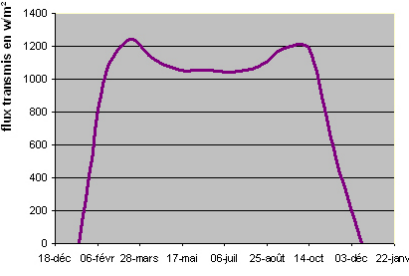
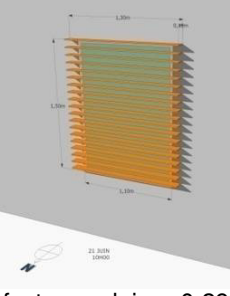
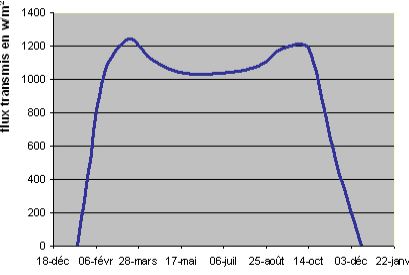
facteur solaire



La comparaison des différents facteurs solaires converge avec la comparaison des flux transmis. Bien que la différence entre chacun soit faible, on note que la loggia surdimensionnée reste le dispositif le plus efficace mais le plus lourd architecturalement. Les lames sont la solution la plus efficace pour un impact sur l'enveloppe moindre.

ANNEXES

Protection	Facteur solaire	Flux transmis global
Sans protections	Facteur solaire : 0,78	
Loggia 1 Auvent : P= 150 cm Joues : P=110 cm	 facteur solaire : 0,29	
Loggia 2 P= 200 cm L=310 cm	 facteur solaire : 0,28	
Loggia 3 P= 150 cm L= 310 cm	 facteur solaire : 0,32	
Auvent 1 P= 150 cm L= 470 cm	 facteur solaire : 0,32	

Auvent 2 P= 220 cm L= 470 cm	 facteur solaire : 0,31	
Lames 1 10 lames P = 10 cm écart=10 cm angle = 90°	 facteur solaire : 0,30	
Lames 2 10 lames P = 10 cm écart=10 cm angle = 80°	 facteur solaire : 0,29	
Lames 3 10 lames P = 10 cm écart=8cm angle = 90°	 facteur solaire : 0,29	

.I.3.4. Optimiser lumière naturelle / maîtrise des apports solaires

• **Un gisement lumière naturelle à valoriser**

En Zone tropicale, le gisement de lumière est considérable : il faut savoir exploiter sans pour autant augmenter le risque d'éblouissement (cas des façades Est et Ouest) ou d'accroissement des apports thermiques.

Le tableau ci-dessous donne les données d'éclairement naturel de quelques zones tropicales en les comparant à la France métropolitaine :

Probabilité de ciel dont l'éclairement est, entre 8h et 17h, supérieur à :

	15 000 Lux	10 000 Lux	5 000 Lux
Guyane	95 %	(*)	(*)
Antilles	90 %	95%	(*)
Réunion	87%	92%	>95 %
Métropole (Paris)	55%	72 %	87%

(*) La probabilité atteinte est >largement supérieure à 95% et proche de 100%

La nature du rayonnement se caractérise par un rayonnement diffus important : toutes les façades bénéficient donc d'un gisement potentiel de lumière important.

Un bâtiment recherchant une bonne qualité environnementale se doit donc de profiter du cet atout climatique.

Cette problématique de la lumière naturelle doit être abordée conjointement aux autres problématiques (et en particulier à celle du confort hygro-thermique) en optimisant au mieux les critères suivants :

- Facteur de Lumière du Jour
- Autonomie en éclairage naturel
- Tâches solaires
- Répartition et uniformité de la lumière

De nombreux outils sont à disposition pour justifier les choix de conception architecturale des protections solaires, et de valorisation de la lumière naturelle. Les simulations réalisées avec ce type d'outils sont essentielles et doivent être intégrées à un travail de conception architecturale.

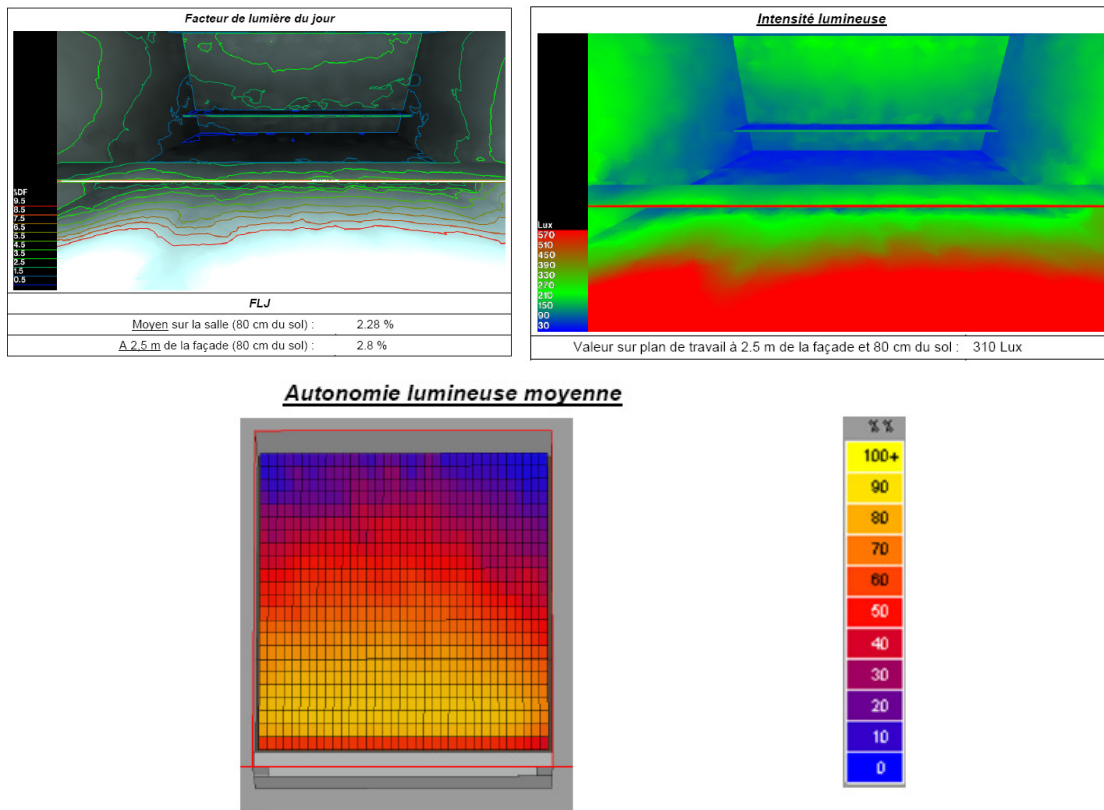
• **Le facteur lumière jour et l'autonomie en lumière naturelle**

Le FLJ représente la proportion moyenne de lumière extérieure obtenue à l'intérieur d'un local donné, par rapport au potentiel extérieur. Pour un ciel où l'éclairement est de 10 000 Lux par exemple, un FLJ de 3 % dans un bureau indique une quantité de lumière naturelle intérieure égale 300 Lux sur un plan de travail.

Le taux d'autonomie désigne quant à lui le pourcentage du temps où la lumière naturelle fournit un niveau d'éclairage (mesuré en Lux) supérieur ou égal à un niveau souhaité dans une pièce ou dans un ensemble de zones. Soit l'éclairage artificiel fournit la part restante, soit on a un éclairage en dessous du niveau souhaité à certaines périodes.

Ces 2 valeurs se calculent à l'aide de logiciels de type LESO DIAL, ECOTECT, RADIANCE, DIALUX ou autre.

Exemple de visualisation du facteur jour :



Le Facteur de Lumière du Jour (FLJ) minimal à une profondeur égale à deux fois la distance entre la hauteur de la pièce et le plan de travail sur lequel il est mesuré et le taux d'autonomie pour 350 lux doivent être les suivants pour divers types de locaux :

	FLJmin	autonomie
bureaux	1,5%	70%
salles de réunions	1,5%	70 %
classes	1,5%	95%
chambres	1 %	-
séjour	1,5%	-
zones d'accueil	-	-
sanitaires et circulations	-	-

- **PRECONISATIONS** pour atteindre une bonne autonomie en lumière naturelle :

- Accroître le taux de percement en façade ;
- Mise en place de doubles expositions et de « second-jour » ;
- Dans le cas des orientations Est et Ouest, prévoir des protections solaires capables de maîtriser les sources d'éblouissement (voir ci-dessous « tâche solaire ») ;
- Mise en place de réflecteurs permettant de faire pénétrer la lumière naturelle en fond de salle. Ce type de dispositif est développé dans le paragraphe qui suit.
- bien évaluer l'impact des masques architecturaux et lointains

• Répartir de la lumière naturelle

Le taux de lumière apportée ne garantit pas cependant à lui seul de bonnes conditions de travail. Encore faut-il que celle-ci soit bien distribuée dans la pièce, pour éviter le phénomène de zones moins bien éclairées que d'autres. C'est ce qu'on appelle la répartition de la lumière.

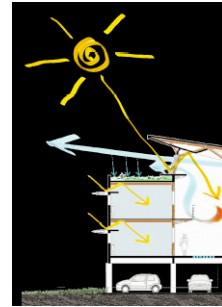
Il est donc important de bien répartir et équilibrer les ouvertures d'une façade. Là aussi, des simulations sur les logiciels évoqués ci-avant sont essentielles.

• Etagère à lumière : une solution innovante de protection solaire et de meilleur répartition de la lumière

Principe et évolution du procédé

Ce sont des surfaces fixes placées perpendiculairement et horizontalement le long de la fenêtre, qui permettent une protection directe du rayonnement solaire et un bon éclairage naturel sur toute la profondeur de la pièce. Les étagères à lumière divisent la fenêtre en deux parties permettant une vision au loin.

Ce type de système d'éclairage naturel indirect permet d'atteindre un excellent compromis lumière/énergie.



Exemple de l'IUFM de Cayenne
(architecte JAG)

Le système d'étagères de lumière est constitué d'un auvent fixe muni sur sa face supérieure d'une surface réfléchissant la lumière placé au trois-quart de la hauteur de l'ouvrant, il protège par-là même l'usager de la majeure partie du rayonnement solaire direct et permet de maintenir un niveau satisfaisant de luminosité jusqu'au fond de la pièce.

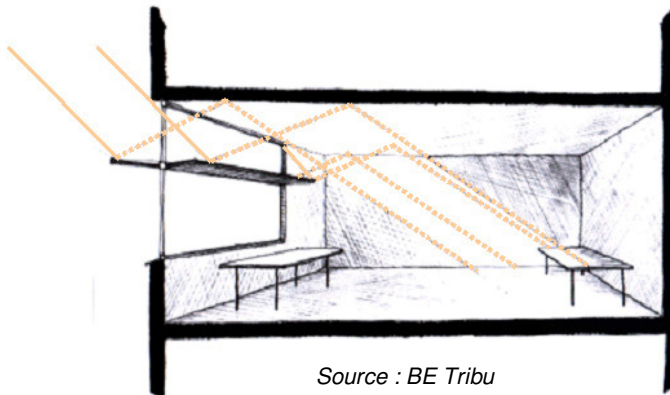
Aujourd'hui, on trouve des systèmes plus perfectionnés de guidage de la lumière que l'on place sur le dixième supérieur de l'ouvrant au minimum (système « toplight »).

Par ailleurs, la lumière entre facilement par réflexion jusqu'au fond de la pièce.

Ces protections peuvent être constituées de différents matériaux comme l'aluminium ou le béton par exemple, mais leur face supérieure doit être claire. Pour une meilleure intégration, le choix doit se faire en fonction des matériaux de façade.

Schéma de principe

Compte tenu de la part importante du rayonnement solaire diffus en Guyane, la combinaison « baie protégée par un auvent classique / albédo du parterre face à la baie faible » peut dans certaines conditions jouer le rôle de système d'éclairage indirect naturel.



Source : BE Tribu

Cependant, dans des locaux de type bibliothèque où la surface de vitrage des murs se doit d'être faible et où la profondeur peut être importante, ce type de système peut simultanément contribuer à se prémunir des apports solaires directs nuisibles et faire faire des économies sur le poste éclairage artificiel.

Compte tenu du fait que le soleil passe à proximité du zénith, on préférera, pour des questions d'éblouissement, la réflexion diffuse (peinture blanche) à la réflexion spéculaire (effet miroir) des surfaces aluminisées.

Performances

D'après des mesures de performances de light shelves réalisée par le Florida Solar Energy Center, à l'aide de néons dont la puissance lumineuse variait en fonction de la luminosité extérieure, la présence d'un light shelf a fait faire 15% d'économies supplémentaires sur les consommations d'électricité relatives au poste éclairage par rapport au cas sans protection solaire.

Concernant le toplight, ADO annonce une économie de 65% sur les consommations électriques liées à l'éclairage.

Par ailleurs, notons que l'utilisation optimale de la lumière naturelle augmente le confort et la productivité dans le travail.

• Maîtrise de la tâche solaire

La tâche solaire désigne le phénomène d'éblouissement ponctuel ou non, rencontré dans une pièce.

La course solaire, toujours très haute et répartie presque également entre Nord et Sud, permet de traiter les problèmes de tâche solaire par des dispositifs architecturaux simples. Le tableau ci-dessous donne les longueurs minimales, en mètre, d'un auvent, au Nord et au Sud, pour ne pas être gêné par le rayonnement direct :

Hauteur de fenêtre (m)	1	1,5	2,00	2,50
Sud : largeur de l'auvent (m)	0,53	0,80	1,06	1,33
Nord : largeur de l'auvent (m)	0,32	0,49	0,65	0,81

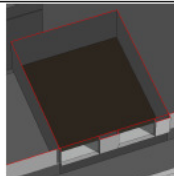
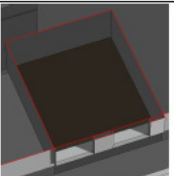
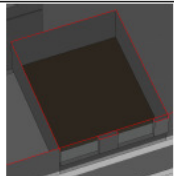
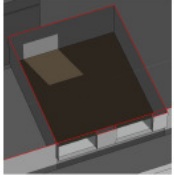
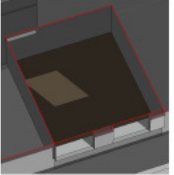
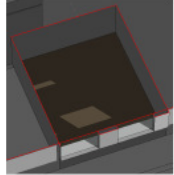
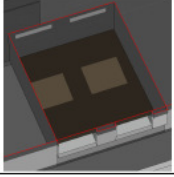
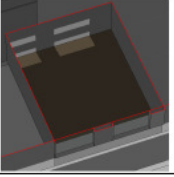
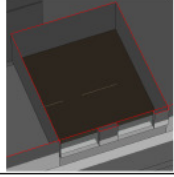
Les façades Est et Ouest nécessitent quant à elles un travail très approfondi en prenant en compte les autres dimensions : exposition solaire, éblouissement, surchauffe thermique. Les solutions se trouvent inévitablement dans :

- les pare-soleil verticaux de type écran ou superstructure
- les lames opaques, volets à lames orientables
- la végétalisation

De même, il est important de veiller à :

- ne pas générer de vues extérieures sur des éléments réfléchissants (tôles par exemple)
- ne pas choisir de peinture ou revêtement intérieur trop éblouissant

Exemple d'étude de la tâche solaire d'un bureau

Résultats de la simulation des ombres portées : Bureau directeur – DIR40 : 16.97 m²			
Heures Locales	21 Décembre	06 Février	21 Mars
8 h 30			
10 h			
11h 30			

.I.4. Exploiter le vent

Nous l'avons vu précédemment, la vitesse de l'air est un des leviers permettant le rafraîchissement on peut la régler grâce à des dispositifs mécaniques mais cette circulation de l'air peut également être obtenue par l'exploitation du climat local. Le vent, lorsqu'il est judicieusement canalisé, peut être employé pour contrôler l'ambiance hygrothermique du bâtiment et élargir la zone de confort admissible, notamment de température. L'objet de ce contrôle est moins la canalisation directe des flux aérauliques qu'un jeu sur les dépressions qu'exerce le vent sur les façades. Les dépressions sont alors exploitées pour favoriser les flux traversant le bâtiment.

L'orientation doit permettre aux vents dominants de pénétrer dans le bâtiment. Dans les climats chauds et humides la ventilation est essentielle pour évacuer des locaux la chaleur interne ou les apports solaires.

.I.4.1. Rose des vents

L'une des données climatiques les plus pertinentes pour analyser l'exploitabilité des flux aérauliques est sans aucun doute la rose des vents. Cette dernière, qui n'est pas toujours disponible, indique l'intensité des vents (leur vitesse) en fonction de la direction cardinale. Elle est extrêmement variable d'une localité à l'autre et doit être accompagnée idéalement par des études sur site. En effet, le tissu urbain, la topographie ou simplement la végétation peuvent perturber significativement l'orientation des flux et leur vitesse. Les données météorologiques trop macroscopiques peuvent ainsi perdre de leur pertinence à l'échelle du bâtiment. Des techniques de simulation de type CFD peuvent réduire ces inconvénients, mais elles ne remplacent que très rarement les mesures in situ.

Le principal inconvénient de la rose des vents est qu'elle n'est pas, rapportée à la fréquence temporelle. Lorsque cette dernière est disponible, il est souhaitable de la représenter selon le modèle de la figure @: un vent dominant tant dans son intensité que dans sa fréquence est un vent dont il est souhaitable d'étudier l'exploitabilité.

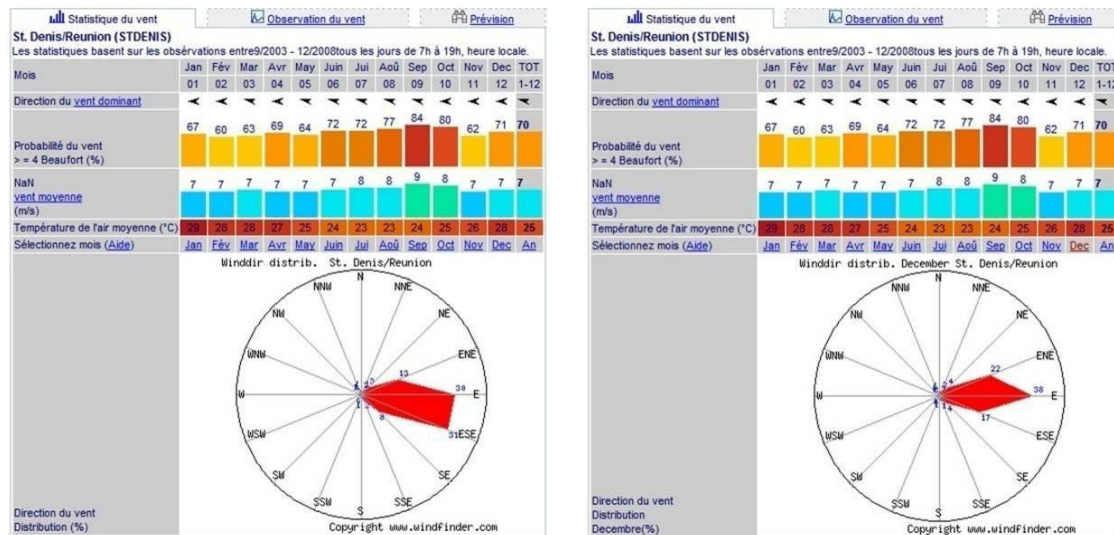


Figure 23 - Rose des vents

La zone intertropicale est soumise au régime des vents d'Est, dits d'alizés qui ont pour origine la rotation de la terre (d'Ouest en Est). Ces vents très réguliers en fréquence et en force (force 3 à 6 sur l'échelle de Beaufort) s'opposent à l'activité dépressionnaire variable des latitudes tempérées. L'alizé souffle toute l'année avec une recrudescence de janvier à avril dans l'hémisphère Nord et de juillet à novembre dans l'hémisphère Sud. Leur évolution journalière est aussi influencée par la course du soleil : ils se lèvent dans la matinée, donnent toute leur puissance en début d'après-midi et retombent en fin d'après-midi. Les alizés rendent la température nettement plus supportable et suggèrent donc une architecture perméable aux mouvements d'air.

.I.4.2. Concevoir la ventilation naturelle (approche macro et CFD)

• **Les moteurs de la ventilation**

Un des paramètres fondamentaux du confort thermique est le taux renouvellement d'air du local. Ce dernier est indispensable pour évacuer les apports qu'ils soient climatiques ou internes.

Les gradients de pression sont les moteurs du mouvement de l'air. Dans une construction, trois phénomènes sont inducteurs de différence de pression :

- le tirage thermique
- le champ de pression résultant du vent
- la ventilation mécanique

La ventilation mécanique contrôlée est liée au concept d'habitat moderne dans les pays occidentaux. Elle assure le renouvellement d'air hygiénique mais n'est guère utilisée pour le rafraîchissement des locaux. L'augmentation des vitesses d'air intérieures par des brasseurs d'air est une solution plus économique. Mais, cette solution a pour inconvénient de ne pas évacuer la charge thermique et de consommer tout de même de l'énergie.

L'obtention de résultats significatifs en ventilation naturelle par le tirage thermique nécessite en permanence des différences de température importantes et des hauteurs de bâtiments importantes. La hauteur de l'habitat courant étant peu élevée et la température des locaux climatisés naturellement étant proche de la température extérieure, les débits dus au tirage thermique sont relativement faibles.

En pratique dans les pays chauds, l'utilisation de la ventilation à des fins de climatisation fait essentiellement appel au phénomène vent, pour les raisons suivantes :

- mise en œuvre facile (ouverture des portes et fenêtres)
- les gradients de pression sont significatifs, pour peu que le Phénomène vent existe.
- coût nul d'un tel système.

Aussi, nous nous intéresserons essentiellement au calcul **des débits traversants dus au vent**. L'objectif est de générer des débits d'air de l'ordre d'au moins 10 vol/h pour évacuer correctement les apports. La ventilation traversante peut être poussée également pour générer des vitesses d'air intérieur de l'ordre de 1 m/s, correspondant alors à plusieurs dizaines de volume par heures. Pour la présente méthode, l'objectif est centré sur l'évacuation des apports donc atteindre au moins 10 vol/h ce qui exige nettement moins de perméabilité à l'air qu'un objectif en vitesse d'air intérieur de 1 m/s. La méthode laisse le choix au concepteur d'assurer l'obtention de ces vitesses soit :

- par des brasseurs d'air (dont la présence est obligatoire pour prévenir l'inconfort des périodes de très faible vent)
- soit par ventilation traversante assurant une vitesse d'air proche de 1m/s (site bien exposé, peu contraint sur un plan acoustique)

• **Méthode d'évaluation des débits d'air de ventilation par courants traversants**

Le caractère aléatoire et irrégulier des caractéristiques du vent au sol rend très difficile les études de ventilation. Aussi on recourt pour l'estimation des débits d'air, à la notion de moyenne à l'échelle horaire.

Une méthode simplifiée, dite méthode des coefficients de pression consiste à étendre aux constructions le calcul classique de perte de charge dans les conduites. Le débit moyen est calculé à partir de la répartition moyenne des pressions sur les façades du bâtiment. La relation qui lie le débit D traversant une ouverture et le différentiel de pression ΔP de part et d'autre de cette ouverture n'est pas linéaire mais de forme :

$$\Delta P = A.D^n \quad \text{avec } 1 < n < 2 \quad \text{et } A \text{ constante}$$

L'expérience montre que l'exposant n est égal à 2 pour la circulation de l'air dans des composants comme les portes et fenêtres. En faisant apparaître la surface d'ouverture S , l'expression du débit a pour formule :

$$D = C_d.S. \sqrt{2.\Delta P/\rho}$$

C_d coefficient de débit

ρ masse volumique de l'air

Des nombreuses expérimentations récentes montrent que les coefficients de débits sont peu dépendants de l'incidence du vent, de la nature et de la forme de l'ouverture. Moyennant certaines conventions dans la détermination des champs de pressions, le coefficient de débit est une grandeur constante ayant pour valeur approximative : $C_d \approx 0.6$

La difficulté dans ce type de modèle est de connaître le champ de pression autour du bâtiment. Ce dernier ne peut être obtenu que par l'expérimentation. Compte tenu de la proportionnalité du champ à la vitesse du vent, des symétries, il est possible de réduire l'expérimentation à l'examen de quelques cas de référence. Ces pressions, rendues adimensionnelles à l'aide des coefficients de pression dépendent de l'incidence du vent et de la géométrie du local :

$$C_p = \frac{2 P}{\rho.U^2}$$

C_p coefficient de pression P pression due au vent

U vitesse de référence du vent (point haut du bâtiment)

Une fois le champ de pression connu, pour déterminer les échanges de débits d'air d'un local, il suffit alors de résoudre le système formé par :

- les équations de débit de chaque ouverture i

$$D_i = C_d.S. \sqrt{2.\Delta P_i/\rho}$$
- la conservation de la masse dans une ambiance (somme nulle des débits entrant et sortant)

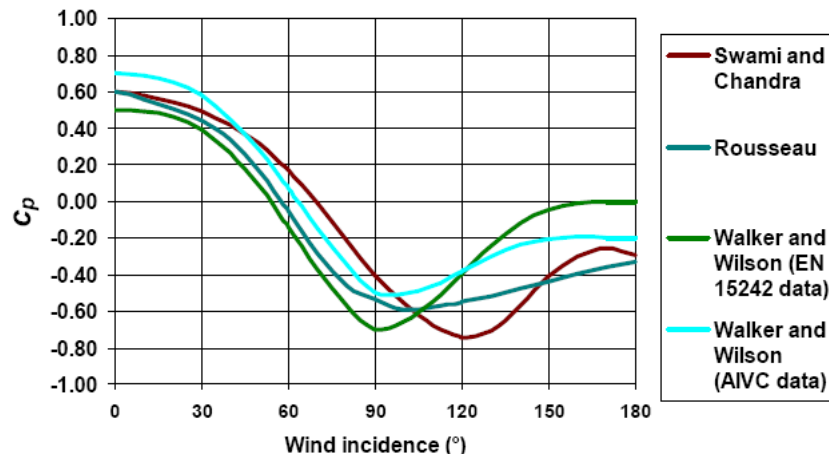
$$\sum_i D_i = 0$$

Le système obtenu n'est pas linéaire. Mais un changement de variable correctement choisie permet de lever cette difficulté et résoudre le système par itération.

• Coefficients de pression

La figure suivante compare les trois méthodes d'évaluation des coefficients de pression :

- EN 15242
- AIVC
- Rousseau
- Swami and Chandra



Nous optons dans le cadre de notre méthode pour l'expression de Rousseau

for $\varphi \leq 90^\circ$ and for $\varphi \geq 270^\circ$:

$$C_p = 0.5994 - 0.1426 \cdot |\sin \varphi| - 0.8055 \cdot |\sin \varphi|^2 + 2.0149 \cdot |\sin \varphi|^3 - 2.1972 \cdot |\sin \varphi|^4$$

for $90^\circ \leq \varphi \leq 270^\circ$:

$$C_p = -0.33300 - 0.1544 \cdot |\sin \varphi| - 0.1128 \cdot |\sin \varphi|^2$$

• Les logiciels CFD

La plupart des logiciels modernes intègrent le calcul des échanges de débits d'air du aux gradients de pressions ou à l'effet de tirage thermique : TRNSYS, TAS, DESIGN BUILDER, Virtual environnement...

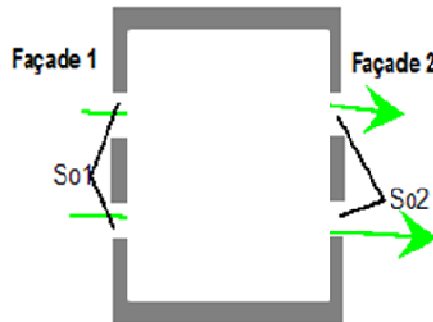
Ils permettent d'évaluer avec une précision suffisante les débits de ventilation naturelle. Le concepteur peut ainsi optimiser ainsi la conception de l'enveloppe en fonction de la contrainte de la protection solaire et la nécessité de générer un débit d'air suffisant en ventilation naturelle pour évacuer les apports internes.

Certains logiciels permettent au delà de l'estimation des débits d'air de calculer pour certains volumes les vitesses d'air. Ces nouvelles possibilités donnent aux concepteurs tous les outils nécessaires pour un bon dimensionnement des locaux en ventilation naturelle.

• Approche simplifiée par résolution analytique pour des configurations courantes

Les cas envisagés ci-après permettent de traiter la plupart des problèmes.

Une zone à ouvertures sur deux façades



C'est la configuration la plus courante. Le problème se réduit à un système de trois équations à trois inconnues ($D1$, $D2$, et $P0$):

$$D1 + D2 = 0$$

$$D1 = Cd.S1. \sqrt{2.(P1-P0)/\rho} \quad \text{avec } P1 = Cp1.\rho.U2$$

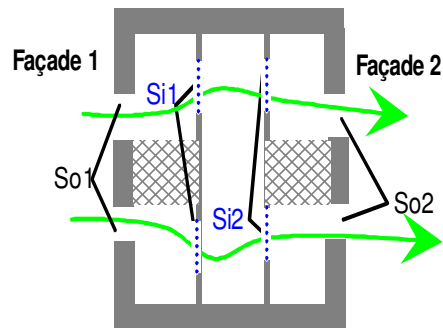
$$D2 = Cd.S2. \sqrt{2.(P0-P2)/\rho} \quad \text{avec } P2 = Cp2.\rho.U2$$

La résolution de ce système conduit à l'expression suivante du débit de renouvellement d'air du local D ($D=D1=-D2$) :

$$D = Cd. S. \sqrt{|Cp1 - Cp2|} . U \text{ en m}^3/\text{s} \quad (\text{IV.1})$$

$$\text{Avec} \quad 1/S2 = 1/S12 + 1/S22$$

Deux zones séparées par une cloison interne perméable



La résolution du problème aboutit à une formule proche de celle de la configuration précédente. Seule la formule de la surface équivalente change :

$$D = Cd. S. \sqrt{|Cp1 - Cp2|}. U \quad \text{en m}^3/\text{s}$$

Avec $1/S2 = 1/S12 + 1/S22 + 1/S32$

.II. Bâtiments naturellement climatisés

.II.1. La question centrale du confort hygrothermique : climatisation naturelle ou artificielle

Deux options sont très structurantes dans la conception environnementale d'un bâtiment : Il s'agit du choix entre :

- la climatisation naturelle appelée souvent « conception bioclimatique » ou conception en « ventilation naturelle » ;
- la climatisation artificielle.

En climatisation naturelle, il y a une interdépendance forte dans le traitement des confort acoustique, hygrométrique, visuel et parfois olfactif.

Les atouts naturels du site (végétalisation, localisation par rapport à la mer,...), l'orientation des voies, le relief, le positionnement par rapport au vent et aux brises locales vont conditionner la possibilité de développer une ventilation traversante.

Les conditions sanitaires sont également une contrainte fondamentale pour gérer les moustiques et évacuer efficacement l'humidité.

En climatisation artificielle, le défi essentiel est celui de la réduction des coûts énergétiques et des impacts environnementaux induits par ces technologies (consommations énergétiques, fluides frigorigènes,...). Le confinement des ambiances pose la question de la qualité d'air et de la nécessité d'une ventilation mécanique et d'un traitement d'air.

Ce type de conception conduit également bien souvent à devoir gérer des compromis comme celui qui peut exister entre la réalisation d'une protection solaire efficace, pour minimiser les charges de climatisation, et la recherche d'un bon niveau de confort visuel, conduisant à capter une quantité suffisante de lumière naturelle.

A l'extérieur où se situe le rejet de la chaleur, il s'agit de veiller à la bonne intégration des unités extérieures (bruit et intégration architecturale) et aux impacts sanitaires (rejets des condensats).

Ainsi, selon l'option choisie, l'interactivité des cibles de la qualité environnementale est de nature différente comme l'illustre le schéma qui suit.

.II.1.1. Analyse des besoins : quand faut-il climatiser ?

Avant de définir les conditions d'une « bonne climatisation » c'est à dire performante et intégrée, il faut savoir dans quels cas et quand le recours à la climatisation électrique s'impose....et quand elle peut être évitée.

La climatisation naturelle, dont la ventilation est, avec la protection solaire, un des deux piliers conceptuels, devrait être choisie pour les projets où les conditions urbaines, architecturales, constructives et climatiques sont réunies pour obtenir les conditions de confort recherchées.

Cette stratégie de conception devrait également être choisie dans des opérations de réhabilitation ou de rénovation lorsque des corrections simples (amélioration des protections solaires, complément à la ventilation naturelle par des brasseurs d'air, ...) permettront d'obtenir également ces conditions de confort.

Globalement on constate que l'opposition des deux solutions de climatisation (naturelle -par ventilation-, et artificielle par compression), porte principalement sur un aspect conceptuel: la capacité à rendre l'enveloppe extérieure d'un bâtiment (murs, portes, fenêtres, toiture et cloisonnements intérieurs) étanche ou pas à l'air :

- il s'agit de réaliser une enveloppe très étanche à l'air dans le cas de la climatisation artificielle ;
- il s'agit au contraire d'augmenter autant que faire se peut la capacité de ventilation du bâtiment en climatisation naturelle.

Cette recherche conduit aux stratégies de conception suivantes.

	Climatisation naturelle	Climatisation artificielle	Remarques
Orientation	Face aux vents et brises dominantes	Moindre importance	On peut alors pour les bâtiments en CA s'orienter pour se protéger de l'ensoleillement le plus pénalisant E/O alors qu'en CN il faut gérer ce compromis entre capacité de ventilation et apports solaires
Plan masse	Conception générale (épaisseur, distributions, écopes.) adaptée à la ventilation traversante A l'échelle urbaine, on préservera les meilleures expositions au vent pour les bâtiments naturellement climatisés.	Compact	Il s'agit de limiter les pertes de charge de l'écoulement de l'air dans le cas de la CN et d'obtenir un bon coefficient de forme dans le cas de la CA
Perméabilité du bâti	Porosité à l'air maximale	Etanchéité à l'air (hormis le RA hygiénique)	Règles précises de conception en ventilation naturelle sont à respecter

L'efficacité d'une la conception en climatisation naturelle est donc très dépendante du site, du plan masse, de l'orientation alors qu'une conception en climatisation artificielle peut s'affranchir de ces contraintes bioclimatiques.

L'efficacité de la ventilation naturelle dépend d'un paramètre appelé coefficient de ventilation, qui traduit le rapport entre la vitesse d'air extérieure et la vitesse d'air à l'intérieur du bâtiment :

$$C_v = V_i/V_e$$

On peut définir des valeurs moyennes de ce coefficient pour une pièce ou une zone aérauliquement homogène d'un bâtiment

L'importance de l'orientation pour la climatisation naturelle sur l'efficacité de la ventilation est mise en évidence par la variation du coefficient de ventilation en fonction de l'angle d'incidence du vent sur la façade.

Angle d'incidence du vent par rapport à la perpendiculaire à la façade	0°	45°	90°
Coefficient de ventilation	Cv	0,75 Cv	0,5 Cv

Pour les deux types de climatisation, les autres principes conceptuels sont identiques :

- il faut **en premier lieu maîtriser les apports solaires** apportés par la toiture, les vitrages, les murs ;
- il faut **combattre l'humidité résiduelle** à l'intérieur du bâtiment ;
- il faudra également par ailleurs y maîtriser les apports de chaleur interne.

Les solutions adoptées devraient, dans une certaine mesure, pouvoir être réversibles.

On devrait idéalement pouvoir passer d'une solution conceptuelle à l'autre, et il peut être judicieux de penser la construction et ses aménagements selon les deux axes :

- comment abandonner une climatisation coûteuse, quand les conditions urbaines et constructives pourraient être réunies pour la climatisation naturelle ?
- comment rendre étanche à l'air une construction bien ventilée et bien protégée du soleil et de l'humidité, lorsque le contexte urbain devient trop inconfortable (bruit, pollution, etc...) ?

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

Site / environnement	Conditions favorables à la climatisation naturelle	Conditions acceptables et améliorations possibles	Conditions justifiant le recours à la climatisation artificielle
Implantation /situation	Adéquation entre la qualité des zones environnantes (en termes de vent, de bruit, d'accès, etc.) et la destination des bâtiments (locaux scolaires et secteur résidentiel dans les zones plus favorables par exemple)	Correction par les aménagements extérieurs, par les dispositifs de ventilation	Cumul des contraintes : – exposition au soleil ; – absence de vent – exposition au bruit
Orientation /masques urbains	Absence de masques immédiats dans la trajectoire des vents	Présence de masques, mais possibilité de compensation (brasseurs d'air, cheminée thermique par exemple)	Impossibilité de compenser les obstacles à la ventilation naturelle par des ventilations verticales
Bruits urbains	Zone calme	Possibilité de protection acoustique préservant la ventilation naturelle. Le niveau acceptable dépend aussi de l'activité (atelier, bureau, salle de classe, hôpital, logement).	Au dessus d'un certain seuil d'exposition au bruit (mesure en dB) en période d'occupation des locaux (jour ou nuit).
Aménagements extérieurs	Végétalisation périphérique (arbres) (faible albédo), Faible humidité résiduelle (bonne aération, exposition partielle au soleil)	Lutte contre l'humidité par drainage en surface au pied des façades (bande de gravier), en association avec de la végétation haute.	Impossibilité d'atténuer, par la végétation ou les effets de la minéralisation des abords, effet d'îlot de chaleur urbain
Insectes, moustiques	Absence d'eau stagnante au voisinage du bâtiment (favorise le développement des moustiques et des termites).	Possibilité d'installer des moustiquaires (qui auront toutefois impact sur le potentiel de ventilation naturelle)	Impossibilité de réduire le taux d'humidité des abords et/ou de placer des moustiquaires
Effraction /sécurité	Zone tranquille ou étage non accessible par l'extérieur.	Solution : grilles fixes centrales, et fermetures adaptées (volets à persiennes vers l'extérieur, ouvrants vitrés vers l'intérieur par exemple)	Le recours aux ouvertures vitrées, étanches, n'épargne pas l'installation de grilles anti-effraction

Tableau : type de climatisation à choisir pour un projet de construction en fonction des conditions environnantes existantes

Caractéristiques du local	Conditions favorables à la climatisation naturelle	Conditions acceptables et améliorations	Conditions justifiant le recours à la climatisation artificielle
Forme du bâtiment	Volumes largement découpés ou superposés, de faible épaisseur	Volumes compacts / multi-zones en plan	
Fondation, rapport au sol	Construction sur pilotis ou vide sanitaire ventilé (échanges de chaleur, bonne aération de la structure)	Préservation de l'humidité du sol Drainage des abords (voir aménagements extérieurs)	Impossibilité de combattre l'humidité de la construction (pathologie à identifier néanmoins)
Hauteur sous plafond	Suffisante pour l'installation de brasseurs d'air plafonniers Possibilité d'impôtes hautes (ventilation en profondeur, évitant les courants d'air dans les zones de séjour)	Ventilateurs sur pied. Possibilités de ventilations verticales	
Porosité de l'enveloppe	Porosité à l'air modulable et réglable	Ouvertures à créer (façades, toiture)	Très bonne étanchéité à l'air
Position des ouvertures	Sur plusieurs façades (ventilation transversale ou en angle) Bonne répartition par « trame » de ventilation	Possibilités de ventilations verticales	Mono orientation et impossibilité d'implantation d'écopes en toiture (ou de systèmes à « effet cheminée »)
Toitures	Comble ventilé et/ou sous-face de toiture isolée Dalle de toiture isolée	Comble ventilé et/ou isolé Dalle isolée	Comble ventilé et/ou dalle isolée
Auvents /protections solaires des ouvertures	Auvents et débords de toiture : éloignant la pluie des façades, ils assurent également une protection solaire des vitrages de l'étage sous toiture	Protection solaire des vitrages (auvents, persiennes extérieures, etc.)	Ne pas climatiser avant d'assurer la protection solaire des vitrages (plus efficace à l'extérieur)
Coût de la construction (°)	Possibilité de report du coût du surinvestissement sur les économies de consommation électrique et d'installation de climatiseurs	Coût des améliorations (aménagements extérieurs, orifices de ventilation, etc.)	Coûts des modifications trop importantes (en réhabilitation) et/ou impossibilité de les reporter sur les économies de consommation électrique et l'installation de la climatisation

(°) Les protections solaires, exigibles pour toute construction, ne peuvent être considérées comme un surcoût de la climatisation naturelle

Tableau : type de climatisation à prévoir en fonction des caractéristiques du bâtiment existant (réhabilitation lourde ou légère)

Dans le cas de logements qui sont souvent intégrés à des opérations tertiaires (logements de fonction ...) , cible spécifique du présent guide, les conditions favorables à la réalisation d'une approche en climatisation naturelle ou artificielle sont les suivantes :

Type de logement (°)	Conditions favorables à la climatisation naturelle	Conditions acceptables et améliorations	Conditions justifiant le recours à la climatisation artificielle
Rangements	Ventilation permanente (effet d'imposte, effet cheminée, situation en périphérie)	Dessicants à régénérer, aération régulière	Nécessité d'une déshumidification (linge et vêtements, livres et documents, etc.)
Séjour	Ventilation permanente et protection solaire de la périphérie, protégée des bruits diurnes. Travail du logement en hauteur (duplex) pour compenser la faiblesse de la ventilation transversale (cage d'escalier assurant l'effet cheminée ou le rôle de tour à vent).	Voir : protection acoustique, protection solaire, ventilation Assurer cependant l'éclairage naturel (attention au niveau élevé de rayonnement diffus)	Cumul des contraintes : – exposition au soleil ; – absence de vent – exposition au bruit Très bonne étanchéité à l'air Protections solaires efficaces
Chambre	Ventilation permanente et protection solaire de la périphérie (exemple de la double enveloppe), protégée des bruits nocturnes	Voir : protection acoustique, protection solaire, ventilation	Cumul des contraintes : – exposition au soleil ; – absence de vent – exposition au bruit Très bonne étanchéité à l'air Protections solaires efficaces
Pièces humides (Cuisine, SdB, WC)	Localisation sous le vent ou en situation d'écope de toiture	Peuvent servir de zones tampon (bruit, soleil), à condition d'être bien ventilés	Apports internes importants (chaleur et humidité) : aération sans climatisation électrique
Circulations, espaces communs	Localisation sous le vent	Peuvent servir de zones tampon (bruit, soleil), à condition d'être bien ventilés	
Extensions, terrasses extérieures	Protection assurée de la pluie, du soleil, bonne aération. Pilotis intéressants pour éviter l'introduction des rongeurs et reptiles	Peuvent servir de zones tampon (bruit, soleil)	Continuité intérieur climatisé – extérieur protégé inexistante

(°) Voir ce que permet la réglementation acoustique, qui conduit à fermer et rendre étanche les volumes habitables, ce qui peut contrarier la recherche de la ventilation, qui invite à la perméabilité à l'air.

.II.1.2. Choix constructifs

Le tableau suivant donne les grandes lignes à suivre pour concevoir un bâtiment ou un ensemble de bâtiments, selon que le Maître d'Ouvrage souhaite qu'il soit climatisé artificiellement ou non. Ces prescriptions architecturales concernent le bâti (structure externe) et les principes de ventilation.

	CLIMATISATION NATURELLE	CLIMATISATION ARTIFICIELLE
BATI : OPTIONS GENERALES		
– Forme	Développer des conceptions aérauliques favorisant la ventilation traversante sans nuire à la protection solaire.	Optimiser la compacité pour limiter les apports climatiques.
– Orientation	Compromis entre la direction donnant le meilleur potentiel de ventilation et celle offrant la meilleure protection solaire.	Privilégier des façades principales et les plus vitrées dans les plans d'orientation Nord et Sud
– Inertie thermique	Favoriser les structures légères en occupation permanente ou seulement nocturnes, les structures lourdes pour les locaux de jour	Favoriser les structures lourdes pour amortir la charge thermique, sauf pour les locaux à occupation très intermittente qui n'ont pas besoin d'être climatisés en période d'inoccupation
BATI : LES COMPOSANTS		
– Ouvertures	Prévoir un taux d'ouvertures (porosité) résultant du compromis entre « protection solaire », « ventilation naturelle » et « éclairage naturel » Préconiser des vitrages à lames mobiles (appelées jalousies, ventelles, louveres, ou « naccos »), pour moduler la ventilation naturelle Concevoir les protections solaires selon l'orientation	Prévoir une porosité résultant d'un compromis entre « éclairage naturel » et « apports solaires ». Eviter les lames mobiles (y compris les lames avec joints d'étanchéité), et tout vitrage non-étanche (le classement doit être d'au moins A3E3VE). Privilégier les ouvrants battants intrinsèquement plus étanches. Concevoir les protections solaires selon l'orientation. <i>NB : les vitrages et les films réfléchissants constituent souvent de fausses bonnes solutions car ils réduisent considérablement les apports de lumière sans pour autant constituer une protection efficace contre le rayonnement direct le tout pour un surcoût élevé par rapport à des options de protection solaire architecturale</i>
– Façades	Prévoir des masques architecturaux (auvents, brise-soleil, galerie, véranda), protection mobiles externes ou motorisées Etudier les protections solaires avec soin et selon l'orientation : – revêtement clair, isolation légère, bardage ventilé ou double peau, – masques architecturaux (galerie, véranda). Intégrer des types de végétation à haute tige.	Prévoir des masques architecturaux (auvents, brise-soleil, galerie, véranda), protections mobiles externes ou motorisées, les rideaux et stores extérieurs étant préférables. Si on utilise des rideaux ou des stores intérieurs, ils ne devront pas être de teinte sombre ou même moyenne car ils augmenteront l'effet de serre du vitrage Etudier les protections solaires avec soin et selon l'orientation : – revêtement clair, isolation légère, bardage ventilé ou double peau, – masques architecturaux (galerie, véranda) Intégrer des types de végétation à haute tige.

	CLIMATISATION NATURELLE	CLIMATISATION ARTIFICIELLE
VENTILATION – Renouvellement d'air	Prévoir une ventilation suffisante : plusieurs dizaines de volumes/heure (vol/h) sont nécessaires pour évacuer les apports climatiques et internes et développer une vitesse d'air moyenne recherchée de 1m/s sur les occupants	Se limiter aux besoins d'air hygiénique des occupants sans oublier de moduler ces renouvellements d'air en fonction de l'occupation réelle (horloges, détection de présence, ...).
– Perméabilité des façades	La perméabilité est favorable au développement de la ventilation naturelle. Cette perméabilité doit être croissante dans le sens du flux (plus importante sous le vent qu'au vent) Privilégier les lames mobiles soit vitrées (mais alors protégées du rayonnement direct) soit opaques (et alors de couleur claire) pour assurer la ventilation avec des commandes par trame pour moduler le débit et orienter les flux.	Eviter les infiltrations par une bonne étanchéité des parois. Privilégier les menuiseries de classe d'étanchéité A3 minimum.
– Cloisons internes	Favoriser une très bonne perméabilité des cloisons pour la circulation de l'air. Cette porosité interne est complémentaire à la porosité externe.	Prévoir une bonne étanchéité entre les zones climatisées et les zones non climatisées ou les zones tampons, et entre les zones à consignes différentes
– Brasseurs d'air	Ils sont nécessaires pour assurer le confort lorsque la ventilation naturelle est insuffisante ou impossible. Ils doivent faire l'objet d'une conception et d'un dimensionnement précis	Ils peuvent être utiles soit en fonctionnement alterné (à la place de la climatisation en période moins chaude), soit en fonctionnement simultané car ils apportent alors une économie en abaissant la température ressentie.
CONFORT, USAGE – Niveau de Confort thermique	Niveau de confort limité en cas de vents faibles. Le port de vêtements légers est préconisé pour favoriser la sudation.	Confort constant pour une installation bien étudiée (pas de courants d'air et de soufflage d'air à température trop basse).
– Usage du bâtiment	Il peut exister des risques de feuilles volantes à cause d'une vitesse d'air importante, le niveau d'humidité reste élevé. Type de conception adapté au résidentiel et certains secteurs du tertiaire (bâtiments scolaires, tertiaire rural)	La vitesse d'air faible (si l'installation est bien étudiée), et l'humidité est «contrôlée ». Type de conception bien adapté aux besoins du tertiaire.

.II.2. Bâtiments naturellement climatisés : quelles exigences quantitatives ?

En matière d'enveloppe, l'exigence principale concerne la transmission de l'énergie solaire à l'ambiance. Cette exigence peut se traduire en flux moyen journalier à ne pas dépasser pour permettre un confort thermique satisfaisant. Ce seuil de flux à ne pas dépasser (entre 6 et 8 W/M2) se traduit en termes d'exigence sur la transmission de la paroi. Pour Nous avons regroupé dans le tableau ci après les exigences résultantes :

.II.2.1. Exigences de moyens

Thématiques	Objectifs à atteindre	Exigence sur le flux moyen transmis	Indicateurs
Exigences de protection solaire (garde fous)	Baies vitrées Les baies seront dimensionnées en fonction des besoins de lumière naturelle. Les protections solaires seront étudiées pour éliminer la composante directe et réduire les apports solaires en fonction du taux de vitrage adopté. Parois verticales opaques La protection solaire des parois sera étudiée en fonction de l'orientation. Paramètres de conception : couleur, masques, bardage et éventuellement isolation Toitures Les performances exigées seront obtenues en combinant la couleur, l'isolation et le cas échéant la ventilation du comble	6 W/m² (m² de plancher) 6 W/m² (m² paroi verticale) 8 W/m² (m² toiture projetée)	Par orientation Facteur transmission solaire Fs U paroi = __W/m².K Absorption = Ou Fts U toit = ____W/m².K absorption toit = Ou Fts
Ventilation naturelle (garde fous)	Ventilation traversante Ou brasseurs (en cas de faible vent) Evacuation des apports thermiques		Va -> 1 m/s Qa > 10 vol/h
Exigence globale de résultats	Nombre d'heure annuel au dessus de au dessus de 28°C à ne pas dépasser % d'heures avec Va >0.8 m/s par ventilation traversante (taux d'autonomie sans fonctionnement du brasseur d'		100 h (par exemple) 70% (par exemple)

.II.2.2. Exigences sur les ouvertures

Facteur solaire total d'une ouverture

Indice d'ouverture en %	0,1	0,12	0,14	0,16	0,18	0,2	0,22	0,24	0,26	0,28	0,3	0,32	0,34	0,36	0,38	0,4
Antilles/Guyane Réunion																
Verticale N S	0,74	0,61	0,52	0,45	0,40	0,36	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17
Verticale NE SE	0,59	0,49	0,42	0,36	0,32	0,29	0,26	0,23	0,22	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13
Verticale E E	0,46	0,38	0,32	0,28	0,24	0,22	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09
Verticale SE NO	0,46	0,38	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17	0,16	0,14	0,13	0,13	0,12	0,11	0,10
Verticale S N	0,45	0,37	0,32	0,27	0,24	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10
Verticale SO NO	0,53	0,43	0,37	0,32	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12
Verticale O O	0,39	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09
Verticale NO SO	0,52	0,43	0,36	0,32	0,28	0,25	0,22	0,20	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12
Verticale N S	0,74	0,61	0,52	0,45	0,40	0,36	0,32	0,29	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17
Horizontale	0,23	0,19	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05

Indice d'ouverture (Ab/Ap) Rapport entre la surface totale d'ouverture (tableau) et la surface de plancher

Le tableau B1 ci dessus traduit l'exigence d'apport moyen de 6 W/m^2 sur le facteur solaire total de la paroi en fonction de l'indice d'ouverture :

Le facteur solaire total Stot résulte d'atténuation du rayonnement solaire :

- par les masques architecturaux, traduit par le facteur de masque
- par la nature des menuiseries et protection rapportée de la baie

Le travail du concepteur est de rechercher l'atténuation solaire exigée Stot en jouant sur les paramètres de conception à sa disposition : masques, nature des menuiseries, et protection rapportée de la baie.

.II.2.3. Exigences sur les parois verticales

Le tableau ci dessous donne les couples (conductance, absorption) garantissant un apport maximal de 6 W/m^2

Conductance	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1
Antilles/Guyane Réunion														
Verticale N S	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,86	0,70	0,57	0,47	0,39	0,32	0,26	0,20	0,16
Verticale NE SE	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,91	0,75	0,63	0,53	0,45	0,38	0,33	0,28	0,23
Verticale E E	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,74	0,61	0,51	0,43	0,37	0,31	0,26	0,22	0,19
Verticale SE NO	1,00	1,00	1,00	1,00	0,87	0,71	0,59	0,50	0,42	0,35	0,30	0,26	0,22	0,18
Verticale S N	1,00	1,00	1,00	1,00	0,84	0,69	0,57	0,48	0,41	0,34	0,29	0,25	0,21	0,18
Verticale SO NO	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,81	0,67	0,56	0,47	0,40	0,34	0,29	0,25	0,21
Verticale O O	1,00	1,00	1,00	0,90	0,72	0,59	0,49	0,41	0,35	0,30	0,25	0,21	0,18	0,15
Verticale NO SO	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,79	0,66	0,55	0,47	0,39	0,34	0,28	0,24	0,20
Verticale N S	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,79	0,67	0,56	0,48	0,41	0,34	0,29
Horizontale	1,00	0,84	0,61	0,47	0,37	0,29	0,24	0,19	0,16	0,13	0,10	0,08	0,06	0,05

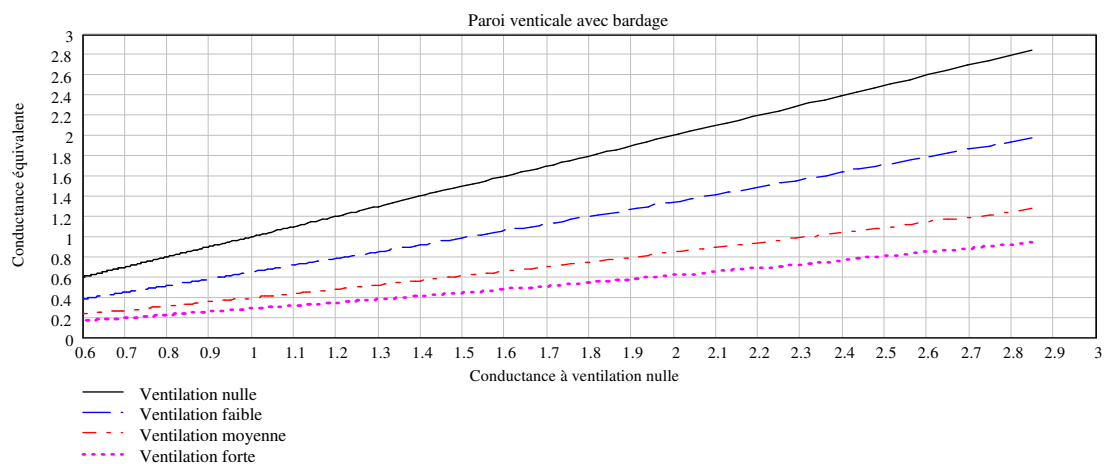
 Le niveau de conductance suffit à atteindre le NEMS, quelque soit la couleur.

 Couple conductance, couleur pour atteindre le NEMS

 L'absorption impossible à atteindre (ou maintenir)

L'effet d'ombrage dû à un masque architectural (débord de toiture ou balcon) est pris en compte sous la forme d'une absorption équivalente.

Pour les parois doubles peaux ou bardage ventilé, l'effet de refroidissement dû à la ventilation est pris en compte sous forme de conductance équivalente, à l'aide de l'abaque ci dessous :



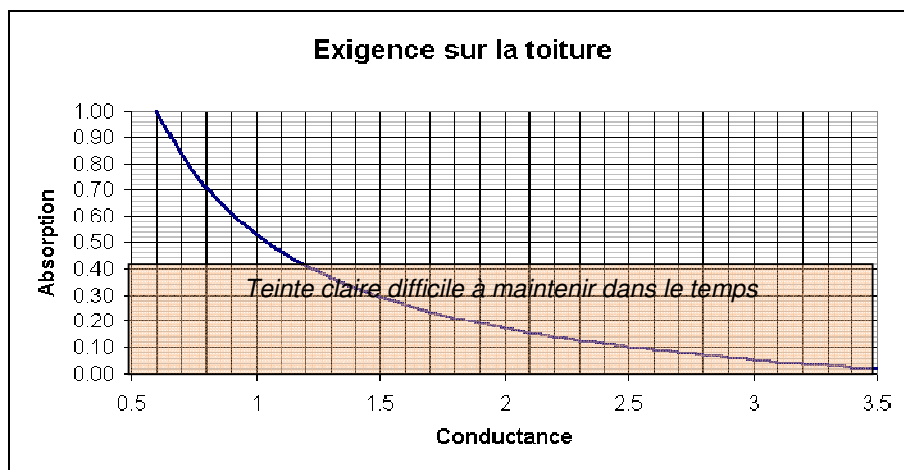
Classe de ventilation d'un bardage

Le tableau qui suit établit la correspondance entre la classe de ventilation et % de surfaces d'ouvertures libres (rapport de sur la l'aire A_o de surfaces d'ouverture sur l'aire A_p de la paroi verticale). Les ouvertures sont supposées être disposées pour générer un effet de tirage thermique (ouvertures d'entrées et de sorties espacées en hauteur)

Classe de Ventilation	Faible	moyenne	forte
Rapport de surface d'ouverture sur la surface de paroi $A_o/A_p =$	1%	5%	20%

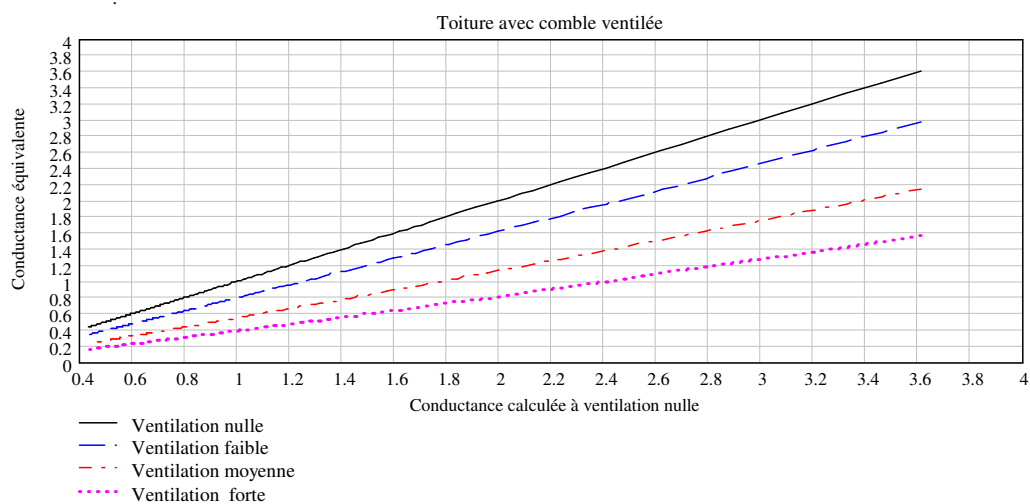
.II.2.4. Exigence sur la toiture

La courbe ci dessous donne les couples (conductance, couleur) garantissant un apport maximal de 8 W/m².



Pour satisfaire l'exigence, le point correspondant au couple (conductance, absorption) choisi doit se situer sous la courbe.

L'effet de refroidissement par ventilation des toitures avec comble ou toitures décollées est pris en compte sous forme de conductance équivalente.



Classe de ventilation d'une toiture ventilée :

Le tableau qui suit établit la correspondance entre la classe de ventilation et la surfaces d'ouvertures :

- A_o : surfaces totales des entrées et sorties d'air (en cas de surfaces différentes prendre la surface la plus faible x 2)
- A_p surface de la toiture (surface projetée horizontale)

Classe de Ventilation	Faible	moyenne	forte
Bâtiment dégagé, ouvertures au vent et sous le vent $A_o/A_p =$	0,006	0,02	0,12
Autres cas de figures $A_o/A_p =$	0,016	0,06	0,34

.II.2.5. Exigence sur la Ventilation naturelle

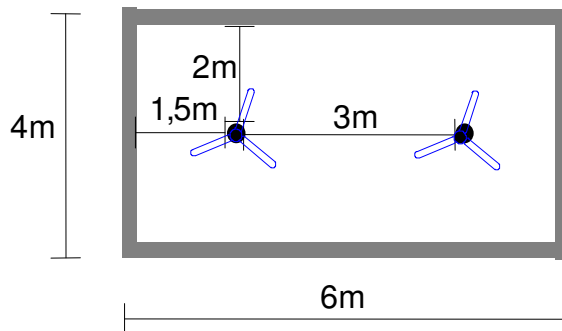
L'évacuation des apports internes par renouvellements nécessite un taux de renouvellement d'air de : $Q_a > 10 \text{ vol/h}$

Pour garantir ce débit en moyen, un taux de porosité de l'ordre de 10% des façades est en générale suffisant pour peu que le niveau de vent local dépasse 3 à 4 m/s sur le site. Dans tous les cas de figure, il est préférable de garantir ces débits par simulations numériques.

En revanche, Une vitesse d'air moyenne d'air de 1m/s est une condition indispensable pour assurer le processus de sudation. En terme de confort, la température résultante ressentie par un occupant est lié à la vitesse par la formule simplifiée : $T_{res}(V) = T_{res}(V=0) + 4 \times V$ en V en m/s.

L'obtention de vitesses d'air de plus de l'ordre de 1m/s dans les locaux nécessite des taux de porosité plus importantes dans les façades : 20 à 30% selon la force du vent local. Comme pour les débits d'air, le taux d'obtention de ce niveau de vitesse sur l'ensemble de la saison chaude peut être calculé par des logiciel intégrant un module CFD.

Pour garantir une vitesse d'air de 1 m/s, même en période de vent calme et quelque soit les conditions climatiques, il est recommandé l'installation de brasseurs dans toutes les pièces.



.III. Bâtiment climatisés

.III.1. Bien concevoir l'enveloppe

.III.1.1. Expression des exigences : Indicateurs et garde fous (approche composants),

En matière d'enveloppe, on retrouve les mêmes exigences que pour les bâtiments conçus en climatisation naturelle. L'orientation à privilégier en terme de façade sont les orientations nord sud, plus facile à protéger du soleil que les orientations Est et surtout Ouest. Nous avons regroupé dans le tableau ci après les exigences les Garde fous par composant d'enveloppe.

Composant du bâti	Expression de l'exigence en termes de flux moyen journalier ou d'apports totaux journaliers
Baies vitrées	L'apport moyen par m2 plancher ne doit pas excéder de 6 W/m2 de plancher en terme de flux moyen journalier sur 24 h ou 144 Wh /m2plancher /jour en terme énergétique.
Parois verticales	L'apport moyen par m2 de parois verticales ne doit pas dépasser 6 W/m2 de paroi en terme de flux moyen journalier sur 24 h ou 144 sh /m2 de paroi /jour en terme énergétique.
Toitures	L'apport thermique moyen par m2 de toiture ne doit pas excéder de 8 W/m2 de plancher en terme de flux moyen journalier sur 24 h ou 192 Wh /m2plancher /jour en terme énergétique
Ponts thermiques	Pas d'exigences

Sur un plan énergétique, deux critères permettent de synthétiser l'effort de conception

- Consommation totale à ne pas dépasser
- La perméabilité à l'air du bâtiment

Thématiques	Objectifs à atteindre	NEM
Puissance et consommations	Consommations d'énergie réduites et une puissance appelée réduite	$P < P_{ref}$ $P < P_{ref}$ ou $C < C_{ref}$ ou $CO_2 < CO_{2ref}$
Perméabilité de l'enveloppe	Qualité d'étanchéité à l'air des menuiseries Accès au bâtiment par des dispositifs appropriés : porte battante, sas dans les commerces (art 66 RT 2000)	Classe 1 au sens de la norme NF EN 12207 (voir AFNOR FDP 20201)
Inertie thermique	Une plus grande inertie thermique est préconisée pour les locaux occupés la journée ou de façon permanente pour amortir la puissance appelée.	

NEM = Niveau d'Exigences Minimales.

.III.1.2. Expression des exigences pour un bâtiment performant

Pour définir le niveau de consommation performant pour un bâtiment en zone tropicale humide, on propose de procéder d'une manière identique à la réglementation française. Il suffit de définir une référence de garde fou permettant de définir un projet de référence. L'effort environnemental d'un projet est quantifié par l'écart du projet vis à vis u projet de référence. On définit plusieurs niveaux de consommation

Consommation électrique Tous usages en kWh/an.m ²	Puissance maximale électrique Tous usages en W/m ²	Emissions annuelles* Tous usages en kg CO ₂ /an.m ²
C =	P =	CO ₂ =
C _{ref} =	P _{ref} =	CO _{2ref} =
C _{ref} -C > 5 kWh/m ² .an (bureaux) 10 kWh/m ² .an (hôtel) 20 kWh/m ² .an (commerce)	P _{ref} - P > 4 W/m ² (bureaux) 4 W/m ² (hôtel) 6 W/m ² (commerce)	CO _{2ref} - CO ₂ > 5 kg/m ² .an (bureaux) 10 kg/m ² .an (hôtel) 15 kg/m ² .an (commerce)

*Les émissions de CO₂ sont calculées comme :

CO₂ = 0,7 kg * ____ kWh annuel en Heures Creuses + 1,05 kg * ____ kWh en heures pleines

.III.1.3. Vers la définition d'un bâtiment BBC en zone tropicale humide

Pour situer les exigences formulées par rapport aux exigences réglementaires actuelles ou en préparation dans le domaine de la thermique, les tableaux ci-dessous présentent les NEM proposés dans pour un bâtiment BBC et les dispositions réglementaires correspondantes dans RT-2005, le projet de réglementation dans l'habitat en ventilation naturelle dans les DOM (CODOM) et les premiers éléments de RT-Clim.

Domaine	Valeurs de référence BBC	CODOM	RT-2000	RT-Clim (*)
Parois opaques	Pas de protection solaire	-	-	-
	U = 1,6 N/S U = 1,1 E/O toiture = 0,6 10% pour ponts	-	Ubat-ref Avec ponts	Ubat-ref Avec ponts
	Couleur claire α = 0,4	-	Valeurs proposées pour le calcul de Ticref	-
	Inertie moyenne	-	Inertie du bat pour Ticref	-
Vitrage	IGS = 0,065 E/O IGS = 0,12 N/S Réunion IGS = 0,095 S/N Réunion IGS = 0,035 toit	-	Ubat-ref Sref pour le calcul de Ticref S fixé pour le calcul de Cref	Ubat-ref Sref
	Pas de masques proches	-	Pas de masques	-
	A = 0,2	-	-	-

Domaine	Valeurs de référence BBC	CODOM	RT-2000	RT-Clim (*)
Apports internes	Scenario et puissance du bâtiment réel	-	Données conventionnelles	Données conventionnelles sauf pour l'éclairage
climatisation	EER selon type	-	PAC : COP et Pch à $t_{ext} = 7$ et -7°C . Prise en compte de la température extérieure	Caractéristiques nominales pleine charge charge partielle Prise en compte des températures des sources
auxiliaires	$P_{vent_{cond}} = 0,1 P_{cond}$ $P_{pomp_{cond}} = 0,008 P_{cond}$ $P_{pomp_{évap}} = 0,008 P_f$ $P_{vent_{cta}} = 0,1 P_f$ $P_{vent_{vc}} = 0,035 P_f$	-	-	-
consigne	25°C	-	Selon bâtiments pour C et Cref	Selon bâtiments
Renouvellement d'air	Double flux $P_{vent} = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ $\text{Débit} = 18 \text{ m}^3/(\text{h.pers})$	-	Prise en compte de la perméabilité Règle du balayage Système double flux sans échangeur Perméa réseaux classe A Débit de ref majoré par dépassement $P_{vent} = 0,25 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ ou calcul	-
gestion	Arrêt clim et ventil en inocc	-	Intermittence de la production de chauffage	-

.III.2. Concevoir le système de climatisation

.III.2.1. Les données de base du dimensionnement

Les méthodes utilisées pour l'évaluation des charges du local doivent favoriser un dimensionnement au plus juste, plus précis qu'un recours aux ratios (W/m^2) ou à l'hypothèse de la simultanéité de tous les apports maximaux. De plus, l'évaluation des charges hydriques doit permettre de définir une installation qui réponde aux besoins de déshumidification essentiels en zone tropicale humide.

Dimensionner un appareillage de climatisation, c'est déterminer la puissance en froid qui permettra de maintenir la température dans le bâtiment à une valeur souhaitée tout en tenant compte de la déshumidification nécessaire. Il convient d'explicitier d'abord les conditions qui servent de base aux déterminations :

- conditions externes (voir .I.1),
- conditions d'ambiance en température et humidité relative T_a , HR_a .

Il convient de souligner l'influence de ce choix sur les puissances et les énergies consommées, comme l'illustre ce résultat relatif à un Centre commercial situé en Guadeloupe.

T _a dans la zone hors rayons froids	Bâtiment léger	Bâtiment intermédiaire		Bâtiment lourd
	Energie annuelle kWh/m ²	Puissance W/m ²	Energie annuelle kWh/m ²	Energie annuelle kWh/m ²
20°C	238	222	255	169
21°C	229	214	244	163
22°C	221	207	233	158
23°C	212	200	222	153
24°C	204	192	212	148
25°C	195	185	202	142

On observe une augmentation des consommations de 5% par degré ; soit 25 % pour 5°C. Pour le bâtiment très lourd, l'accroissement de consommation est de 3.5% par degré. Tous ces cas constituent des minimums car le renouvellement d'air est faible - limité à 1 volume par heure. La surconsommation peut être atteinte 10% par degré si le bâtiment est très ouvert aux infiltrations.

Les températures externes données au niveau de la mer doivent être corrigées pour tenir compte de l'altitude du site, et de l'importance de l'agglomération.

- - 1 °C par 200 m d'altitude,
- + 1 à 2 °C de ville moyenne à importante. (voir .V.4)

Le dimensionnement des installations s'effectue par local. Il en est donc ainsi de la détermination des charges : local par local. On définit des zones : espaces ou groupe d'espaces intérieurs, suffisamment semblables thermiquement pour que les ambiances désirées puissent être maintenues avec le même fonctionnement.

.III.2.2. Le calcul des charges

On évalue :

- les **charges enthalpiques**, exprimées en watts (W) - positives quand il y a des apports de chaleur à vaincre.

Charge enthalpique = **charge sensible** + charge latente

$$\Phi_T = \Phi_S + \Phi_L$$

- les **charges hydriques**, exprimées en kg d'humidité par heure (kg/h ou quelquefois kg/s) - positives quand il y a des apports d'eau à vaincre. La **charge latente** est définie conventionnellement par :

$$\Phi_L = h_{lg} \cdot E \quad (h_{lg} = 2500 \text{ kJ/kg})$$

E débit d'humidité en kg/s

Φ_L en kW

Ces charges représentent ce que l'air conditionné soufflé dans les locaux doit vaincre. Plus les charges seront évaluées finement et en approchant au plus près les apports réels, plus on évitera les surdimensionnements des installations, coûteux en investissements et en fonctionnement. Un calcul rigoureux des charges ne peut s'envisager qu'en utilisant un logiciel de simulation dynamique, car il doit prendre en compte la variation temporelle des apports et la réponse thermique du bâtiment à cette variation. Par exemple l'application OPTICLIM développée pour la Réunion fait appel à Energy Plus (voir .I.1.3) On peut évaluer "à la main" un ordre de grandeur du résultat. En général, cette estimation conduit à des valeurs supérieures à celles d'un calcul précis.

Les charges climatiques proviennent :

- des échanges de chaleur à travers les parois,
- des infiltrations et des apports d'air extérieur, qui introduisent chaleur et humidité.
- des apports solaires par les baies, la toiture et les parois opaques, tenant compte des protections solaires,

Les échanges de chaleur à travers les parois opaques et transparentes sont appréciés en régime permanent. On considère qu'il n'y a pas d'apports hydriques par les parois.

$$\Phi_p = (K_{g1} \cdot S_1 + K_{g2} \cdot S_2 + \dots + K_{gn} \cdot S_n) \cdot \Delta T$$

K_{gi} : coefficient global d'échange ($W/m^2 \cdot ^\circ C$),

i est l'indice de la paroi,

la somme est faite pour toutes les parois (murs, toit)

S_i : surface de la paroi à l'intérieur (m^2)

ΔT : écart de température extérieur - intérieur - $\Delta T = T_e - T_a$ ($^\circ C$)

Les infiltrations se produisent sous l'influence de la différence de pression entre extérieur (influence locale du vent) et intérieur et de la perméabilité du bâtiment et de ses ouvrants. Elles proviennent également des ouvertures de portes et fenêtres. L'échange estimé peut intégrer le *renouvellement d'air contrôlé* fonction de la réglementation hygiénique locale²³. Soit D_i (m^3/s) le débit d'air infiltré, on déduit les charges enthalpiques et hydriques de façon simple par :

$$\Phi_i = D_i \cdot (h_E - h_A) / v'_E$$

$$E_i = D_i \cdot (w_E - w_A) / v'_E$$

v'_E : volume spécifique de l'air extérieur en m^3/kg as

h_E : enthalpie spécifique de l'air extérieur en kJ/kg as

w_E : humidité spécifique de l'air extérieur en kg/kg as

h_A : enthalpie spécifique de l'air intérieur en kJ/kg as

w_A : humidité spécifique de l'air intérieur en kg/kg as

Les apports solaires. L'éclairement reçu par la surface dépend de son inclinaison et son orientation et des protections solaires envisagées. (voir .I.3.3).

²³ Dans bien des méthodes [Guide n°2 de l'AICVF, 1997], comme dans ce qui suit, les charges du local ne comptent pas le renouvellement d'air neuf, qui est pris en compte lors de la détermination du système. Lorsque l'on retient des solutions du type ventilo-convecteurs, splits systèmes, associés à une ventilation simple flux, il faut prendre en compte le renouvellement d'air neuf dans les charges du local.

RECAPITULATIF DU CALCUL DES CHARGES CLIMATIQUES

Charges enthalpiques

$$\Phi_p = (K_{g1} \cdot S_1 + K_{g2} \cdot S_2 + \dots + K_{gn} \cdot S_n) \cdot \Delta T$$

$$\Phi_i = D_i \cdot (h_E - h_A) / V_E$$

$$\Phi_{\text{solaire}} \quad \text{voir .I.3.2).}$$

$$\Phi_{\text{clim}} = \Phi_p + \Phi_i + \Phi_{\text{solaire}}$$

Charges hydriques

$$E_{\text{clim}} = E_i = D_i \cdot (w_E - w_A) / V_E$$

Les charges internes proviennent :

- des occupants qui dégagent chaleur et vapeur d'eau,
- de l'éclairage,
- des apports dus aux équipements (chaleur et éventuellement vapeur d'eau).

La chaleur produite par les occupants se transmet par les échanges thermiques dus à la différence de température qui existe entre la surface du corps et l'ambiance (rayonnement + convection). En outre, le corps dégage de la vapeur d'eau à la surface de la peau et par la respiration.

Les valeurs doivent être modifiées en fonction du poids. Pour une femme on multiplie les valeurs par 0,8 et pour des enfants par 0,75. L'humidité dégagée dépend de l'ambiance intérieure lorsque la vêtue n'est pas adaptée à la température pour la limiter. Les valeurs du tableau sont données pour une ambiance intérieure moyenne (25°C) et ne sont valables que pour une humidité relative comprise entre 30 et 80 %. En zone tropicale, les occupants adaptent naturellement leur vêtue dans les bâtiments d'habitation. Dans le tertiaire, des contraintes vestimentaires peuvent exister (obligation de porter la veste par exemple).

Φ_{occ} et E_{occ} se déduisent de ces valeurs en fonction du nombre d'occupants en général connu par ρ , ratio d'occupation au m^2 .

L'énergie électrique consommée par les lampes d'éclairage et les systèmes associés, situés à l'intérieur des locaux, se transforme intégralement en chaleur, sauf l'énergie lumineuse qui sort par les vitrages.

S'il s'agit de tubes fluorescents, il faut prendre en compte la puissance appelée des ballasts, excepté s'ils sont extérieurs, ce qui représente environ 25 % de la puissance du tube lui-même. D'un point de vue énergétique, il est intéressant d'extraire la chaleur en partie arrière des appareils d'éclairage. Dans ce cas, on ne prendra en compte dans le bilan des charges que la puissance réellement dissipée dans le local : de 20 à 60 % selon l'efficacité de l'extraction de chaleur. L'éclairage est fréquemment arrêté au moment des charges solaires maximales (voir **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) si les protections solaires sont dimensionnées sans excès. A priori, il ne faut donc pas les compter dans les charges simultanément avec l'ensoleillement maximal.

La puissance installée dépend du rendement lumineux du couple (source lumineuse + luminaire). Ce rendement est le rapport entre la puissance installée [W/m^2] et le niveau d'éclairement [lux] qui tient compte des textes réglementaires tels que le code du travail : $\Phi_{\text{ec}} = \Sigma \phi_{\text{ec}}$

Dans le cas *d'appareils de bureautique* (micro-ordinateurs, imprimantes, ...), soit on a accès aux caractéristiques des appareils, soit on fait appel à des ratios au m^2 . Il faut donc sommer l'ensemble des équipements bureautique prévus en fonction de leur usage simultanée²⁴ : $\Phi_{\text{bur}} = \Sigma \phi_{\text{bur}}$

RECAPITULATIF DU CALCUL DES CHARGES INTERNES

Charges enthalpiques

$$\Phi_{\text{occ}}$$

$$(\Phi_{\text{ec}} = \Sigma \phi_{\text{ec}})$$

$$\Phi_{\text{bur}} = \Sigma \phi_{\text{bur}}$$

$$\Phi_{\text{int}} = \Phi_{\text{occ}} + \Phi_{\text{ec}} + \Phi_{\text{bur}}$$

Charges hydriques

$$E_{\text{int}} = E_{\text{occ}}$$

²⁴ Attention lorsqu'on superpose les apports à tenir compte de leur réelle simultanéité en faisant attention qu'il existe trois échelles de temps :

- **Le temps solaire vrai TSV.** Le midi (12h) solaire peut être repéré comme correspondant à la position du soleil au zénith. C'est donc le temps normalement indiqué par un cadran solaire.
- **Le temps universel TU.** Il a pour base le méridien de Greenwich depuis 1884. Ainsi à 12h TSV à Greenwich, il est exactement 12h TU à Greenwich. Du fait de la rotation de la terre, l'heure TU augmente à raison de 4 minutes par degré de longitude Est (24 heures pour 360 degrés - un fuseau horaire correspond à 15 degrés de longitude).
- **Le temps légal TL.** Il est décalé du temps universel TU d'une valeur forfaitaire appelée décalage horaire.

.III.2.3. Méthode des constructeurs pour le dimensionnement

Ces méthodes ont toutes des points communs.

On suppose que l'installation ne contrôle pas l'humidité. Il y a bien sur en climat tropical humide une déshumidification sur la batterie froide mais celle ci est absolument non contrôlée (pour forcer la déshumidification, les appareils réduisent le débit de soufflage d'air ce qui fait baisser la température dans la batterie terminale).

Les apports par les vitrages sont considérés prépondérants. C'est à dire que l'orientation de ceux ci va fixer le moment de l'année pour lequel le calcul des apports est réalisé. Les différentes valeurs climatiques qui interviennent ensuite (pour les parois vitrées, les parois opaques, le renouvellement d'air) sont alors fonction de ce choix initial.

On peut citer les feuilles de calcul de :

- AIRWELL
- CARRIER
- CIAT
- DAIKIN
- FUJITSU
- MITSUBISHI
- SANYO
- TECHNIBEL
- TRANE
- WINNER
- PANASONIC

L'utilisation de ces méthodes est préférable à celle de ratios types mais les tests comparatifs ont montré une certaine disparité entre les méthodes ; certaines ayant tendance à conduire systématiquement à un surdimensionnement.

.III.2.4. Dimensionnement des appareils

En formant le rapport $\gamma = \Phi / E$ et en traçant sur le diagramme de l'air humide, par le point A d'ambiance voulue, une demi-droite de pente γ , on obtient la « **droite de soufflage** » (voir Figure 24) ; droite dont tous les points représentent des caractéristiques d'airs capables de réaliser l'ambiance A, à des débits différents suivant leur position.

Si m_s est le débit spécifique d'air soufflé aux caractéristiques S, les équations ci-dessous doivent satisfaire le bilan et justifient le tracé de γ :

$$\Phi = \Delta h \cdot m_s$$

$$\text{et} \quad \gamma = \frac{\Delta h}{\Delta w} = \frac{\Phi}{E}$$

$$E = \Delta w \cdot m_s$$

Δh et Δw sont les écarts de chaleur et d'eau que chaque kg d'air sec soufflé est en mesure d'annuler²⁵.

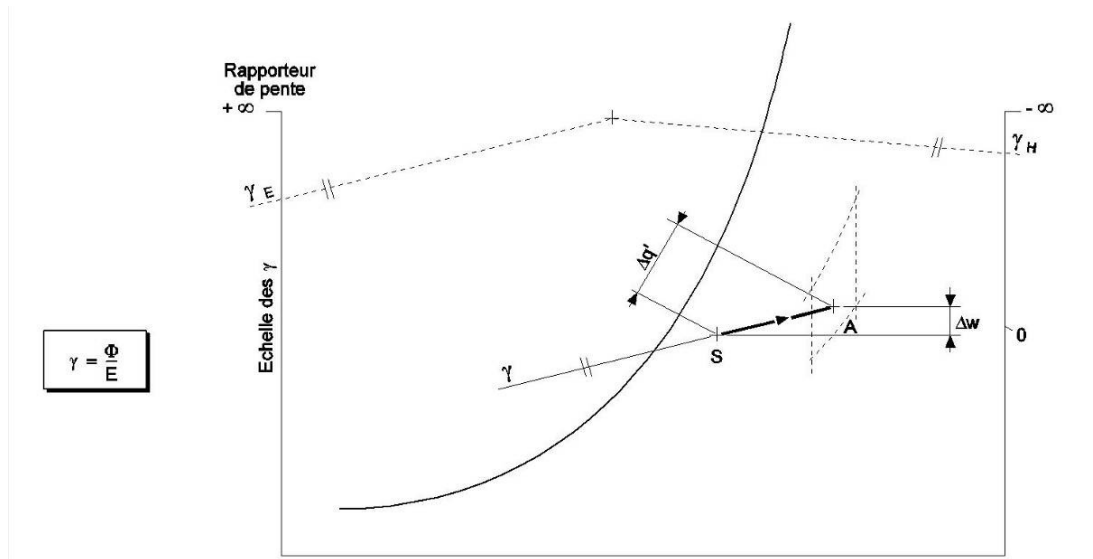


Figure 24 - Exemple de positionnement de la droite de charge du local

La demi droite bornée au point A est spécifique de la charge thermique et hydrique du local. C'est donc aussi la **droite de charge du local**, pour des conditions données. La batterie froide est finalement sélectionnée en fonction de en fonction de cette droite. Sa puissance P_F est :

$$P_F = (h_A - h_{S'}) \cdot m_s$$

²⁵ Les apports par le ventilateur sont tels que généralement ils se traduisent par une élévation de température d'environ 1 °C en climatisation. Même si ces évaluations sont approximatives, il est de bonne pratique d'en tenir compte dès l'avant-projet, pour éviter les mauvaises surprises par la suite.

.III.3. Equipements : meilleures techniques disponibles

.III.3.1. Les systèmes actuellement les plus utilisés

Les Conditionneurs individuels [ou climatiseurs] sont des appareils de petite puissance (< à 8 kW froid), qui sortent d'usine complets, en état de fonctionner ou avec très peu de travaux d'installation. Signalons immédiatement les climatiseurs mobiles, diffusés en vente directe et à installation « sauvage » pour dire qu'il faut concevoir bâtiment et équipement pour éviter un recours compulsif à ces appareils de piètre performance et présentant des nuisances esthétiques et sonores.

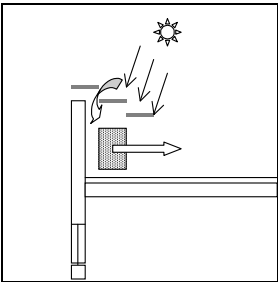
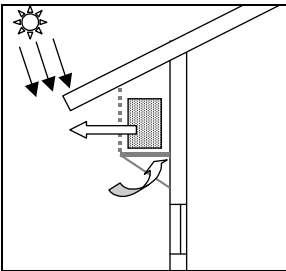
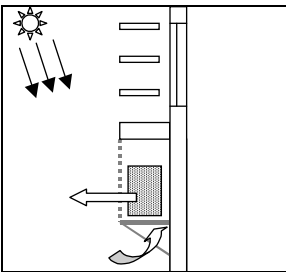
Situation	Avantages	Remarques
En toiture terrasse 	Bon échange thermique, possibilité de protection à la vue par les parapets, les murs cache-toit	Organiser l'implantation des différentes unités et des canalisations. Assurer la protection de l'étanchéité multicouche. Prévoir une protection efficace à la pluie, au soleil
Sous toiture inclinée 	Bonne protection à la pluie, au soleil. Possibilité de pose avec silent-blocs sur une dalle en béton ou une console en acier, accessibles.	Limiter la transmission du bruit à l'espace habitable. Assurer l'échange thermique par une ventilation adéquate (sous le vent)
En façade verticale 	Bon échange thermique en situation urbaine non confinée Possibilité de protection à la vue par des armoires et caillebotis.	Prévoir une protection efficace à la pluie, au soleil. Eviter la transmission du bruit et des flux de chaleur à l'espace habitable et à l'extérieur (rue, jardin)

Figure 24 - Intégration architecturale de climatiseur à éléments séparés à air [Split]

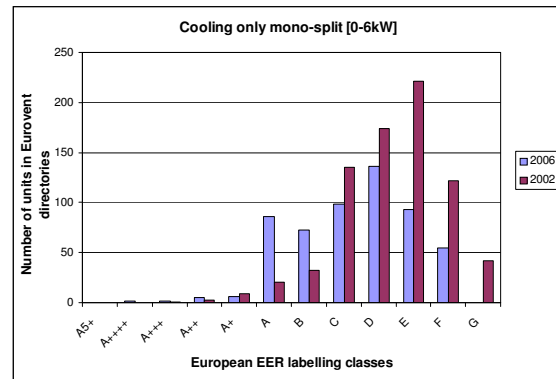
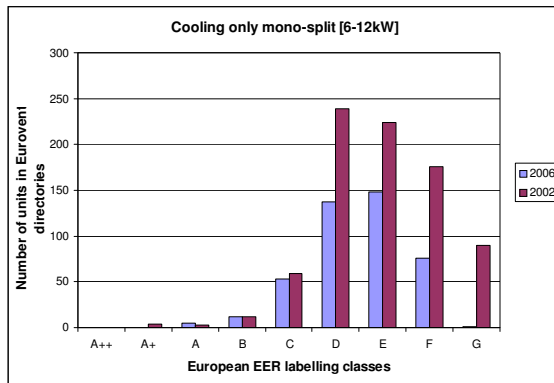
Le climatiseur de fenêtre qui s'encastre dans une paroi extérieure, souvent en allège de fenêtre voit ses parts de marché baisser au profit des **climatiseurs à éléments séparés [ou « split system »]** dont les performances extrêmement variables peuvent être remarquables. Différentes implantations sont possibles qui doivent concilier : esthétique, aéraulique (bonne prise d'air), acoustique et prévoir l'évacuation des condensats très importants en zone tropicale humide.

Les tubes de frigorigène peuvent être livrés préchargés en fluide, avec des raccords à bouchon percutable. Il est important que la mise en service soit réalisée par des professionnels compétents de

manière à éviter toute fuite à l'atmosphère de fluide frigorigène. Leur potentiel de réchauffement climatique est en effet élevé.

L'unité intérieure adopte différentes présentations : murale positionnée à hauteur d'homme, allège, plafonnière, d'angle, cassette de faux-plafond, unité [dite « gainable »] pouvant recevoir de courts conduits d'air et des bouches de soufflage. La combinaison de plusieurs unités intérieures (vont jusqu'à cinq), fonctionnant en même temps de la même façon, sur une seule unité extérieure est possible [multi-split].

La performance est caractérisée par le coefficient EER (Energy efficiency ratio) qui désigne le rapport de la puissance frigorifique fournie sur la puissance électrique consommée. Il s'exprime donc en W par W ; toutefois les produits d'origine anglo saxonne affichent plutôt cette valeur en BTU/h et par W. L'ordre de grandeur est donc bien différent et il faut y être attentif. Voici l'analyse des EER des windows et des splits d'après les données du catalogue EUROVENT.



Extrait de la Directive 2002/31/CE DE LA COMMISSION du 22 mars 2002 :

La classe d'efficacité énergétique est déterminée conformément aux tableaux repris ci-après lorsque le niveau de rendement énergétique (EER) est déterminé conformément aux procédures d'essai des normes harmonisées visées à l'article 2 et dans des conditions modérées (T1)¹.

Classe d'efficacité énergétique	Appareils split et multi-split
A	$3,20 < \text{EER}$
B	$3,20 \geq \text{EER} > 3,00$
C	$3,00 \geq \text{EER} > 2,80$
D	$2,80 \geq \text{EER} > 2,60$
E	$2,60 \geq \text{EER} > 2,40$
F	$2,40 \geq \text{EER} > 2,20$
G	$2,20 \geq \text{EER}$

La Chine est aujourd'hui le premier pays de climatiseurs du monde. La production est passée de 223 unités en 1978 à 66 millions en 2004. D'après le rapport de l'institut de recherche du Conseil d'Etat, il existe une cinquantaine d'enseignes de produits de climatisation, dont Chunlan, Haier, Gree, Midea, Kelong détiennent plus de 60% du marché intérieur. Ces produits sont extrêmement présents sur les marchés « tropicaux ».

Climatiseur	Producteur
Gree	Gree Electric Appliance, Inc, Ltd.
Haier	Qingdao Haier Air- conditioning Company Co.Ltd.
Kelong	Guangdong Kelong Appliance ,Inc.
Zhi gao	Guangdong Zhigao Air conditioner Co. Ltd.
Chunlan	Jiangshu Chunlan refrigeration appliance Co.Ltd.
Mitsubishi	Mitsubishi electric Inc. (shanghai)
Panasonic	(Guangzhou)Panasonic Home appliance air conditioning Co.Ltd.
TCL	TCL air-conditoning Co.Ltd (Zhongshan)
Hualing	Guazhong Hualing air-conditioning appliance Co.Ltd
Midea	Guangdong Midea refrigeration appliance Co.Ltd (Foshan)
Sharp	Sharp Shanghai
Hitachi	Hitachi Shanghai
LG	Tianjin LG
AUX	Ningbo Aux Air-conditioning Co.Group
Xinfei	Henan Xinfei electronic appliance Co.Ltd.
Galanz	Guadong Galanz (shunde) enterprise Co. group

Les niveaux de performance des climatiseurs ressortent de la norme « GB12021.3-2004 ». Celle-ci s'applique aux climatiseurs de capacité inférieure à 14 kW. Les climatiseurs de puissance inférieure à 14 kW sont classés en cinq niveaux :

Type	Puissance frigorifique	Niveau d'efficacité énergétique				
		5	4	3	2	1
Split	Inférieure à 4500	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40
	Entre 4500 W et 7100 W	2.50	2.70	2.90	3.10	3.30
	Entre 7100 W et 14000 W	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20

Performance des produits sur le marché chinois

Les unités autonomes de toiture [ou « roof-top »] quasiment systématiques dans les grandes surfaces de vente des zones tropicales (super et hypermarchés) ont des puissances relativement importantes. Ces unités pour une installation simple en toiture doivent être soigneusement calorifugées et protégées des intempéries. La présence d'une batterie chaude après la batterie froide peut être justifiée par la nécessité d'une importante déshumidification qui abaisse fortement la température, et, demande un réchauffage. Dans ce cas la batterie chaude devrait être alimentée par le gaz chaud venant du compresseur (récupération thermodynamique).

Un fonctionnement totalement indépendant des unités intérieures nécessite une variation du débit de fluide frigorigène par variation de la vitesse, d'au moins un de ses compresseurs. On se trouve alors en présence d'une installation semi-centrale dite à fluide thermodynamique direct à **volume de réfrigérant variable**, qui peut alimenter plus de 5 unités intérieures. Ce système se présente avec des particularités attrayantes pour le maître d'œuvre et l'utilisateur :

- unités assemblées et testées en usine, facilitant le montage sur site,
- variabilité du débit d'air et de la puissance délivrée,
- dénivelés et longueurs possibles de canalisations de fluide frigorigène très importantes,
- diamètre des tubes nettement réduits par rapport aux distributions d'eau, et faible encombrement de l'ensemble,
- gestion électronique intégrée du fonctionnement, avec dépistage des défauts,

En contrepartie :

- il est impératif que les liaisons frigorifiques soient réalisées par des professionnels, spécialement formés aux systèmes mis en œuvre. Il en est de même de la maintenance,
- faire circuler une grande quantité de fluide frigorigène dans les locaux accroît le risque de fuites de frigorigène.

Les installations dites semi-centralisées, destinées à plusieurs locaux, se distinguent par un traitement d'ambiance par local le plus souvent à l'aide de **ventilo-convecteurs** et une production d'eau froide centralisée. Ce type de système est très fréquent dans les bureaux et les hôtels. La centralisation de la production d'eau froide favorise un étalement de la puissance appelée et la possibilité d'implanter un stockage de froid approprié dans les pays présentant de fortes pointes électriques dues à la climatisation. Il est essentiel de prévoir un calorifugeage efficace du réseau de distribution.

En climat chaud et humide, les entrées d'air extérieur vont produire des condensations sur les parties froides intérieures (inférieures à la température de rosée de l'air extérieur) et, notamment sur les grilles de soufflage du ventilo-convecteur, les canalisations et réservoirs d'eau froide mal calorifugées.

Ventilation :

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Air neuf : air hygiénique, air extérieur - VMC : ventilation mécanique contrôlée - Simple flux : entrée directe d'air dans le local par dépression due à l'extraction - Double flux : insufflation d'air neuf et extraction d'air vicié | <p>Le résultat est amélioré avec l'entrée d'air extérieur directement dans le ventilo-convecteur.</p> <p>Mais l'air neuf n'est pas vraiment filtré et le pont acoustique avec l'extérieur est difficile à traiter.</p> <p>D'autre part, rappelons cette évidence, encore plus marquée en climat humide ; pour éviter condensations sur les bouches de soufflage et consommations inutiles, installer des détecteurs magnétiques d'ouverture de fenêtres qui coupent le soufflage froid.</p> |
|--|---|

.III.3.2. Ne prescrire que des appareils certifiés

Deux décisions importantes ont été prises par les fabricants **Eurovent** de groupes de production d'eau glacée :

- la première réalisation date de **2005** ; il s'agit de la mise en place, sur la base d'une participation volontaire, d'une **classification énergétique à pleine charge**. Sur la base des groupes certifiés Eurovent, des classes énergétiques ont été définies pour l'EER brut à pleine charge, pour chaque type de machine. L'objectif de cette classification est double, promouvoir les groupes de production d'eau glacée les plus efficaces et faciliter l'élimination, dans un futur proche, des moins efficaces d'entre eux.

Les conditions d'essais à pleine charge sont décrites dans la norme EN 14511. Pour tous les groupes de production d'eau glacée, les conditions d'essais à l'évaporateur sont les suivantes :

- Température de sortie d'eau de 7 °C à l'évaporateur,
- Débit d'eau à l'évaporateur correspondant à une différence de température de 5 °C à l'évaporateur,

Les conditions de condensation, qui correspondent à des conditions de dimensionnement, sont les suivantes :

- Condenseur à air : température d'entrée d'air fixée à 35 °C,
- Condenseur à eau : température d'entrée d'eau fixée à 30 °C, et de sortie d'eau à 35 °C,
- Condenseur séparé : température de vapeur saturée / point de bulle de 45 °C,

- la deuxième décision est la mise en place d'un **index des performances saisonnières des groupes de production d'eau glacée, nommé ESEER** (European Seasonal Energy Efficiency Ratio), équivalent européen de l'**IPLV** (Integrated Part Load Value) utilisé par l'ARI (Air-conditioning and Refrigeration Institute) aux Etats-Unis. Ce coefficient de performance moyen annuel intègre les variations de l'efficacité avec le taux de charge et la température extérieure, en prenant en compte une courbe de charge représentant des conditions d'utilisation moyennes. L'ESEER est publié dans l'annuaire Eurovent en plus des performances à pleine charge.

De façon à éviter toute confusion et une utilisation possible par des fabricants non certifiés, la désignation « Eurovent Class A » ou « Eurovent Class B » est utilisée et légalement protégée. Pour les groupes de production d'eau glacée à « faible bruit », la classe correspond à un fonctionnement à pleine charge et avec la vitesse maximum de rotation des ventilateurs.

Classe énergétique Eurovent	Condensation à air	Condensation à eau	Condenseur séparé
A	EER ≥ 3,1	EER ≥ 5,05	≥ 3,55
B	2,9 ≤ EER < 3,1	4,65 ≤ EER < 5,05	3,4 ≤ EER < 3,55
C	2,7 ≤ EER < 2,9	4,25 ≤ EER < 4,65	3,25 ≤ EER < 3,4
D	2,5 ≤ EER < 2,7	3,85 ≤ EER < 4,25	3,1 ≤ EER < 3,25
E	2,3 ≤ EER < 2,5	3,45 ≤ EER < 3,85	2,95 ≤ EER < 3,1
F	2,1 ≤ EER < 2,3	3,05 ≤ EER < 3,45	2,8 ≤ EER < 2,95
G	< 2,1	< 3,05	< 2,8

Tableau 2 : Classification énergétique des groupes de production d'eau glacée en mode refroidissement

Cette classification suit l'approche de A à G utilisée pour le Label Énergétique Européen pour les climatiseurs individuels présentée plus haut, mais la classification proposée n'est pas un étiquetage, puisqu'aucun label n'est utilisé. La classification est en place depuis février 2005 ; la répartition du nombre d'unités dans chaque classe est donnée au tableau 3.

Eurovent Class / kW	0-50	50-100	100-150	150-200	200-500	500-1000	>1000	Total
A	85	12	4	7	72	85	115	380
B	114	51	46	21	142	179	112	665
C	203	75	76	40	206	229	137	966
D	244	143	106	80	295	213	80	1161
E	383	131	121	84	432	246	98	1495
F	287	62	54	52	125	68	29	677
G	152	14	10	8	41	31	19	275
Total	1468	488	417	292	1313	1051	590	5619

Tableau 3 : Répartition des modèles par classes d'efficacité énergétique Eurovent

Ces mesures simples permettent donc de **faciliter le choix des unités efficaces** par les professionnels dans l'annuaire Eurovent, consultable en ligne sur www.eurovent-certification.com.

.III.3.3. Réutilisation énergétique pour l'eau chaude sanitaire

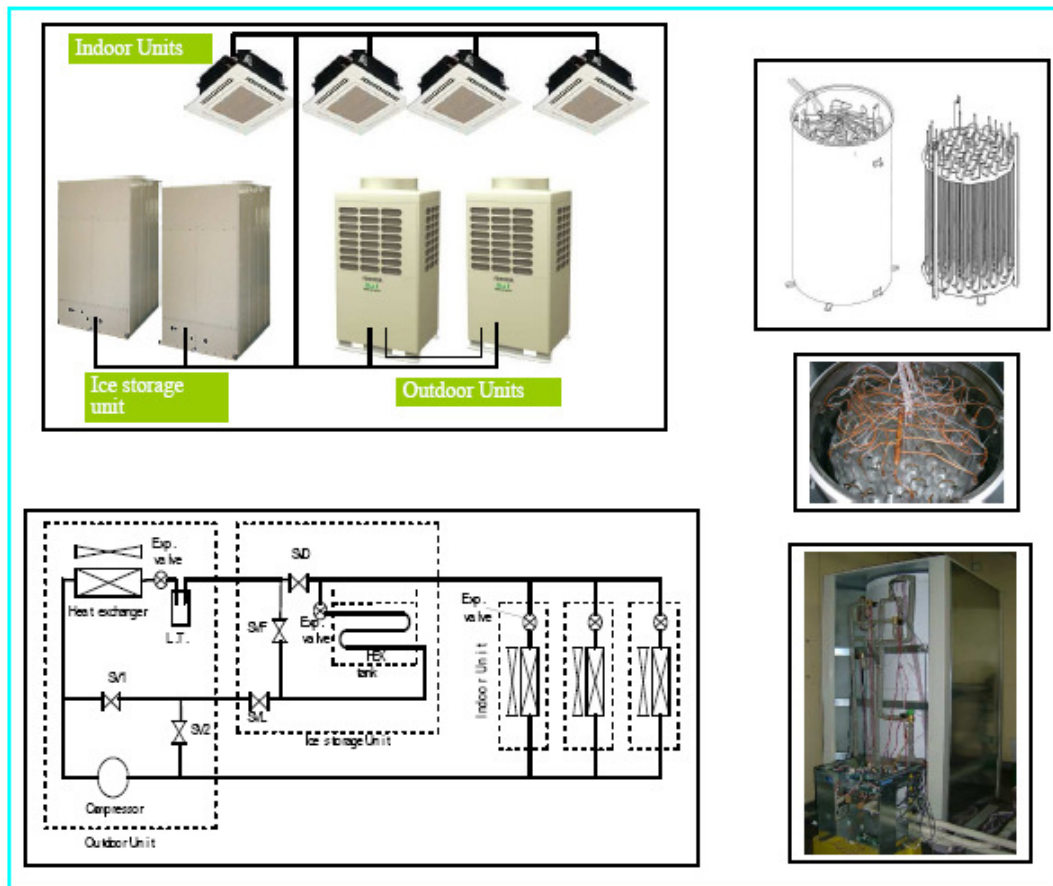
Lorsque des besoins d'eau chaude sont à couvrir en même temps que la production d'eau froide, les installations centralisées à eau offrent la possibilité relativement facile d'utiliser la chaleur de refroidissement des condenseurs. Avec 1 kWh électrique consommé par le compresseur, on peut en effet recueillir de l'ordre de 2 à 3 kWh d'eau chaude à 45 °C, sans gros investissement supplémentaire. Cette réutilisation énergétiquement gratuite est particulièrement intéressante en hôtellerie et locaux de soins où cette demande est importante : eau chaude sanitaire, ou eau de bassins et piscines.

.III.3.4. Stockage de froid

Les systèmes de climatisation à eau froide produite par centrale permettent, à l'heure actuelle, l'intégration d'un stockage froid. Il permet d'effacer les pointes de charge quotidiennes, caractérisées par une utilisation courte de puissances maximales. Ceci peut conduire à une puissance du groupe frigorifique réduite et à profiter d'un tarif local de l'électricité généralement incitatif.

La technique de stockage de glace est la plus utilisée parce que moins volumineuse. Cinq modes de stockage de glace, sont commercialisés :

- 1) La glace se forme à l'extérieur de tubes, en métal ou en polypropylène, plongés dans l'eau d'un bassin, grâce à la circulation du réfrigérant à température négative à l'intérieur des tubes. Ordre de grandeur de la capacité de stockage : de 35 à 50 kWh / m³.
- 2) La glace se forme à l'intérieur de tubes, dans lesquels est laissé un petit volume d'air pour l'expansion. Le liquide réfrigérant (eau glycolée) circule en flux croisé à l'extérieur des tubes.
- 3) Le stockage est réalisé au sein de nodules à changement de phase. Ordre de grandeur de la capacité de stockage : de 40 à 50 kWh / m³.
- 4) Le système à coulis de glace ou « sorbet » utilise une solution aqueuse contenant des cristaux de glace en suspension. L'énergie théorique est de 30 à 60 kWh/m³, en fonction du taux de glace dans l'eau (10% à 40%). Ce système est souple du fait qu'il n'est pas nécessaire de stocker la glace à proximité du générateur.
- 5) Le mini stockage de froid né au Japon, au début des années 2000 grâce au partenariat entre les industriels et les producteurs d'électricité, pour faire face à l'évolution croissante de la demande d'électricité liée à la climatisation. Les différents acteurs sont les suivants : 9 compagnies d'électricité régionales (sur 10 existantes) et 4 fabricants de systèmes à air conditionné : DAIKIN INDUSTRIES, HITACHI, MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES et SANYO ELECTRIC.



Méthodes pour le dimensionnement des stockages

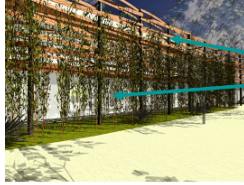
Il existe plusieurs méthodes, proposées par des associations (programme "Ice Club" de la HPTCJ, manuels de la HPTCJ, manuels de la JRAIA, etc.) et les fabricants pour dimensionner un système de stockage de froid sur glace.

.III.4. Exemple commenté : IUFM de Cayenne

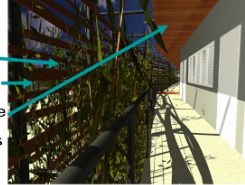
Confort hygrothermique 1 : les principes

La climatisation artificiellement est limitée aux salles informatiques, musiques, local serveur et quelques locaux de la zone de restauration. Des conditions de confort acceptables sont atteints à l'intérieur d'un bâtiment par une conception bioclimatique des bâtiments poussée :

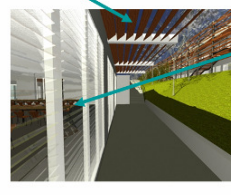
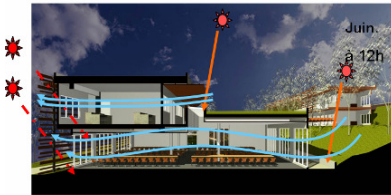
1 Protection solaire



Protection par
Fascines verticales
Complément Végétal
Circulation horizontale
Fascines horizontales

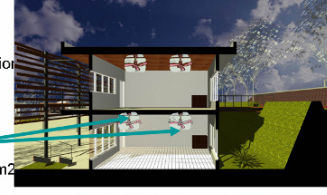


2 Ventilation naturelle traversante

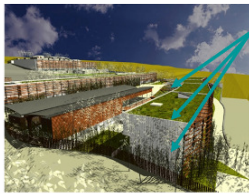


Porosité > 27%
Jalousies pour régler la ventilation
Brasseurs d'air performant
Calpinage 1 brasseur / 25 m²

3 Vitesse d'air de 1 m/s



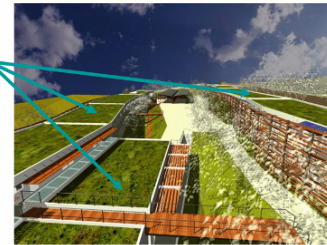
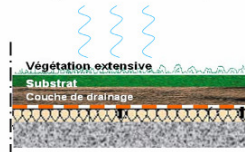
4 Inertie thermique



Plancher haut intermédiaire, bas en béton
Murs séparatifs et voile porteur

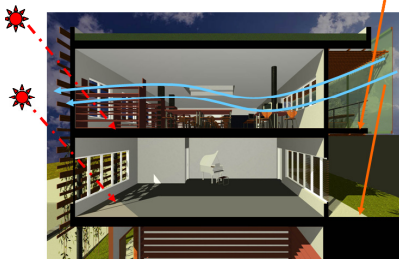
5 Forte Végétalisation

Toiture végétale : inertie + évaporation



Confort hygrothermique 2 : Résultats

Déc.
à 12h



Juin.
à 12h

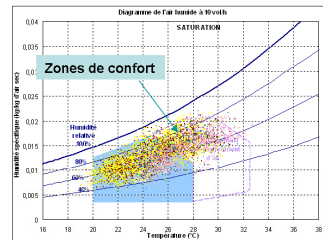
L'adoption d'une ventilation naturelle majoritaire sur l'ensemble de l'établissement est confortée par les simulations thermiques effectuées sur une dizaine de locaux.

Pour les salles d'enseignement, le choix d'une inertie forte et d'une forte porosité offrent des conditions de confort acceptables à l'exception de quelques heures dans l'année. Idem pour les salles de sport. La seule zone un peu moins bien lotie est l'étage de l'administration, du fait d'une inertie thermique plus faible (murs et toiture en matériaux légers).

Dans la réalité, les résultats devraient être légèrement meilleurs compte tenu du fait que les modèles de simulation ne prennent pas en compte :

- l'abaissement de température des toitures végétalisées dues à l'évaporation
- le rafraîchissement apporté par les protections solaires végétales (bambous).

Salle de classe

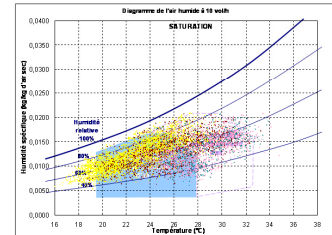


Entre 19h et 8h Entre 8h et 12h Entre 12h et 14h Entre 14h et 18h

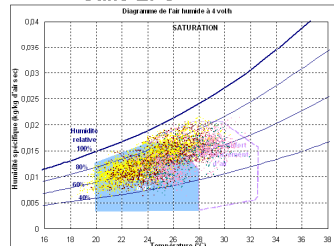
Les résultats obtenus sont satisfaisants. Le nombre d'heures où les conditions de confort sortent de la zone de confort acceptable est faible (une quarantaine d'heure), et encore lorsque cela se produit les dépassements sont limités (0,5 à 1°C).

Bureaux

Le nombre de point sortant de la zone de confort acceptable est relativement réduit (une centaine d'heures), mais plus élevé que les salles de classes. Il s'explique par une inertie moins importante que pour les salles d'enseignement. En saison fraîche, les points sortants de la zone de confort, ne concerne que des périodes situées la nuit, hors occupation.



Salle EPS



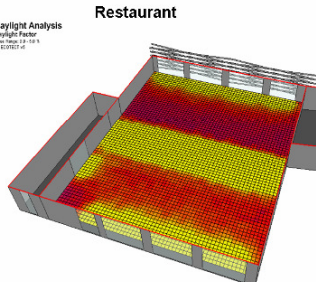
La quasi intégralité des points reste confinée dans la zone de confort. Cela est due outre à la ventilation naturelle et la protection solaire, mais également à la faible concentration d'apports internes en regard au volume de la salle.

Confort Visuel, lumière naturelle

Le confort visuel du collège présente trois caractéristiques :

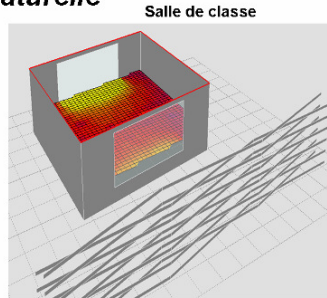
- La disponibilité abondante de la lumière du jour, caractérisé par le **facteur lumière jour** (% de lumière naturelle arrivant sur le plan de travail) et l'**autonomie** importante (% d'heures assuré sans éclairage artificiel).
- La **qualité des vues**. Les classes disposent ici de vues agréables, profondes et apaisantes,
- Une maîtrise des risque d'**éblouissement**, notamment pour l'administration, grâce à un travail architecturaux des protections solaires

Daylight Analysis
Daylight Factor
11/01/2017 12



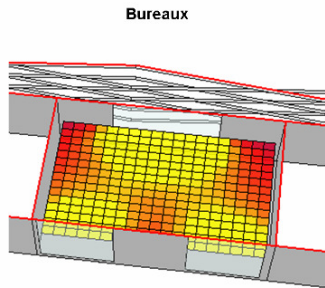
Facture lumière jour : 5,41 %
Autonomie : 100 %
Uniformité : excellente

Facture lumière jour : 5,85 %
Autonomie : 88 %
Uniformité : bonne



Salle de classe

Facture lumière jour : 2,94 %
Autonomie : 94,69 %
Uniformité : excellente



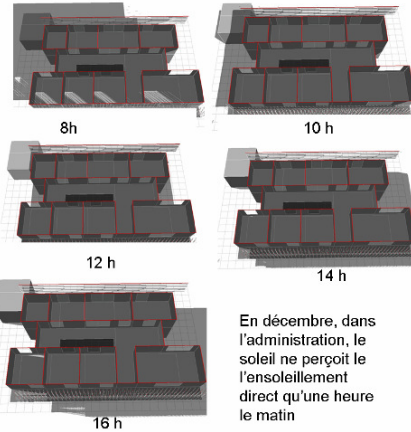
Bureaux

Classes: Le niveau de lumière naturelle est important dans les classes grâce à un bon taux de percement. La double exposition garantit un bon niveau de lumière pour l'ensemble des élèves (bonne uniformité). Les protections solaires par les avancées architecturales et fascines limite l'éblouissement.

Les bureaux bénéficient d'un excellent niveau de lumière naturelle dans la première moitié. La seconde exposition contribue à limiter le contraste, tout en permet tant de différencier les niveaux de lumière entre les usages : plan de travail, rangement, écran d'ordinateur...

Les résultats obtenus en autonomie en lumière naturelle sont très élevés.

Bâtiment administratif : Contrôle de la tâche solaire au 1 étage



En décembre, dans l'administration, le soleil ne perçoit le l'ensoleillement direct qu'une heure le matin

Isolation et Correction Acoustiques

Le CDI (ref. 4.011)

Dispose d'un volume de 570 m³.
Temps de réverbération souhaité :
0.8 sec. < Tr_{60} < 1.2 sec.

La solution proposée: faux plafond en plâtre perforé, doublé de laine minérale.

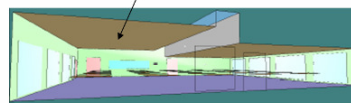
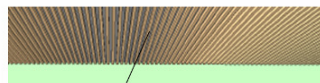
Tr_{moyen} obtenu : 0.92 Secondes



Le Réfectoire, (ref. 10.01)

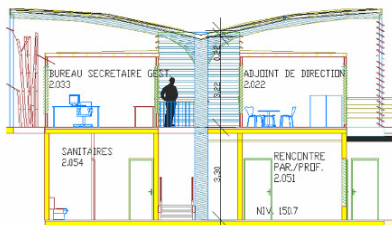
Dispose d'un volume de 1146 m³.
Deux façades principales largement vitrées.
Temps de réverbération souhaité :
0.6 sec. < Tr_{60} < 1.2 sec.

La solution proposée :
Principe de lattis en bois recouvert de laine Minérale
Revêtement murale (laine min.+ tôle perforée)



Salle de musique, (réf. 5.021) :

Faux plafond en plâtre perforé, ainsi qu'une partie des murs.



Administration niveau 150.7

Les refends entre bureaux seront des cloisons sèches de type (2 parements BA18 + LM 60 mm, Ra de 48 dB, ép. 98 mm).
Pour les cloisons séparatives de circulation, cloisons sèches (2 parements BA13 + LM 60 mm, Ra de 45 dB).
Les portes de ces bureaux disposeront d'un Ra de 35 dB.
Correction acoustique : Laine minérale ép. 25 mm en plafond.

Enseignement

Pour les locaux d'enseignement, les parois de refends seront des cloisons sèches de type BA18 + laine minérale ép. 60 mm + BA18, épaisseur de 98mm, Ra de 45 dB.
Il en sera de même pour les portes placées entre salles.

Administration niveau 154

Les parois latérales des bureaux montent jusqu'à la sous face du panneau de toiture de façon à bien séparer chaque bureau.
Un deuxième placoplâtre vient se placer dans chaque bureau en sous face, avec un plénum de 10 cm.

Les parements intérieurs seront constitués de triply ép. 26 mm minimum, contreplaqué intérieur ép. 26 mm. minimum, laine minérale intérieure 60 mm, pour une épaisseur totale de 114 mm afin de respecter un R_a de 51 dB. Les portes seront en bois massif, R_a de 35 dB.

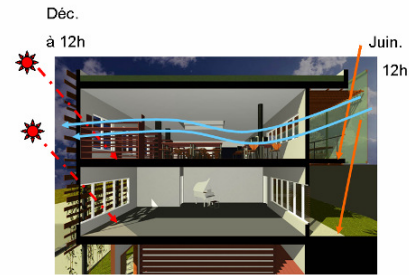
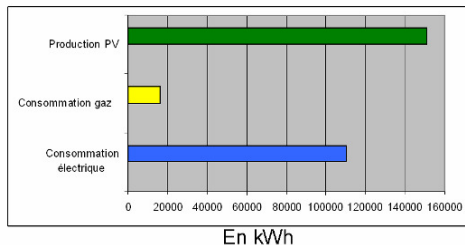
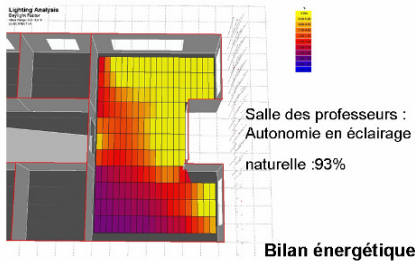
Un parement en bois perforé+laine minérale (20% de perforation, Diamètre 8 mm, ép. 8 mm) est prévu en plafond pour la correction acoustique.

Gestion de l'énergie

Bioclimatique (voir également confort hygrométrique)

Les choix adoptés en éco-gestion reposent avant tout sur une bioclimatique des bâtiments poussée.

- Les salles d'enseignement et EPS sont naturellement climatisées (voir fiche confort thermique). Les brasseurs d'air –indispensable compte tenu du faible potentiel venteux- sont choisis pour leur efficacité et reliés à une **détection de présence**.
- La climatisation artificiellement est limitée aux salles informatiques, salles de musique et quelques locaux de la zone de restauration. L'orientation des façades à dominante N/S est optimale pour des locaux climatisés. Les protections solaires efficaces sont étudiées pour éliminer l'ensoleillement direct à l'heure d'ouverture des bureaux administratifs (débord, brise soleil et végétaux). Les bâtiments sont bien isolés en toiture (8 cm), et bénéficient d'inertie thermique moyenne (limiter la charge maxi de la climatisation). La compacité du bâtiment administratif réduit les apports de chaleur et les infiltrations.



Eclairage performant

Les locaux bénéficient d'une quasi **autonomie** en éclairage naturel : salles de classes, cantine, EPS. Les circulations sont toutes éclairées naturellement. L'appoint est assuré par un éclairage artificiel (fluorescent, ballast électronique), conforme au label Promotelec.

Cuisine au gaz

Le choix d'une cuisine au gaz, permet un effacement de puissance de plus de 100kW et éviter une émission de 7 t de CO₂.

Gestion intelligente

La GTB est conçue pour une gestion efficace des flux (énergie, eau, air) et des opérations de maintenance. Des détecteurs de présence arrêtent automatiquement le fonctionnement de l'éclairage et des brasseurs d'air.

Climatisation efficace

Les installations de climatisation seront conformes aux Perenne et Climadom (dimensionnement, choix, efficacité frigorifique, niveau acoustique...). Les locaux excentrés du restaurant sont climatisés par des splits système de classe A.

Les consommations électriques sont réduites par :
une climatisation efficace pour les locaux climatisés (EER >3.2).

Energies renouvelables

La valorisation de l'énergie solaire captée en toiture est proposée dans le cadre d'un projet de défiscalisation photovoltaïque raccordé réseau en location vente (voir fiche ENR).

Bilan positif

L'ensemble de ces dispositifs permet d'afficher un bilan énergétique positif pour le collège grâce à une production photovoltaïque excédentaire.

Energies renouvelables

Un bâtiment positif. En effet, l'objectif de l'établissement est de produire plus d'énergie qu'il n'en consomme sur un année moyenne. Ce résultat est obtenu par la maîtrise de l'énergie (MDE) sur l'ensemble des équipements, la production de l'eau sanitaire par des installations solaires thermiques et une compensation de l'ensemble de la consommation énergétique par une installation solaire photovoltaïque posée sur la toiture de la salle EPS.

Energie photovoltaïque

La mise en place des capteurs solaires photovoltaïques (cristallin ou poly cristallin) concerne la salle de sport et le local vélo

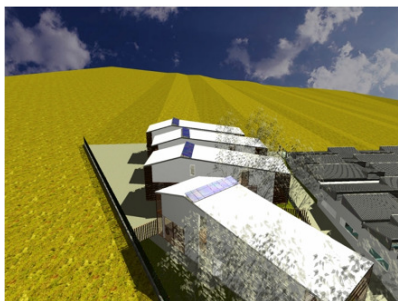
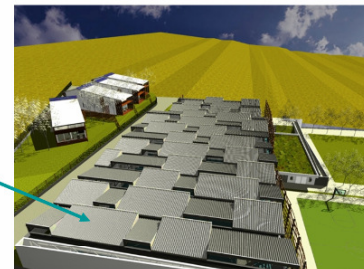
Surface toiture du plateau polyvalent : 1440 m² Capteurs : 800 m² (taux de remplissage : 55%)
Surface ombrière vélo : 50 m² Capteurs : 30 m² (taux de remplissage : 60%)

Puissance installée : 114 kWc
Energie produite estimée : 151 000 kWh/an
Investissement : 792 k€ HT
Gain exploitation annuel : 83 050 € /an (vente à 0,55 c€/kWh)
Temps de retour de 10 ans environ.

L'intérêt est double :

Production d'énergie à partir d'une ressource locale limitant les gaz à effet de serre,
Intérêt pédagogique pour les élèves en prévoyant un panneau d'affichage de la production instantanée et cumulée.

Shed d'implantation
des panneaux
(toiture gris clair)



Eau chaude solaire : logements, cuisine et vestiaires

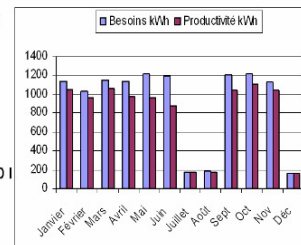
Cuisine

Besoins prévisionnels eau chaude sanitaire : 1050 l/jour
Surfaces capteurs : 26 m²
Investissement : 27 k€ HT
Apports solaires annuels : 9 621 kWh
Taux de couverture : 91%

Logements

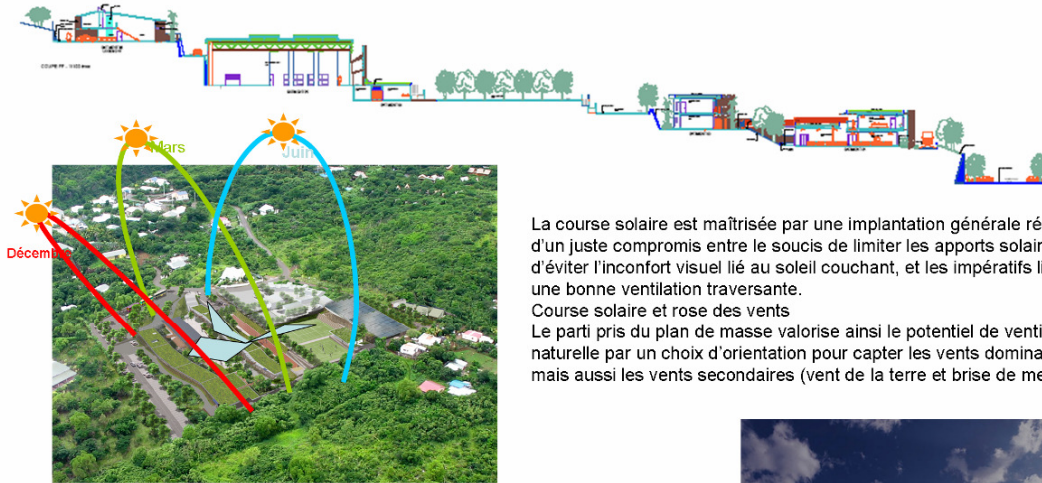
Besoins prévisionnels eau chaude sanitaire : 200 l/jour
Système thermosiphon de surfaces capteurs : 2 m² /400 l
Investissement : 3 k€ HT
Apports solaires annuels : 2099 kWh

Taux de couverture : 93%



Implantation sur le site

Une caractéristique fondamentale du projet est le **respect du relief** et de l'élément végétal. L'implantation du plan masse apporte ainsi un minimum de contrariété à la nature et limite les apports ou export de matière site.

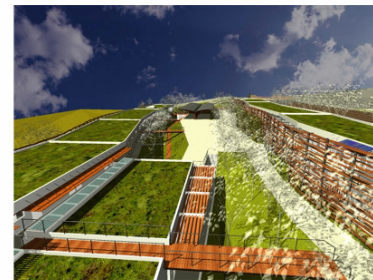


La course solaire est maîtrisée par une implantation générale résultat d'un juste compromis entre le souci de limiter les apports solaires, d'éviter l'inconfort visuel lié au soleil couchant, et les impératifs liés à une bonne ventilation traversante.

Course solaire et rose des vents

Le parti pris du plan de masse valorise ainsi le potentiel de ventilation naturelle par un choix d'orientation pour capter les vents dominants, mais aussi les vents secondaires (vent de la terre et brise de mer).

Le végétal composante essentiel du confort des personnes est travaillé partout où l'opportunité se présente : d'abord en limitant les surfaces imperméabilisées et par l'implantation de terrasse végétalisées sur les barres d'enseignement. Une zone humide aménagée, contribuera à préserver la biodiversité du site. Les espèces endémiques locales, ou rares comme le Mahot Tantan seront replantées sur le site.



Gestion des déchets

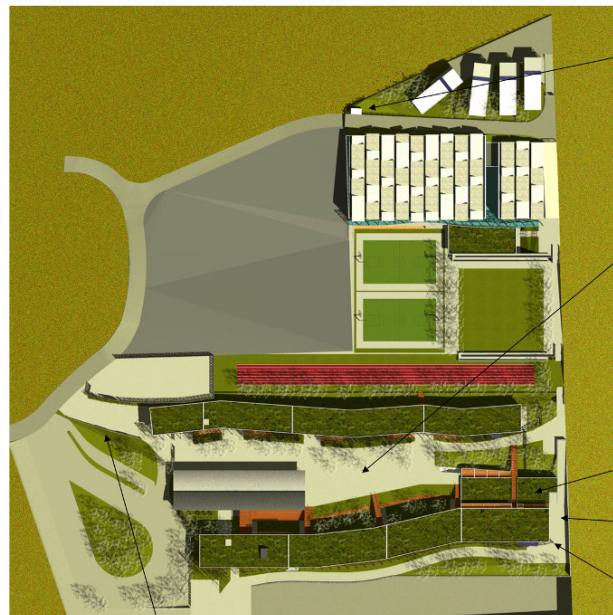
La gestion des déchets d'activité consiste à maîtriser leur production et à organiser leur évacuation. Dans le collège, cette gestion se veut à la fois éducative et efficace.

La priorité est donnée au tri sélectif des déchets.

La communauté de communes procède à la mise en œuvre du Plan Départemental d'Élimination des Déchets Ménagers (PDEDM).

Les méthodes de collecte retenues sont :

- des points d'apport volontaire accessibles depuis l'intérieur comme l'extérieur,
- un circuit de collecte et tri en interne du bâtiment,
- 4 bacs démonstratifs dans la cour reprenant les déchets suivants :
Recyclables secs,
Papiers et journaux,
Fermentescibles,
Ordures résiduelles.
- le tri des déchets de leur plateau repas par les enfants dans la restauration,
- une signalétique claire,
- un unité de compostage des déchets vers à proximité de la cuisine



Un point d'apport volontaire au niveau des logements, en bord de voirie.

Les bacs de couleurs distinctes pour la sensibilisation des élèves dans la cour principale.



Le tri des plateaux repas par les élèves, à la sortie de la restauration.

Unité de compostage des déchets verts avec broyeur

Emplacement des bennes avant le départ pour le recyclage.

Un point d'apport volontaire au niveau de la goutte d'eau du parking.

PARTIE 5 : METHODES DEVELOPPEES

.I. Démarches énergétiques et environnementales françaises

.I.1. Démarche de maîtrise énergétique

.I.1.1. Le label ECODOM développé pour le contexte des DOM

- **La démarche d'expérimentation ECODOM**

Le label ECODOM est une démarche lancée à l'initiative des membres du Programme Régional de Maîtrise de l'Energie (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, EDF Martinique, Région d'Outre-Mer) en partenariat avec l'association Promotelec. L'objectif principal est d'améliorer le confort thermique et les performances énergétiques dans les logements neufs, individuels et collectifs.



Ce label s'appuie sur un partenariat entre deux groupes de travail Réunion et Guadeloupe, un groupe de pilotage Métropole, l'Université de la Réunion, une équipe de conception ainsi que l'intervention de consultants extérieurs. A la suite d'expériences préalables en Martinique, puis à la Réunion et la Guadeloupe et enfin en Guyane, le projet a été finalisé au cours de l'année 1996 et lancé au troisième trimestre de cette même année aux Antilles et à la Réunion et en 1997 au département de la Guyane.

L'« Opération Expérimentale ECODOM » vise également la réduction globale des dépenses pour les usagers, EDF et la collectivité. Outre les impacts positifs environnementaux et sociaux (liés au confort), cette opération permet de réduire les importations énergétiques et matérielles (impacts macroéconomiques) et participe au développement local par la création d'emplois liés à l'action de maîtrise des énergies et l'amélioration des filières locales.

Cette expérimentation ECODOM sert également de prélude au projet d'adaptation de la Réglementation Thermique métropolitaine au contexte des quatre DOM. Le label est un outil de diffusion des procédés énergétiquement économes qui s'accompagne d'une méthode incitative. Afin d'encourager l'adoption de ces procédés et de rester dans des coûts acceptables, l'ADEME participe au surcoût engendré par le versement de prime pour tout logement labellisé ECODOM (plafonnée à hauteur de 30%).

- **Le cahier des charges ECODOM**

La démarche propose un cahier des charges réunissant les critères d'attribution du label ECODOM sous forme de document de référence rassemblant les prescriptions techniques. Pour en faciliter l'utilisation, ces prescriptions sont directement applicables et ne nécessitent aucun calcul thermique. Elles doivent être prise en compte le plus en amont possible dans la conception d'un projet de logement (en amont du permis de construire) afin d'obtenir l'attestation ECODOM.

Le caractère généralisable de ces prescriptions fait cependant l'objet d'adaptation selon les caractéristiques climatiques locales ainsi qu'au procédés constructifs et matériaux courants. Ainsi deux guides servent de document de référence : le premier pour les territoires des Antilles et des Bas de la Réunion (zones d'altitude inférieures à 400m), le second pour le département de la Guyane pour lequel l'opération a été étendue en 1997.

Les prescriptions sont organisées selon cinq thématiques. Elles portent principalement sur la conception thermique des logements qui consiste à assurer une bonne protection solaire et une ventilation naturelle efficace. Les solutions techniques concernent également l'environnement du logement (implantation), l'option climatisation lorsqu'elle participe au confort thermique et le niveau de performance minimal d'un système de production d'ECS. Ces trois thématiques participent à la performance thermique des logements.

Les prescriptions qui auraient été trop contraignantes et/ou discriminatoires ont été écartées du caractère obligatoire mais restent énoncées sous formes de recommandations.

- **Les critères d'attribution du label ECODOM**

Le tableau suivant reprend pour chacune des cinq thématiques, les prescriptions principales définies comme critères d'attribution du label ECODOM. Les recommandations non obligatoires sont en italique.

		Antilles et Réunion	Guyane	
IMPLANTATION SUR LE SITE	Environnement proche	Protection du sol fini de l'ensoleillement sur ¾ de la périphérie et sur une bande de 3m (ex : végétalisation du sol et écran végétal)		
	Recommandations	Orientation	Orientation des façades principales favorable à la pénétration des brises ou vents dominants	(caractère obligatoire pour la Guyane)
		Urbanisme	Implantation à distance d'obstacles à une bonne ventilation (12 ou 4 fois la hauteur de l'obstacle dans le sens du vent ou perpendiculairement)	
		Topographie	Implantation dans des zones à bonne potentialité de ventilation naturelle (« au vent » au voisinage du sommet d'une colline, entre deux obstacles)	
		Microclimat	Tenir compte des caractéristiques microclimatiques (vents, obstacle à l'ensoleillement)	
		Végétalisation	Végétalisation étendue au-delà des 3 m sans constituer un obstacle à l'écoulement du vent	
		Volumétrie	--	Hauteur sous plafonds supérieure à 2.80m
PROTECTION SOLAIRE	Toitures	Simple isolées	Epaisseur minimale d'isolation selon la couleur d'étanchéité et le type d'isolant	
		Combles ventilés	Pas d'isolation nécessaire (ou faible si couleur moyenne ou sombre)	
	Murs	Pare-soleil horizontaux	Définition du rapport minimal « Débord / Hauteur » selon le type de paroi et la leur teinte	
		Pare-soleil verticaux	Pare-soleil décollé de la façade d'au moins 20cm et ouvert aux extrémités.	
		Isolation thermique	Définition des épaisseurs minimales d'isolant pour les murs dépourvus de pare-soleil	
		Complément	Traitement végétal des murs, choix de composants à faible inertie et prise en compte de l'orientation des pièces selon leur occupation	
	Baies et fenêtre	Description de dispositifs de protection (lames mobiles extérieures, store extérieur, persienne projetables ou à volets battants, écran, auvent ou casquette)		
		--	Protections horizontales ajourées pour assurer la circulation de l'air	
VENTILATION NATURELLE	Implantation et dimensionnement des ouvrants extérieurs	Etage du logement complètement traversant ET porosité moyenne totale de chacune des deux façades principales opposées supérieure ou égale à ...		
		... 25%	... 35%	
		Logement avec un séjour traversant, position en façade des pièces de service, porosité augmentée dans les sites faiblement ventés, ouvertures sur toutes les façades (dont la toiture) et constructions sur vide sanitaire ventilé à privilégier		
	Agencement intérieur	Les portes intérieures et autres ouvertures permettent l'écoulement d'air entre les façades. La surface ouvrante des cloisonnements doit être supérieur à la plus petite surface d'ouvrant des façades principales. Ces ouvertures doivent pouvoir être maintenues ouvertes		
		L'organisation du plan recherche un nombre minimum de parois interne. La répartition des ouvrants participe à une bonne ventilation. Les autres fonctions des parois internes doivent être aussi prises en compte (acoustique, éclairage, ...)		
	Brasseur d'air	Attentes avec interrupteurs muraux dans chaque pièce principale à raison d'une attente par tranche de surfaces de 15m². Positionnement pour un brassage homogène de l'air		
Brasseur d'air à pales métalliques de diamètres supérieurs à 1,20m. Installation à 30 cm du plafond. Commande d'alimentation avec variateurs de vitesse.				
OPTION « CHAMBRES CLIMATISÉES »	Type monobloc ou « split système » avec coefficient d'efficacité global minimal de 2,5 ou 3 et puissance frigorifiques maximal de 80 W/m²		Type « split système » avec coefficient d'efficacité global minimal de 3 et puissance frigorifiques maximal de 100 W/m²	
	Contrat de maintenance > à 2ans et installation conforme au règle de l'art : unité extérieure dans un endroit ventilé, liaisons frigorifiques inférieures à 10m et résistance thermique du calorifuge > 4m²K/W.			
	Ouvertures extérieures perméables à l'air et intérieures obturables. Renouvellement d'air de 25m³/h.			
	Climatiseur avec coefficient d'efficacité élevé et équipé de thermostats électroniques Installation intérieure en hauteur et protection solaire des parties extérieures.			
	--	Dispositifs d'asservissement à la fermeture des ouvrants extérieurs et d'aide à la fermeture des portes intérieures.		
EAU CHAUDE SANITAIRE	Prescriptions réglementaires selon le type d'équipement : solaire, électrique individuel, gaz ou à récupération. Objectif de systèmes efficaces, économes et durables			

- **La démarche ECOCAL en Nouvelle Calédonie**

Le Territoire de Nouvelle Calédonie est constitué d'une île principalement montagneuse, d'environ 50km de large et 450 de long, et de plusieurs autres îles, dont les îles Loyauté, les îles Belep et l'île des Pins. Ce territoire situé en regard de l'Australie, présente de nombreux sites isolés et un ensoleillement important tout au long de l'année, ce qui en fait un terrain propice à l'utilisation des Énergies Renouvelables.



Le gouvernement de Calédonie a récemment engagé une politique de Maîtrise de Demande d'Energie (MDE). Ce souci de fournir une alternative à la climatisation et un meilleur confort thermique s'est traduit dans la démarche d'opération expérimentale. En termes de méthodologie, le gouvernement a choisi d'opter pour un appel à projets (6 collectifs et 40 individuels) afin de travailler sur un panel d'opération "qualifiables", et qui vont servir de premier test de faisabilité.

Le cadre et les objectifs étant les mêmes que le label ECODOM, le principe de solutions techniques claires et souvent directement applicables est maintenu. Ainsi définies, elles permettent également l'attribution du label « *ECOCAL, opération de qualification de la qualité thermique et des performances énergétiques dans les logements neufs* ».

Cependant, les niveaux de prescriptions sont différents, dans certains cas, pour s'adapter au contexte et aux attentes spécifique pour la Nouvelle Calédonie. Ainsi la différence tient dans une sévérité plus grande vis-à-vis des apports à l'ouest, qui obligent à sur dimensionner les protections horizontales ou opter pour de la protection verticale. Un second point important est l'obligation d'installer un chauffe-eau solaire. Au contraire, les attentes pour brasseurs d'air, inévitables dans les DOM, sont facultatives pour la Nouvelle Calédonie.

.I.1.2. Démarche PERENE (PERformance ENergétique) adaptée au contexte de la Réunion

• Les caractéristiques climatiques spécifiques de la Réunion

L'île de La Réunion, située dans l'Océan Indien, est marquée par un relief montagneux escarpé couvrant l'ensemble du territoire. Ce relief est dominé par le Piton des Neiges à 3.096m et le Piton de la Fournaise à 2.630m au Sud. Il est également creusé par 3 cirques de grandes superficies. L'importance du relief crée une stratification des températures avec l'altitude (diminution de 0,5° tous les 100m).



Le régime des alizés caractérise le climat des quatre DOM. Les côtes de l'île de la Réunion présente cependant des situations différentes. Le littoral Ouest faisant face à Madagascar est faiblement venté ($\leq 2\text{m/s}$ plus de 50% du temps) alors que le littoral Est, face à l'Océan Indien, est fortement venté ($\geq 2\text{m/s}$ plus de 50% du temps).

Du fait de son relief accidenté et des variations du régime des vents, l'île de la Réunion présente de nombreux microclimats.

La localisation de la Réunion dans l'hémisphère Sud modifie également la prise en compte de l'ensoleillement sur les façades : les parois au Nord sont alors plus ensoleillées que celles orientées au Sud.

• La démarche PERENE pour le logement et le tertiaire

Conjointement au projet de décret national de RTA DOM, la Direction Départementale de l'Équipement Réunion (DDE) a mené des études sur l'évolution des règles de conception thermique et énergétique du bâtiment dans l'île de la Réunion.

Les études s'appuient sur une synthèse des données climatiques de la Réunion, une analyse des diagnostics énergétiques par secteurs d'activité (recensements), le retour d'expérience du l'outil ECODOM et les rapports d'expertises menées dans la zone des Hauts.

Cette démarche propose également des améliorations du projet de décret appliqué au secteur résidentiel neuf par :

- la réalisation d'un zonage climatique précis de l'île,
- l'élargissement du champ d'application aux bâtiments tertiaires (bureaux, enseignement, hospitalier, hôtellerie, commerces),
- la définition de règles pour les systèmes énergétiques selon la zone et le type de bâtiment.

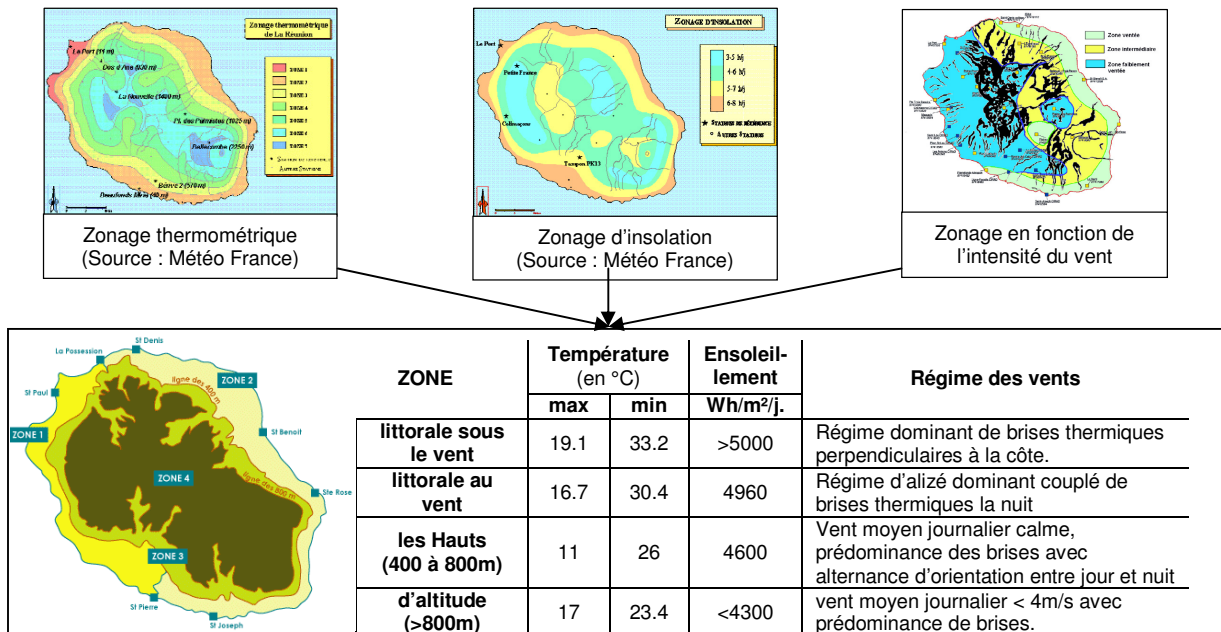
Le rapport final de l'étude a été rédigé en août 2004 par un groupe de travail, piloté par SICLE AB et constitué du BET INSET et de l'Université de La Réunion sous le titre « Outil bâtiment PERENE Réunion ». Ce rapport est la source principale du présent chapitre.

Le projet de RT DOM prévoit des dispositions réglementaire pour les quatre départements mais porte cependant un regard spécifique sur les caractéristiques climatiques de la Réunion. Ainsi il différencie la zone des Bas (altitude <400m) qui s'approche du climat des autres DOM et la zone des Hauts (altitude >400m) qui s'apparente d'avantage au Sud de la France.

• L'outil PERENE

La démarche propose la réalisation d'un guide de « bonnes pratiques » sous la forme d'un outil opérationnel pour accompagner les constructeurs vers l'optimisation de la conception thermique et énergétique des constructions.

Cet outil s'appuie sur les caractéristiques climatiques de la Réunion synthétisées à partir des variables de températures, d'insolation et de vent ainsi que les lignes d'altitude. La synthèse suivante définit les quatre zones avec leurs caractéristiques : variation des températures moyennes, cumul d'ensoleillement journalier moyen (en $\text{Wh/m}^2/\text{jour}$) et caractéristiques des vents.



L'objectif de ce zonage est de permettre une meilleure adaptation de la conception thermique des bâtiments tertiaires et résidentiels vis-à-vis des conditions météorologiques.

Le traitement des bases de données Météo France a permis, ensuite, de déterminer quatre journées types représentatives pour chacune des zones. Ces séquences types ont pour objectif principal de servir de condition de base pour le dimensionnement des installations de climatisation et de chauffage.

Les recensements réalisés dans le cadre de diagnostics énergétiques ont permis de définir des ordres de grandeurs de la consommation d'énergie globale dans le secteur tertiaire. Les indicateurs proposés sont le ratio énergétique global (R_g) et le ratio énergétique de référence (R_{ref}) exprimés en kWh_e/an/SU (kWh électrique annuel par m² de Surface Utile). Les objectifs de performance des systèmes énergétiques se réfèrent à ces ratios.

L'« Outil Bâtiment PERENE » se présente sous forme de fiches qui énoncent les prescriptions et/ou les recommandations en terme de conception thermique d'une part et les exigences pour les systèmes énergétiques d'autre part. Ces fiches sont déclinées pour chaque zone et pour chaque type de bâtiment. En raison du manque de retour d'expérience des consommations des bâtiments tertiaires dans les DOM, les objectifs de performances des systèmes énergétiques sont fixés en terme de « moyens » et présentés sous formes de fiches solutions.

Les prescriptions sont plus qualitatives que quantitative. Elles n'ont pas de caractère obligatoire et ne peuvent donc être appliquées qu'à la seule initiative du maître d'ouvrage. Les valeurs quantitatives sont données à titre indicatif et nécessite une vérification par des simulations dynamiques.

- **Les améliorations apportées au projet de RT DOM (document de travail, CSTB 2003)**

Le tableau suivant reprend les prescriptions adaptées et/ou complémentaires de l'outil PERENE. Les exigences de conception thermique concernent l'enveloppe des bâtiments et le traitement de l'air. Elles sont adaptées à chaque zone climatique et étendues aux bâtiments tertiaires. Les niveaux d'exigences qualitatives minimales des équipements techniques sont décomposés par typologie d'usage et repartis par typologie de bâtiments (logements, bureaux, enseignement, hospitalier, hôtels, commerces).

		LOGEMENT	TERTIAIRE
CONCEPTION THERMIQUE	Implantation sur le site	Z1, Z2 et Z3 : Prise en compte de l'environnement des bâtiments (prescription d'implantation sur le site de ECODOM)	
	Caractéristiques thermiques de l'enveloppe	Toiture	Renforcement des exigences au niveau de la protection solaire. Z1, Z2 et Z3 : Facteur solaire référence $S_{ref} = 0,02$. Z4 : Résistance thermique et coefficient de déperdition de référence $R_{ref} = 1.82$ et $U_{ref} = 0.5$
		Murs	Z4 : Renforcement de l'isolation $R_{ref} = 1.8$ et $U_{ref} = 0.5$
		Baies	Définition de S_{ref} été et hiver selon la zone. Le S_{ref} été est décliné selon l'orientation. (Dans le projet RT DOM : $S_{ref} = 0,58$ pour logement non climatisé à une altitude inférieure à 800m, pour les autres logements $S_{ref} = 0,25$) Z3 et Z4 : entrées d'air de menuiseries autoréglables pour permettre le renouvellement d'air Z4 : renforcement de l'isolation des vitrages et doubles vitrages obligatoires
	Traitement de l'air	Ventilation naturelle	Définition d'une surface d'ouverture libre de référence selon la zone climatique (RT DOM : $SOL_{ref} = 20\%$) Z1 : $SOL_{ref} = 20\%$, Z2 : $SOL_{ref} = 15\%$, Z3 : $SOL_{ref} = 10\%$
		Brasseurs d'air	Z1 et Z2 : Attente dans les pièces traversantes et installation obligatoire dans les pièces non traversantes
			Z1 et Z2 : Installation obligatoire dans toutes les pièces
			Z3 : Attente dans les pièces traversantes et installation obligatoire dans les pièces non traversantes Z4 : Aucune obligation
		Air hygiénique	Z3 et Z4 : VMC obligatoire avec dispositif d'arrêt
		Condensation	Renouvellement d'air neuf obligatoire dès lors que la climatisation ou le chauffage sont prévus
	Eclairage naturel		Problème récurrent à la Réunion qui se produit essentiellement en hiver au-delà de 500m (en toiture et à l'intérieur du bâtiment) Isolation, VMC et double vitrage avec entrées d'air autoréglables sont des solutions techniques à prévoir
SYSTEMES ÉNERGETIQUES	Eclairage		Privilégier éclairage naturel en évitant rayonnement direct. Favoriser second jour pour les circulations. Les puits de lumières doivent être placés sur un plan vertical et orientés au Nord et/ou au Sud avec protections solaires.
	ECS		En complément de l'éclairage naturel : lampes basse consommation et « fluos » (+ à sodium à haute pression pour tertiaire)
	Chauffage et climatisation		Solaire fortement conseillé avec appoint électrique ou hydro-accumulation asservie en heures creuses Niveau d'exigences minimales de RT 2000 pour les équipements d'ECS d'appoint
	Autres usages		Thermostat obligatoire avec indicateur de t° pour le chauffage Z4 : Application de RT 2000 (concerne également le petit tertiaire)
	Autres usages		Installation de GTB (Gestion Technique du Bâtiment) Z3 : éviter la climatisation et le chauffage dans les administrations (sauf usages spécifiques) Z3 et Z4 : Priorité à la conception thermique de l'enveloppe et des solutions passives.
		Équipement de classe A - B	
		(Electroménager et Hi-Fi / cuisson / ...)	(Prises de courant / cuisine / ...)

.I.1.3. Les Chartes OPTICLIM

Dans le cadre du Programme Régional de Maîtrise de l'Energie (PRME) de la Région d'Outre-mer, plusieurs actions ont été mises en places pour agir sur la rationalisation et du comportement de la population et l'utilisation rationnelle de l'énergie dans le secteur du bâtiment. En terme de maîtrise de l'énergie, les opérations initiées par le PRME pour l'engagement des constructeurs ont été présentées dans les paragraphes précédents.



En matière maîtriser l'augmentation des consommations électriques, les actions du PRME reposent sur la diffusion d'outils promotionnels (publicités, brochures grand public) et de formations aux professionnels (plombiers, artisans du bâtiment, etc.).

Dans le département de la Guyane, comme dans les autres DOM, la climatisation constitue le premier usage final de l'électricité qui connaît également la plus forte augmentation. L'ADEME Guyane alors entrepris la confection de deux chartes de qualité Opticlim destinées à la labellisation des installateurs de climatisation individuelle et centralisée. En partenariat avec la Chambre des Métiers, l'ADEME Guyane s'est également engagée sur un programme de formations des professionnels de la climatisation et de suivi des installations.

A partir de la demande, la démarche d'élaboration des chartes Opticlim s'est appuyée sur un travail par étape avec les installateurs. Cette démarche a pour objectif de réduire la consommation énergétique en visant la réalisation d'installations performantes, fiables, durables, confortables, rentables, esthétiques et à impact minimal pour l'environnement. Cependant, cette démarche n'a pas pour objet de contribuer au développement de la climatisation artificielle lorsque les solutions de climatisation naturelle (protection solaire et ventilation naturelle) peuvent être appliquées et permettre un confort satisfaisant.

• **Les Chartes « Opticlim individuelle » et « Opticlim centralisée »**

La Charte « Opticlim individuelle » a pour but de permettre aux installateurs de répondre au mieux aux aspirations et aux demandes de la clientèle de climatiseurs individuels du secteur de l'habitat et des différents domaines du secteur tertiaire (bureaux commerces, hôtelleries, clinique, ...)

Elle fournit à l'installateur OPTICLIM des réponses satisfaisantes à chacun des critères de choix et à chacune des demandes des clients potentiels. Ces réponses sont autant d'arguments de vente et de réalisation d'une installation de qualité. Cette charte présente alors les 10 engagements de l'installateur

Cet outil est également une source d'informations nécessaire à la réalisation d'un système efficace selon la méthode OPTICLIM. Ainsi, la charte présente, de manière indicatifs, des tableaux de donnée d'aide au dimensionnement des équipements en fonction les paramètres de conception thermique :

- exposition des vitrages et des parois
- protection solaire
- type de vitrage et de parois,
- débit réglementaire par type de local.

Cet outil présente également les règles de l'Art pour la mise en œuvre de l'installation. Ce chapitre rappelle les points essentiels relatifs à la mise en œuvre d'installation de climatisation individuelle (monobloc et split) performantes et durables en donnant quelques indications sur les enjeux.

Enfin, la charte est accompagnée d'un contrat de maintenance type pour les installations de climatisations individuelles : CONTRATCLIM

• Les prescriptions de la charte Opticlim individuelle

Le tableau suivant présente les prescriptions qualitatives et quantitatives pour l'installation de climatisations. Ces prescriptions définissent le savoir faire de l'installateur en termes de conseil au client (qualités thermique de l'enveloppe), de conception (dimensionnement), de mise en oeuvre et de suivi (entretien et maintenance). Ces prescriptions correspondent aux 10 engagements de l'installateur.

		Prescriptions et/ou Recommandation
1	Conseils sur l'enveloppe du bâti	Conseiller les interventions de premières urgences : - Protection solaire de la toiture - Protection solaire des vitrages - Etanchéité à l'air des ouvrages - Protection solaire des murs
2	Conception générale et dimensionnement optimal de l'installation	- Conseiller l'installation lorsque l'installation se justifie par rapport à une climatisation centralisée - Proposer le type « split system » de préférence au type monobloc - Dimensionnement précis par la méthode OPTICLIM (pas de surdimensionnement inutile et coûteux)
3	Choix d'un matériel performant	Sélectionner des modèles : - certifiés EUROVENT et ayant une classe d'efficacité minimale B et un niveau de puissance acoustique maximum de 55dB - équipés de télécommande programmables (ou horloges hebdomadaires) - respectant les réglementations sur les fluides frigorigènes
4	Proposition d'équipements complémentaires	Ces équipements engendrant des économies d'énergie varie selon le secteur (Asservissement à l'occupation, portes coulissantes automatisées, contact de feuilures, brasseurs d'air)
5	Mise en œuvre selon les règles de l'art	- Installation (split) en extérieur dans un endroit ventilé, à l'ombre et accessible - Compromis entre intégration et distance de liaison frigorifique - Minimisation des coudes et changement de direction - Utilisation d'un calorifuge durable avec isolation et protection UV - Positionnement intérieur optimal - Etanchéité parfaite et durable (monobloc)
6	Intégration architecturale	Satisfaire les règlements d'urbanisme et les sept critères d'implantation fournis
7	Respect de l'Environnement	- Disposer de matériel pour la récupération des fluides - Collecter ces fluides lors des interventions et les stocker - Les faire entrer dans un cycle de retraitement
8	Conseils sur l'auto-entretien	Expliquer au client comment : - Démonter les filtres intérieurs, les nettoyer, les remonter (mensuellement ou toutes les 200h) - Nettoyer l'évacuation des condensas (trimestriellement)
9	Proposition d'un contrat d'entretien	Proposer un contrat de maintenance adapté : CONTRATCLIM
10	Conseil sur le comportement	Pour améliorer les performance de l'installation : - Régler la température de consigne à 25°C minimum - Arrêter la climatisation lors de l'inoccupation des locaux (ou programmer pendant les périodes d'occupation) - Limiter, en l'absence de dispositif spécifique de renouvellement d'air hygiénique, l'ouverture des fenêtres à 5 minutes par occupant par m² de fenêtre et par ½ journée d'occupation

• Le potentiel d'adaptation

Dès leur élaboration, les chartes de qualités Opticlim ont pour ambition de s'appliquer aux climats de la bande intertropicale incluant les Antilles et les Régions Ultrapériphérique de l'Europe.

.I.2. Réglementation thermique en zone tropicale

.I.2.1. Les Démarches dans le monde

Présentation :

Les réglementations thermiques se sont généralisées dans les pays devant faire face à une forte demande de climatisation mécanique et donc de consommation énergétique dans les bâtiments, en raison de la sensibilité émergente de nombreux pays à la question environnementale, mais surtout face aux risques croissants de rupture d'alimentation électrique dans les grandes métropoles.

• USA : Standards ASHRAE

Evolution 75-99

Les Etats-Unis ont adopté en 1975 les "ASHRAE Standard 90-75 : Energy conservation in New Building Design". Ces standards, édités par l'American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, énoncent des principes fondamentaux qui guident la conception de bâtiments économes en énergie, en insistant sur l'influence des décisions qui sont prises aux premiers stades de la conception du projet. Les critères comprennent des valeurs minimum d'efficacité pour les équipements d'éclairage (lampes et ballasts), des jeux de paramètres pré calculés pour les composants de l'enveloppe.

Il a été alors estimé qu'une économie d'énergie de 40% pouvait être réalisée sur la consommation de chauffage, de climatisation, d'éclairage, etc., au moyen des technologies existantes, et sans réduction ni de la performance du bâtiment, ni du niveau de confort. Ils ont ensuite adopté de nouveaux standards en 1989 (ASHRAE, Standard 90.1-1989), révisés in 1994, 1995, 1997, puis les "Standard 90.1-1999", qui fixent les exigences minimales de conception de bâtiments performants en énergie. Cette dernière révision, qui a été étendue aux bâtiments existants, devrait réduire la consommation d'énergie des bâtiments de bureau de 16% (en énergie finale), grâce notamment aux avancées technologiques des vitrages et des équipements d'éclairage.

Conception générale des bâtiments (75-89)

D'une façon générale, il est recommandé de tenir compte des paramètres suivants dans la conception, en complément des critères proprement dits développés dans la norme :

- orientation du bâtiment sur le site
- forme géométrique
- ratio d'aspect (longueur/largeur)
- nombre d'étages
- inertie ou masse thermique
- couleur du revêtement extérieur
- masques ou effets de miroir provenant de l'environnement (végétation, autres constructions...)
- possibilités de ventilation naturelle
- vitesse du vent et direction.

Mais les exigences, en refroidissement, reposent essentiellement sur les coefficients OTTV (Overall Thermal Transfer Value), qui représentent la charge moyenne due à l'enveloppe par unité de surface (due à la DT et aux apports solaires pour les vitrages et à la DT équivalente pour les parois opaques), et pour des valeurs conventionnelles de DT et d'irradiation.

Catégorie A : enveloppe des bâtiments résidentiels, motels, hôtels

Que ce soit en situation de chauffage ou de climatisation, cette première catégorie de bâtiment ne devait répondre qu'à des critères d'isolation thermique, définie par les valeurs des coefficients de transferts thermiques des parois (opaques et vitrées) U exprimés en $W/°K.m^2$. Les exigences sont

fixées en fonction du climat, par l'intermédiaire de graphiques donnant les valeurs de U (murs, plafonds, toits...) en fonction des Degrés-Jours base 18°C.

Pour les climats sans réelle saison de chauffe, les exigences de coefficient moyen U_o prenaient les valeurs suivantes :

- $U_o < 1,70 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ pour l'individuel
- $U_o < 2.15 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$ pour les motels et hôtels

U_o étant défini par l'expression suivante :

$$U_o = 1/A_o [(U_{\text{wall}} \times A_{\text{wall}}) + (U_{\text{fenestr.}} \times A_{\text{fenestr.}}) + (U_{\text{door}} \times A_{\text{door}})]$$

Où
 A_w = surface de paroi opaque (m^2)
 A_f = surface de fenêtre (m^2)
 A_{door} = surface de porte (m^2)
 U_w = conductibilité thermique du mur ($\text{W/m}^2\text{K}$)
 U_f = conductibilité thermique du vitrage ($\text{W/m}^2\text{K}$)
 U_{door} = conductibilité thermique de porte ($\text{W/m}^2\text{K}$)
 A_o = surface totale d'enveloppe (m^2), $A_f + A_w + A_{\text{door}}$

Catégorie B : enveloppe des bâtiments non résidentiels, autres que motels et hôtels

Pour le chauffage :

On déterminait, comme pour les bâtiments de type A des exigences de coefficients U exprimés en $\text{W}/^\circ\text{K} \cdot \text{m}^2$ différents pour les murs, plafonds, toitures, planchers (et non plus globaux de type U_o).

Pour le refroidissement,

Les murs devaient répondre (jusque 1989 ?) à un coefficient OTTV, coefficient global de transfert thermique (W/m^2) dont la limite supérieure est fonction de la latitude. Exemple pour les latitudes comprises entre 0° et 20°Nord : $\text{OTTV}_{\text{wall}} < 90 \text{ W/m}^2$, $\text{OTTV}_{\text{wall}}$ étant donné par l'expression suivante (W/m^2) :

$$\text{OTTV}_w = 1/A_o [(A_w \times U_w \times T_{\text{Deq}}) + (A_f \times U_f \times DT) + (A_f \times SC \times SF)]$$

Où
 A_f = surface de fenêtre (m^2)
 A_w = surface de paroi opaque (m^2)
 A_o = surface totale d'enveloppe (m^2), $A_f + A_w$
 U_w = conductibilité thermique du mur ($\text{W/m}^2\text{K}$)
 U_f = conductibilité thermique du vitrage ($\text{W/m}^2\text{K}$)
 T_{Deq} = différence de température équivalente ($^\circ\text{K}$), donnée en fonction du type de construction
 DT = différence de température extérieur/intérieur ($^\circ\text{K}$)
 SC = facteur du vitrage, apport solaire de la fenêtre comparé à celui obtenu avec un verre clair simple
 SF = « facteur » solaire, (W/m^2) dépendant de la latitude ($SF = 362 \text{ W/m}^2$ pour $0^\circ < \text{latitude} < 20^\circ\text{N}$).

L'ensemble toit/plafond doit également répondre à un coefficient $\text{OTTV}_{\text{roof/ceiling}}$, coefficient global de transfert thermique (W/m^2) tenant compte des "skylights" éventuels : $\text{OTTV}_{\text{roof/ceiling}} < 26,8 \text{ W/m}^2$ (latitudes comprises entre 0° et 20° N)

$$\text{OTTV}_{\text{roof/ceiling}} = 1/A_o [(A_r \times U_r \times T_{\text{Deqr}}) + (A_s \times U_s \times DT) + (A_s \times SC_s \times 434.7)]$$

Où
 A_r = surface de toit opaque (m^2)
 A_s = surface de skylight (m^2)
 A_o = surface totale de toit (m^2), $A_r + A_s$
 U_r = conductibilité thermique de l'ensemble plafond/toit ($\text{W/m}^2\text{K}$)
 U_s = conductibilité thermique du skylight ($\text{W/m}^2\text{K}$)

TDeqr = différence de température équivalente (°K) donnée en fonction des caractéristiques de chaque constituant (épaisseur, densité, chaleur spécifique...)
DT = différence de température extérieur/intérieur (°K)

Pour un climat à hiver doux, s'ajoutait une condition d'isolation : $U_o \text{ roof/ceiling} < 0.56 \text{ W/m}^2\text{°K}$.

Infiltrations d'air

Deux valeurs maximum étaient indiquées, données par mètre linéaire de feuillure:

- par les fenêtres: $7.74 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
- par les portes pour les bâtiments tertiaires: $1.70 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{s}$

Conception du système de climatisation mécanique

Il était recommandé de concevoir et sélectionner le système de climatisation après avoir évalué la charge annuelle de climatisation.

Calcul de la charge

Paramètres de base :

Les conditions extérieures de base sont données pour un grand nombre de localités. Elles sont fixées à partir de la règle des 2,5% pour l'été (température qui n'est dépassée que pendant 2,5% des heures de la saison chaude).

Les conditions intérieures de base (été) sont données par la température d'air sec (DBT = 25.5°C) et par la température humide (WBT = 18°C).

La ventilation devait être conforme aux codes ASHRAE/ANSI Standard 62-73 "Natural and Mechanical Ventilation".

Limites : nouvelles options USA et CANADA

Les USA ont développé d'autres approches, relatives aux charges de climatisation annuelles. Un programme de calcul a été développé (Envelope Standard, ENVSTD), inclus dans les « ASHRAE 90.1 » (ASHRAE 1989) pour l'évaluation de la performance du système énergétique "enveloppe du bâtiment". Le programme additionne les charges de chauffage et de climatisation estimées par façade, et compare la valeur obtenue à un critère de performance régional. Mais la méthode « ENSVD » est trop complexe pour un calcul manuel.

De son côté, le CBEC (Canadian Building Energy Code) inclut un modèle simplifié qui relie la demande en énergie de chauffage et de climatisation aux caractéristiques thermiques de l'enveloppe (SANDER et al., 1993). Ce modèle (calcul manuel assisté par tables et graphiques), prend en compte les paramètres suivants : « *wall and window U-values, window shading coefficients, internal gains* ». Il a été adapté par l'Australie pour 9 localités avant d'être appliqué aux régions chaudes et humides, ce qui nécessite confirmation de la validité de la méthode.

• AUSTRALIE

Avant 1990

Il n'y avait pas réellement de politique de maîtrise de l'énergie dans le bâtiment en Australie dans les années 1980. Pour les locaux du secteur tertiaire, seule la ventilation était définie, sans attention particulière portée sur la question de la climatisation mécanique. En 1991 apparaissent les niveaux d'isolation requis pour les bâtiments résidentiels.

Les normes de ventilation des locaux (Standard N°62-1973) ont été préparées par l'« Association's Committee on Mechanical Ventilation and Air Conditioning », sur la base des travaux de l'ASHRAE. Ces normes spécifiaient les besoins en renouvellement d'air des locaux, vis à vis de la santé des occupants et de la sécurité.

Une table présente les exigences de surface et de renouvellement d'air par occupant.

Exigences de surface et de renouvellement d'air par occupant (extraits)

Classe d'utilisation	surface de plancher par personne (m²)	besoin minimum en air neuf (L/s)

1. RESIDENTIEL		
habitat individuel (séjour, chambre)	12.5	2.5
habitat collectif (séjour, chambre)	10.0	2.5
2. COMMERCIAL		
Banques	-	2.5
Cafétérias, bars	1.0	15.0
Hôtels (chambres)	20.0	3.5
(salles confér.)	1.4	10.0
Bureaux (général)	10.0	3.5
(confér.)	2.0	12.5
(computer)	25.0	2.5
Salles de classe	2.0	5.0

Limites de température d'air intérieur (1980)

Plage de température d'air sec (DBT): $18^{\circ}\text{C} \leq \text{DBT} \leq 30^{\circ}\text{C}$ si la température radiante (Trad) est différente de moins de 2°C de la DBT, et en air calme ($V \leq 0.2 \text{ m/s}$).

Modification de la limite supérieure de DBT en fonction de la vitesse de l'air

V (m/s)	0.2	0.7	1.2	1.7
DBT $\leq$ ($^{\circ}\text{C}$)	30	32	33	33.3

Note: si Trad augmente de 1°C : les limites supérieures de DBT diminuent de 1°C ; si Trad diminue de 1.5°C , ces valeurs peuvent augmenter de 0.5°C .

Température humide maximum (WBT): $\text{WBT} \leq 26^{\circ}\text{C}$.

« Local Cooling = Global Warming »

En 1999, une stratégie nationale de lutte contre l'effet de serre se fixe l'objectif de produire des bâtiments de meilleure performance énergétique, au moyen (CSIRO, 1999) :

- d'un encouragement aux « bonnes pratiques » volontaires dans la conception, la construction, l'exploitation des bâtiments ;
- d'une élimination des pratiques de mauvaises performances en intégrant un standard simple d'exigences minimum de performance dans le « Building code of Australia » (BCA).

Pour élaborer ses standards, le BCA distingue 10 classes de bâtiments :

Volume 1:

- Class 2 Apartments
- Class 3 Hotels, motels, dormitories, etc.
- Class 4 Dwellings over shops, etc.
- Class 5 Offices
- Class 6 Shops
- Class 7 Carports, warehouses
- Class 8 Laboratories, factories
- Class 9 Public health and assembly buildings

Volume 2:

- Class 1 Single dwellings
- Class 10 Non-habitable buildings and structures

Trois paramètres urbains sont cités: implantation, orientation et potentiel solaire.

La performance thermique des logements tend à être dominée par les transferts de chaleur dus à l'enveloppe, tandis que la priorité est donnée, pour les autres catégories de bâtiments, aux charges internes, ce qui peut modifier les niveaux d'isolation recommandés. Quatre méthodes ont été identifiées afin d'assurer le respect des exigences :

- simulation globale (choix entre la méthode du « bâtiment de référence », de forme et de taille identiques et la méthode du « niveau de performance minimum » qui fixe une consommation d'énergie à ne pas dépasser)
- critères de performance
- exigences élémentaires
- commission d'experts.

Le texte du CSIRO discute les avantages et les limites des différentes approches :

- simulation globale : disponibilité d'outils, formation des experts, définition des conditions intérieures de référence, risque de compromis entre niveaux de performance de l'enveloppe, à longue durée de vie, et des systèmes à durée de vie plus courte; bâtiment de référence : deux calculs, il peut hériter de certains paramètres non performants, comme la forme.
- critères de performance (enveloppe, éclairage, équipements HVAC). Exemple de critère pour l'éclairage : adjusted light power density, ALPD = power/ area – credit (W/m²). Le choix de critère de performance devrait tenir compte des coûts en cycles de vie, tel que le coût de remplacement des lampes.
- exigences élémentaires (murs, toit, éclairage, « chillers »), d'un développement complexe en raison du nombre de combinaisons de paramètres (types de bâtiment, taille, zones climatiques, etc.) ;
- commission d'experts (notamment pour les solutions innovantes, comme la façade double peau qui évacue la chaleur en excès) .

Les niveaux de performance (base annuelle) peuvent être définis par :

- la consommation d'énergie ;
- son coût ;
- les émissions de CO₂,

et être ramenés aux valeurs unitaires :

- de la surface de plancher
- du nombre d'occupants
- du nombre de chambres.

Une démarche est proposée pour établir les niveaux de performance requis, en trois étapes :

- développer une liste de mesures appropriées localement, par consensus d'experts
- sélectionner les mesures qui sont économiquement performantes
- déterminer les niveaux de performance sur la base d'exemples qui incluent ces mesures.

• Pays de l'ASEAN: enveloppe et OTTV

SINGAPOUR (1979-1999)

Depuis 1979, tous les nouveaux bâtiments climatisés de Singapour doivent répondre aux exigences d'une réglementation thermique basée sur des coefficients globaux de transfert thermique d'enveloppe dénommés "OTTV" (overall thermal transfer value). La charge de climatisation est ensuite estimée au moyen de degrés-jours.

La procédure de calcul était définie en 1979 dans un manuel publié par le service "Development & Building Control", qui contenait une section pour la ventilation naturelle des bâtiments non climatisés.

Les coefficients OTTV sont une adaptation des "ASHRAE Standard 90-1975" utilisés pour limiter les apports de chaleur dans les bâtiments climatisés aux USA, et ensuite entrés en application. L'expression des coefficients OTTV a été modifiée par rapport aux valeurs américaines pour tenir compte des conditions de Singapour, notamment pour ce qui concerne le rayonnement diffus, et l'effet des masques ("shading devices") qui n'étaient pas pris en compte dans les Standard ASHRAE. Des compléments ont également été développés pour les éclairages en toiture de type "sky-light".

La valeur de ce coefficient OTTV ne devait pas excéder 45 W/m² d'enveloppe pour un bâtiment climatisé à Singapour.

Expression de OTTV

La charge thermique due à l'enveloppe comprend trois termes :

- (1) la conduction à travers les parois opaques
- (2) la conduction à travers les vitrages
- (3) les apports radiatifs à travers les vitrages.

On obtient ainsi pour chaque orientation:

- pour (1): $Q1 = A_w \times U_w \times TDeq$
- pour (2): $Q2 = A_f \times U_f \times DT$
- pour (3): $Q3 = A_f \times SC \times SF$

Et ensuite:

$$OTTV = (Q1 + Q2 + Q3)/A_o$$

avec

A_f = surface de fenêtre (m²)
A_w = surface de paroi opaque (m²)
A_o = surface totale d'enveloppe (m²), A_f+A_w
U_w = conductibilité thermique du mur (W/m²K)
U_f = conductibilité thermique du vitrage (W/m²K)
TDeq = différence de température équivalente (K)
DT = différence de température extérieur/intérieur (K)
SC = facteur d'ombre du vitrage
SF = facteur solaire (W/m²)
OTTV = coefficient global de transfert thermique (W/m²)

Il faut ensuite calculer le facteur OTTV pour l'ensemble du bâtiment, à partir des valeurs obtenues pour les différentes orientations :

$$OTTV = \text{Somme } (A_{oi} \times OTTV_i) / \text{Somme } (A_{oi})$$

Afin de simplifier la procédure de calcul, qui a semblé trop contraignante aux ingénieurs et architectes, les auteurs de la réglementation ont proposé une formule valable pour les bâtiments de plan carré, en fixant, à partir de nombreuses simulations lourdes par le programme américain DOE-2 les valeurs forfaitaires suivantes (telles qu'elles ont été modifiées en 1989) :

- $T_{Deq} = 11 \text{ K}$
- $DT = 4,8 \text{ K}$
- $SF = 230 \text{ W/m}^2$,

Ce qui donne:

$$OTTV = 11.(1 - WWR)(U_w) + 4.8.(WWR)(U_f) + 230 (WWR)(SC)$$

où WWR = ratio vitrage/paroi (A_f/A_o)

Mais on sous-estime par cette équation l'incidence des mesures d'économie d'énergie.

Applications

La méthode a été mise en application pour les bâtiments existants. En décembre 1979, le gouvernement a donné deux ans aux propriétaires pour que les façades des immeubles répondent aux valeurs OTTV. Au delà de ce délai de grâce, une surtaxe de 20% de la facture d'électricité leur était imposée, puis de 50% à partir de janvier 1984 (10 des 200 immeubles concernés de Singapour n'avaient pas répondu en janvier 1982, puis un seul en 1986).

Parallèlement à la mise au point des méthodes de calcul des coefficients OTTV, des études paramétriques ont été menées sur un bâtiment de référence à usage de bureaux. Les calculs effectués par les méthodes de simulation américaines ou australiennes (DOE-2, BUNYIP) fournissent les réductions de la consommation électrique totale de l'immeuble que l'on peut obtenir pour des valeurs extrêmes de différents paramètres. Cette consommation totale est composée des énergies électriques de refroidissement et ventilation (de l'ordre de 50% du total), d'éclairage (35%) et d'équipement divers (15%).

On obtient les réductions (en %) suivantes:

- éclairage (20,4 à 15,8 W/m²)	11,63
- taux de percement (0,44 à 0,25)	4,8
- auvents sur vitrages (0 à 1,4 m)	4,5
- coefficient de store (0,47 à 0,35)	4,2
- température de consigne (25 à 26,1°C)	2,31
- isolation ($R=0$ à $R=2 \text{ m}^2\text{K/W}$)	1,1
- alpha toit (0,3 à 0,15)	0,25
- double vitrage / simple vitrage	-0,9

Ces valeurs semblent assez faibles (on remarquera tout particulièrement qu'un double vitrage entraîne une augmentation de près de 1% de la consommation totale, par rapport à un simple vitrage). En ne prenant en compte que la climatisation, ces valeurs devraient être doublées.

THAILANDE – MALAISIE - PHILIPPINES

La méthode ASHRAE Standard est également appliquée depuis 1989 en Thaïlande. La formulation des OTTV a été modifiée, en prenant des valeurs locales pour DT, TDeq et SF :

- DT = 5,3 K
- TDeq = fonction linéaire de alpha, coefficient d'absorption solaire de la paroi opaque, estimée à 16,8 K pour un revêtement clair (0,3)
- SF = 165 W/m²

Les valeurs proposées (standards) sont de 57,6 W/m² pour les parois verticales et 51,6 W/m² pour le toit-terrasse.

La Malaisie et les Philippines recourent également à cette méthode. Tous ces pays de l'ASEAN ont participé à un programme de collaboration avec le Lawrence Berkeley Laboratory (LBL) des USA.

Evolution, Singapour et Hong Kong

En 1999, les standards suivants ont été adoptés à Singapour²⁶ :

Indoor Design Conditions for A/C space

Max dry bulb	25.5° C
Min dry bulb	22.5° C
Max RH	70 %
Max air movement	0.25 m/s

– Building envelope OTTV of air-conditioned building.
The OTTV for the gross area of exterior walls shall not exceed 45W/m².

– Roof OTTV of air-conditioned building.
Where the roof is provided with skylights or any other materials, which allows the passage of light through, the OTTV for the gross area of the roof shall not exceed 45W/m².

– Maximum thermal transmittance for roof of air-conditioned building.
For any other type of roof not mentioned in (b) above, the average thermal transmittance for the gross area of the roof shall not exceed the prescribed limits shown in the table below.

Roof U-value max (W/m ² □□□)			
Type	Weight Range (kg/m ²)	A/C	Non A/C
Light	Under 50	0.5	0.8
Medium	50 to 230	0.8	1.1
Heavy	Over 230	1.2	1.5

²⁶ Source: www.bca.gov.sg/cru/mndpr42.html

Building Interior Lighting

Type of usage	Maximum lighting power budget (Watts/m ²)
Offices	15
Classrooms	15
Lecture theatres	15
Auditoriums / Concert halls	10
Shops / Supermarkets / Departmental stores (including general, accent & display lighting)	25
Restaurants	15
Lobbies / Atriums / Concourse	10
Stairs / Corridors	10
Car Parks	5
Electronic manufacturing and fine detail/Assembly industries	20
Medium and heavy industries	15
Warehouses / Storage areas	10

La réglementation a été introduite à Hong Kong en 1995 (valeurs limites : 35 W/m² pour les tours et 80 W/m² pour les podiums).

Limites des OTTV

Le BCA (Building and Construction Authority) de Singapour propose une révision de la formule²⁷, appelée ETTV (envelope thermal transfer value) et RTTV (roof thermal transfer value), corrigeant notamment les valeurs de référence des facteurs climatiques, SF, TD_{eq} et ΔT (SF pour ETTV est de 210 W/m² au lieu de 130 pour OTTV).

Valeur maximale proposée de ETTV : 50 W/m².

The Envelope Thermal Transfer Value (ETTV) formula is given as:

$$ETTV = 11.9(1 - WWR)U_w + 3.37(WWR)U_f + 210.9(WWR)(CF)(SC)$$

Where:

- ETTV** : envelope thermal transfer value (W/m²)
- WWR** : window-to-wall ratio
- U_w** : thermal transmittance of opaque wall (W/Km²)
- U_f** : thermal transmittance of fenestration (W/Km²)
- CF** : solar correction factor for fenestration*
- SC** : shading coefficients of fenestration

²⁷ March - April 2001 Newsletter of the Building and Construction Authority

Table: Solar Correction Factors (CF) for Walls

Pitch Angle	Orientation							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
70°	1.17	1.33	1.47	1.35	1.21	1.41	1.56	1.38
75°	1.07	1.23	1.37	1.25	1.11	1.32	1.47	1.28
80°	0.98	1.14	1.30	1.16	1.01	1.23	1.39	1.20
85°	0.89	1.05	1.21	1.07	0.92	1.14	1.31	1.11
90°	0.80	0.97	1.13	0.98	0.83	1.06	1.23	1.03
95°	0.73	0.90	1.05	0.91	0.76	0.99	1.15	0.96
100°	0.67	0.83	0.97	0.84	0.70	0.92	1.08	0.89
105°	0.62	0.77	0.90	0.78	0.65	0.86	1.01	0.83
110°	0.59	0.72	0.83	0.72	0.61	0.80	0.94	0.78
115°	0.57	0.67	0.77	0.67	0.58	0.75	0.87	0.73
120°	0.55	0.63	0.72	0.63	0.56	0.71	0.81	0.69

Les deux paramètres déterminants sont le taux de vitrage (WWR) et le produit du facteur solaire du vitrage par le facteur d'ensoleillement (SC).

Cependant, il est constaté que les autres aspects (infiltrations d'air, éclairage, système de production de froid) sont écartés de la méthode. Certaines conceptions innovantes pourraient également être exclues, alors qu'elles se traduisent par une réduction de la consommation d'énergie globale (par exemple, la valorisation de la lumière naturelle qui limite la consommation due à l'éclairage électrique, et la charge interne induite). La question est également posée de la collaboration d'ingénieurs compétents et de l'application de la réglementation (HUI, 1997).

• Synthèse des approches « OTTV »

Les méthodes basées sur les OTTV sont de type manuel.

Le principe, similaire à la méthode AICVF, consiste en un calcul de la charge.

Pour les parois opaques, ce calcul repose sur la différence de température équivalente, donnée par des courbes et intégrant :

- l'azimut et l'inclinaison de la paroi ;
- la couleur du revêtement (alpha) ;
- la nature des parois (amortissement).

Pour les parois vitrées, la référence est le verre simple, clair, sud (?) les autres types de vitrages étant exprimés par des coefficients :

- d'orientation ;
- de transmission (coefficient de facteur solaire corrigé par rapport à la référence)
- éventuellement de protection solaires (facteur d'ensoleillement).

Mais une seule valeur (la pointe supposée) est calculée par face (verticale ou horizontale), il n'y a pas d'estimation de la charge globale comme dans la méthode AICVF.

Tableau de synthèse comparatif

	USA (ex 0°<L<20°)	Singapour (L =)	Thaïlande	Australie
Coefficients réglementaires	OTTV, coefficient global de transfert thermique (W/m²) Mur < 90 W/m² Toit/Plafond < 26,8 W/m²	Selon le ratio WWR = Af/Ao Murs standards, forme de réf carrée ETTV w et r < 50 W/m²	Mur < 57,6 W/m² Toit < 51,6 W/m²	En cours d'élaboration
Expression mur	OTTV _w = 1/Ao [(Aw x Uw x TDeq) + (Af x Uf x DT) + (Af x SC x SF)]	ETTV = 11,9.(1 - WWR)(Uw) + 3,37.(WWR)(Uf) + 210,9 (WWR)(SC)		
Expression toit/plafond	OTTV _{r/c} = 1/Ao [(Ar x Ur x TDeqr) + (As x Us x DT) + (As x SCs x 434.7)]			
Conditions intérieures	DBT = 25,5°C WBT = 18°C			
Données météo Températures	température qui n'est dépassée que pendant 2,5% des heures de la saison chaude	DT = 3,37 K	DT = 5,3 K	
Apports solaires Parois opaques	Température équivalente TDeq = f(Az, alpha, masse)	TDeq = 11,9 K	TDeq = f(alpha) (16,8 K pour alpha = 0,3)	
Apports solaires vitrages vertic: (SC = Coeff de vitrage x coeff d'orientation)	Vitrage simple clair, sud équivalent (SF = 362 W/m²)	SF = 210,9 W/m²)	SF = 165 W/m²	
Inertie	Intégrée dans TDeq			
Consommation d'énergie				annuelle
Autres critères				émissions de CO2 par surface de plancher ou nombre d'occupants
Limites : autres charges à inclure	infiltrations d'air, éclairage, apports internes, système de production de froid	infiltrations d'air, éclairage, apports internes, système de production de froid	infiltrations d'air, éclairage, apports internes, système de production de froid	

Conclusions

Une typologie des bâtiments tertiaires devrait être proposée, selon l'importance relative des trois composantes de la charge de climatisation :

- enveloppe
- apports internes (équipements et occupants)
- éclairage.

La conception des parois vitrées est sans doute un des points les plus sensibles pour un grand nombre de bâtiments, puisque leur dimensionnement doit aboutir à un compromis entre :

- le contrôle des apports solaires, afin de diminuer la composante sensible de la charge ;
- le recours à la lumière naturelle, qui a un effet induit sur deux postes de consommation d'énergie, l'éclairage électrique et la chaleur sensible.

Il faut également distinguer les postes de consommations d'énergie, dont la ventilation. A titre d'exemple, la répartition moyenne était la suivante en Australie, pour les bâtiments tertiaires en 1990 (CSIRO, 1999) :

6%	COOKING & HOT WATER
9%	OFFICE EQUIPMENT & OTHER
15%	LIGHTING
16%	VENTILATION
21%	COOLING
33%	HEATING

On remarquera également que la définition de conditions intérieures standards est incompatible avec la ventilation naturelle, qui semble devoir être encouragée dans certains cas, malgré le risque d'une évolution vers la climatisation mécanique.

Les critères de performance des systèmes complets enveloppe/éclairage/HVAC devraient tenir compte des durées de vie différentes entre d'une part la catégorie enveloppe/structures et d'autre part celle des équipements éclairage/climatisation/ventilation.

Références bibliographiques

CSIRO Division of Building Construction and Engineering, *Scoping study of minimum energy performance requirements for incorporation into the building code of Australia*, Australian Greenhouse Office, Commonwealth of Australia, 1999.

Energy Efficient Design of New Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, ASHRAE, Standard 90.1-1989

HUI, S. C. M., 1997. Overall thermal transfer value (OTTV): how to improve its control in Hong Kong, In *Proc. of the One-day Symposium on Building, Energy and Environment*, 16 October 1997, Shangri-la Hotel, Kowloon, Hong Kong, HKIE BS Division/CIBSE/ASHRAE/PolyU, pp. 12-1 to 12-11.

SANDER, D., CORNICK, S., NEWSHAM, G. R. AND CRAWLEY, D. B. 1993, 'Development of a Simple Model to Relate Heating and Cooling Energy to Building Envelope Thermal Characteristics', in *Building Simulation '93, Proceedings of 3rd International Conference*, International Building Performance Simulation Association, Adelaide, pp223-230.

TRAISNEL J.P., ABDESSELAM M., *Projet de cahier des charges définissant des normes et recommandations de conception énergétique des bâtiments en Nouvelle-Calédonie*, Rapport 2 : Réglementations et normes existantes, Comité territorial pour la maîtrise de l'énergie, Juillet 1991.

Références ou sites internet :

Standards SINGAPOUR 1999 : www.bca.gov.sg/cru/mndpr42.html

Rapport du CSIRO, Australie, 1999 : www.greenhouse.gov.au/energyefficiency/building/s_study.pdf

Hong Kong et Chine, 2000 : <http://arch.hku.hk/~cmhui/aceee590a.pdf>

Présentation et revue des "Building Energy Simulation Tools" (BEST) (site réalisé à Hong Kong), dont les outils « Lighting and Daylighting Simulation Programs » :

<http://www1.arch.hku.hk/research/BEER/best.htm>

.I.2.2. La réglementation thermique dans les Doms

• **Des règles métropolitaines inadaptées au contexte des DOM**

Le contexte des DOM

Les quatre départements d'outre-mer, constitués de trois îles (Guadeloupe, Martinique et Réunion) et d'un territoire continental (Guyane), sont situés dans la zone intertropicale. Le climat tropical humide voire équatorial pour la Guyane est marqué par quatre caractéristiques fortes :

- Un ensoleillement important (notamment sur les surfaces horizontales)
- Des températures élevées avec une faible différence entre le jour et la nuit et une variation saisonnière faible (15° à 35°C). L'altitude s'accompagne d'une diminution des températures (0,5°C tous les 100m).
- Une hygrométrie toujours très élevée presque toute l'année. On enregistre entre 1500 et 2500mm de précipitation par an en agglomération, jusqu'à 4000mm dans les zones au vent ou en altitude et peuvent atteindre 70mm par heures lors de grosses averses (en Guyane).
- Le régime des vents des alizés qui sont en moyenne réguliers en force et en fréquence.

La "rigueur" de ces climats a orienté les typologies d'habitats traditionnels marqués par une grande attention apportée à la **protection des rayonnements solaires** (galerie en façade, débords généreux de toitures, terrasses couvertes) et à la **ventilation des bâtiments** (menuiseries à lames fixes ou mobiles, implantation sur des promontoires naturels et orientations des constructions). Les **matériaux** utilisés sont de faible inertie thermique. L'influence de ces paramètres du confort thermique se retrouve également à travers l'opération ECODOM lancée en 1995-1996 par l'ADEME et EDF.

Cependant, les consommations d'énergie dans les bâtiments sont importantes (notamment en raison des systèmes de climatisation employés qui absorbent en moyenne plus de 20% de la demande en énergie dans le secteur résidentiel. La majorité de la production électrique est assurée par des centrales thermiques de faible capacité dont les coûts de fonctionnements sont élevés et des émissions de GES conséquentes.

Des règles inadaptées

En France métropolitaine, la conception thermique et énergétique des bâtiments est encadrée par le cadre juridique de la Réglementation Thermique 2005 (RT 2005). Les exigences de qualité technique des constructions sont cohérentes avec le contexte métropolitain. Celui-ci a notamment déterminé une tendance à privilégier les progrès en matière d'étanchéité des bâtiments afin de satisfaire les besoins :

- de protection contre le froid,
- de limitation des gaspillages de frais de chauffage (maîtrise de l'énergie et confort thermique d'hiver),
- d'isolation phonique entre logements et vis-à-vis de l'extérieur, avec le recours à des systèmes de ventilation contrôlée à débit réduit.

Dans les départements d'outre-mer, les exigences de qualité technique des constructions suivent les évolutions des réglementations et normes nationales et européennes dans une logique d'adaptation (dérogations et/ou de préconisations additives). Cependant, l'exigence dominante dans le contexte des DOM, concerne le confort thermique sous des températures plus élevées avec la prise en compte d'une hygrométrie très forte. Le domaine d'application de la RT a alors été limité au territoire métropolitain.

En matière de réglementation acoustique, les textes d'application de 1994 (arrêtés du 28 octobre) ont rendus les règles applicables dans les DOM sans adaptations particulières. Les professionnels locaux, relayés par certains élus, ont relevés l'inadaptation de ces règles aux conditions climatiques et mode de vie dans les DOM qui conduit, par exemple, à devoir imposer une fenêtre étanche là où aujourd'hui des ouvertures munies de volets pour limiter les rayonnements solaires, permettent une large ventilation des logements.

La démarche de révision des exigences de qualité des constructions.

A la suite du constat d'inadaptation de la réglementation acoustique au contexte des DOM, l'ordonnance n°98-521 du 24 juin 1998 a introduit la faculté juridique d'adaptation de la réglementation en matière d'acoustique et de thermique dans les DOM. En application de cette ordonnance et de l'article 73 de la Constitution, le CSTB a été mandaté par le ministère de l'Outre-mer pour étudier différentes propositions permettant de répondre aux problématiques soulevées pour le cas des logements dans les domaines du confort (acoustique, thermique, ventilation et économie d'énergie).

Sur ces propositions, une première étape de concertation a été amorcée le 6 septembre 2001 pour mettre en place une structure de concertation locale avec les professionnels, pilotée par la DDE. Dans le même temps deux structures nationales de concertation ont été mises en place avec l'appui d'expertise technique des Centres d'Etudes Techniques de l'Equipement (CETE). Sur la base des travaux de ces structures, le comité interministériel de suivi a mis en place le 17 septembre 2002 des groupes sur les thèmes thermique, acoustique, risque et sécurité incendie. L'objectif de ces groupes de travail était de définir les principes et orientations des futurs textes réglementaires (1 décret et 3 arrêtés).

Le projet de décret ministériel prévoit notamment la modification du code de la construction et de l'habitation (CCH) pour **les logements neufs** avec la création d'un chapitre « Dispositions particulières relatives aux départements de Guadeloupe, Guyane, Martinique et Réunion ». Il introduit trois sections qui définissent les principes et orientations et renvoient aux arrêtés correspondants adaptant les réglementations aux spécificités des DOM en matière de « thermique », d'« aération » et d'« acoustique ».

• **Projets d'arrêtés : orientations en thermique et en matière d'aération.**

Principe

A ce jour aucune exigence réglementaire relative à la thermique des constructions n'est imposée dans les DOM. Les propositions d'adaptation des exigences s'inspirent des principes constructifs d'expériences telles que l'opération ECODOM. L'objectif principal vise à améliorer la qualité thermique et les performances énergétiques des logements neufs dans des limites de coûts acceptables.

Sous les climats chauds et humide des DOM, le confort thermique est assuré par la combinaison de deux paramètres : une **protection solaire** efficace de l'enveloppe des bâtiments et des **débats d'air** importants pour évacuer les apports internes et solaires et contribuer à une meilleure sensation de confort.

Le projet d'adaptation définit, dans une première étape réglementaire, des niveaux d'exigences homogènes aux quatre départements, modulés en fonction des spécificités climatiques locales (zonage climatique particulier pour la Réunion). Les exigences sont exprimées en **performance par éléments d'ouvrage** (toitures, murs extérieurs, baies, pare soleil...) afin de faciliter l'appropriation par les professionnels et la vérification de la conformité aux niveaux fixés avec peu ou pas de calcul.

Propositions de dispositifs réglementaires

Caractéristiques de l'enveloppe et protection solaire

Caractéristiques thermiques minimales des parois (hors baies) en contact avec l'extérieur.

Le niveau de protection solaire de l'enveloppe est évalué au moyen du facteur solaire (S) qui traduit la capacité d'une paroi à limiter l'énergie solaire sous forme de chaleur. Le calcul du facteur prend en compte :

- Le type de paroi selon sa constitution, le type d'isolant et son épaisseur (R_{th})
- la présence d'un pare soleil ventilé et/ou un pare soleil projetant une ombre sur la paroi suivant le département et l'orientation (C_m)
- la couleur de la paroi (α).

Les valeurs des coefficients α et C_m sont définis par la réglementation (et présentés en annexe1)

$$S = (0.074 \times C_m \times \alpha) / (R_{th} + 0.20)$$

Où : C_m = coefficient de réduction correspondant aux pare-soleil
 α = coefficient d'absorption de la paroi dont les valeurs sont fonction de la couleur
 R_{th} = résistance thermique de la paroi

Pour un ensemble de paroi, S est égal à la moyenne pondérée par les surfaces de ces parois des valeurs de leurs facteurs solaires (surfaces étant vues de l'intérieur). La valeur maximale admissible (S_{max}) est définie pour chaque type de paroi.

Les Hauts de la Réunion (>800m d'altitude) ont une situation climatiques différente, plus proche de la métropole. Le dispositif réglementaire vise, lorsque les locaux sont chauffés, à limiter les déperditions énergétiques de l'enveloppe. Pour traduire le caractère d'enveloppe plus ou moins déperditive, la réglementation utilise le coefficient de transmission thermique (U) de la paroi exprimé en $W/m^2.K$. La méthode pour déterminer U et la valeur maximale U_{max} sont fixées.

$$U = 1 / (R_{th} + 0.20)$$

Où : R_{th} = résistance thermique de la paroi.

Pour une paroi composée d'un ensemble d'éléments de parois, la valeur moyenne de U est égale à la moyenne pondérée par les surfaces de ces parois, des valeurs de leurs coefficients U (surfaces étant vues de l'intérieur).

Pour les parois opaques, le respect de ces exigences peut être simplifié par la vérification que les performances d'isolation des parois sont au moins égales aux exigences de résistance thermique minimale (R_{mini}). La résistance thermique d'une paroi, noté R_{th} exprimée en $m^2.K/W$, traduit la faculté d'une paroi à limiter la transmission de chaleur entre la face externe et la face interne. Cependant, la vérification $R_{th} \geq R_{mini}$ ne prend en compte ni la couleur de la paroi ni les dispositifs d'ombrage.

Les caractéristiques thermiques des parois opaques se réfèrent aux valeurs admissibles de facteur solaire et de résistance thermique suivantes :

		S_{max}	R_{mini}	U_{max}
Parois horizontales (angle <60°)				
Guyane, Guadeloupe, Martinique		0.030	1.7	Pas d'exigence
Réunion	altitude < ou = 800m	0.030	1.7	Pas d'exigence
	altitude > 800m	Pas d'exigence	1.7	0.526
Parois verticales (angle ≥60°)				
Guyane, Guadeloupe, Martinique		0.091	0.3	Pas d'exigence
Réunion	altitude < ou = 800	0.091	0.3	Pas d'exigence
	altitude > 800m	Pas d'exigence	0.3	2
Autres parois verticales				
Réunion (altitude > ou = 800m)		Pas d'exigence	0.3	2

Les parois en contact avec l'extérieurs doivent alors vérifier : $S \leq S_{max}$ ou $R_{th} \geq R_{mini}$.

Pour les bâtiments d'habitation construits à une altitude supérieure à 800m (les Hauts de la Réunion) les parois doivent vérifier $U \leq U_{max}$ ou $R_{th} \geq R_{mini}$.

Caractéristiques thermiques minimales des baies.

A l'exception des bâtiments d'habitation construits à la Réunion à une altitude > 800m, les baies transparentes ou translucides des logements, en contact avec l'extérieur, dans le plan des parois horizontales sont interdites.

Le niveau de protection solaire des baies est évalué au moyen du facteur solaire (S) qui traduit sa capacité à limiter l'énergie solaire. Le calcul du facteur prend en compte le type de baie (jalousie, vitrage, ...), la couleur des lames lorsqu'il y en a et la présence de pare-soleil (suivant le type de protection, le département, l'orientation et la couleur)

Les valeurs maximales admissibles (S_{max}) sont en cours de précision mais semblent suivre les caractéristiques climatiques et les quelques différenciations suivantes :

	Baie avec lames orientables		Partie ouvrante sans protection solaire	Partie fixe d'une baie	Baie équipée d'un pare-soleil
Facteur solaire	$\tau < 0,1$	$S = 0,1 + 0,5 \alpha (\tau + 0,9)$	$S = 1$	Règles Th S	$S = C_m \times S_{sans \text{ pare-soleil}}$
	$\tau \geq 0,1$	$S = \tau + 0,5 \alpha$			
	τ : taux de transmission énergétique en courtes longueurs d'onde α : taux d'absorption			RT 2000	$S_{sans \text{ pare-soleil}}$: facteur solaire sans pare-soleil C_m : coefficient de réduction

Le dispositif réglementaire prévoit de renforcer l'exigence pour les baies des logements sur les Hauts de la Réunion et pour les baies des locaux climatisés. Le facteur solaire est alors déterminé par application des règles Th S. Les baies doivent être équipées d'entrées d'air pour permettre le renouvellement d'air ou d'un dispositif d'insufflation d'air neuf. Pour les bâtiments d'habitation construits à la Réunion à une altitude > 800m, les menuiseries des baies des pièces principales présentent un classement d'étanchéité à l'air au moins de classe 1 (norme NF EN 12207).

Les caractéristiques thermiques baies se réfèrent aux valeurs admissibles de facteur solaire suivantes :

Le facteur solaire S de toutes baies en contact avec l'extérieur doit vérifier : $S \leq S_{max}$. Les baies des pièces de services dont les surfaces sont inférieures à 0.5m² sont exclues.

		S_{max}
Guyane, Guadeloupe, Martinique		0.58
Réunion	altitude < ou = 800m	0.58
	altitude > 800m	0.25
DOM, locaux climatisés (baie en position fermée)		0.25

Ventilation de confort et ventilation d'hygiène

La ventilation des logements prend en compte les aspects de confort, notamment avec des conceptions en ventilation naturelle, et d'hygiène en assurant l'évacuation des polluants par des débits d'air suffisants.

Afin d'assurer une vitesse minimale d'air, les logements soient conçus de telle sorte que les pièces principales puissent être balayées par un ou des flux d'air provenant de l'extérieur du logement. Ces écoulements d'air doivent pouvoir transiter par des baies dans les parois externes et internes pouvant rester en position ouverte et qui participent ainsi à la ventilation naturelle de confort.

Le dispositif réglementaire définit trois caractéristiques.

A l'échelle du logement, les ouvertures doivent être prévues sur au moins deux parois en contact avec l'extérieur ayant des expositions différentes. A l'échelle d'un local, les ouvertures sont percées sur des parois opposées ou latérales.

Le dispositif définit également les surfaces minimales admissibles des ouvertures des parois en contact avec l'extérieur. Ses « surfaces d'ouverture libre », exprimées en pourcentage de la surface de la paroi de la pièce, ne peuvent être inférieure à 1m². La surface des ouvertures des parois internes doit être supérieur à la plus petite des deux surfaces des ouvertures en contact avec l'extérieur.

(provisoire)		Surface minimale admissible des ouvertures
Guyane		25%
Guadeloupe		20%
Martinique		20%
Réunion	Altitude < 400m	20%
	Altitude entre 400 et 800m	15%
	Altitude > 400m	Pas d'exigence

Pour permettre de compléter la « ventilation naturelle » lorsqu'elle est inopérante ou insuffisante, le dispositif prévoit les dispositions relatives aux brasseurs d'air (ou ventilateur de plafond). Le branchement d'une attente est imposé pour chaque pièce principale (2 pour des surfaces supérieures à 30m²) et la fourniture est obligatoire le flux d'air travers au moins une autre pièce principale et lorsque la pièce est à simple exposition et que le flux d'air ne circule pas dans la direction du vent dominant.

En matière de ventilation d'hygiène, la ventilation peut être assurée pièce par pièce. La cuisine est dans tous les cas pourvue d'une ouverture sur l'extérieur. Pour les autres pièces de service, si elles ne disposent pas d'ouvertures sur l'extérieur suffisantes, des débits d'extraction minimum sont assurés au moyen d'une ventilation mécanique.

Dans le cas des logements climatisés, une disposition d'extraction est imposée pour toutes les pièces de service.

Equipements

L'eau chaude sanitaire étant obligatoire pour tous logements neufs, le dispositif vise le recours aux EnR (en particulier les installations solaires) et à défaut, il prescrit des principes de production économes en énergie en excluant notamment les appareils de production spontanée.

Pour le cas des Hauts de la Réunion, les installations de chauffage, s'il en est prévu, doivent avoir recours aux EnR ou à défaut être équipé de thermostats.

Le dispositif propose l'installation de thermostats sur les équipements de climatisation dans chaque pièce climatisée afin de limiter les consommations énergétiques.

• **Projet de l'arrêté et orientations en acoustique.**

Principe

A ce jour, la réglementation acoustique en vigueur s'applique de droit dans les DOM et a notamment défini une exigence générale d'isolement minimal de 30 dB vis-à-vis des bruits extérieurs. Elle est peu appliquée car elle conduirait à construire des logements fermés, généralement en structure lourde avec des fenêtres à forte étanchéité, incompatibles avec d'une part, les dispositions constructives et architecturales (logements largement ouverts sur l'extérieur) et d'autre part les modes de vie locaux.

Le principe du projet d'adaptation réglementaire est de définir un niveau pertinent de confort acoustique dans les conditions rencontrées dans les DOM et compatible avec l'exigence minimale de ventilation naturelle du projet de réglementation thermique.

Pour les **bruits aériens**, le projet d'adaptation réglementaire porte sur :

- le mode d'expression : les normes de mesures pour contrôler les performances acoustiques globales entre logements ne peuvent être utilisées dans des logements fonctionnant fenêtres ouvertes. Le projet d'adaptation traduit ces dispositions **en performance minimale des éléments de construction** (les murs, les planchers, les équipements),
- les niveaux : en prenant en compte les pratiques constructives et les modes de vie

Pour les **bruits d'impact**, l'objectif de confort est le respect à terme du **niveau « métropole »**. Cette première étape réglementaire vise à autoriser des solutions moins performantes temporairement afin d'atteindre l'objectif par des sauts techniques et économiques successifs tout en prenant en compte les effets dus aux risques cycloniques (pénétration d'eau) et les taux d'humidité (mise en oeuvre de revêtements de sol lessivables).

Propositions de dispositifs réglementaires

Protection contre les bruits intérieurs au bâtiment

Dispositions relatives aux bruits aériens et aux bruits d'impact

Les performances acoustiques des parois verticales séparatives séparant les logements sont exprimées par, soit une masse surfacique m en kg/m^2 qui dépend des matériaux, soit l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré $R_w + C$ en décibel.

Le tableau suivant reprend les seuils réglementaires fixés selon le type de parois verticales séparatives :

Caractéristiques des parois	Masse surfacique (en kg/m^2)		$R_w + C$ (en décibel)
	d'un mur simple : m_{simple}	de chaque paroi d'un mur double : $m_{\text{composé}}$	
Entre logements différents	350	200	54
Entre une circulation intérieure et une pièce principale (ou cuisine et salle d'eau)	350	200	54
Entre les pièces principales et un local d'activité ou une dépendance d'un autre logement	400	200	57

Dans le cas de parois verticales séparatives répondant aux exigences de masse surfacique, les parois horizontales séparatives doivent répondre à l'une des dispositions suivantes :

- une masse surfacique $m \geq 450 \text{ kg/m}^2$
- une masse surfacique $m \geq 400 \text{ kg/m}^2$ et une réduction du niveau de bruit de choc pondéré $L_w > 9 \text{ dB}$ apporté par un revêtement de sol (cas particulier aux parois horizontales entre deux logements différents)
- une constitution d'éléments (dont revêtements) susceptibles de générer un isolement aux bruits aériens et une réduction du niveau de bruit de choc pondéré au moins équivalent aux dispositions précédentes

Les transmissions acoustiques d'un logement se font préférentiellement par les baies ouvertes des pièces principales en fonctionnement normal. La réglementation acoustique propose donc des règles de **distance** entre ces baies définie comme la plus courte longueur reliant les bords des ouvertures en contournant les obstacles :

- **1,50m** horizontalement et **1,20m** verticalement pour des baies situées dans un même plan
- **5m** pour des baies situées sur des façades différentes avec vision de l'une sur l'autre.

Pour les logements climatisés, les parties ouvrantes doivent présenter un indice d'affaiblissement acoustique pondéré $R_w + C \geq 30 \text{ dB}$.

Les circulations verticales doivent être désolidarisées des parois séparatives des logements sauf si la **masse surfacique** est :

- $m_{\text{composé}} \geq 200 \text{ kg/m}^2$ pour chacune des deux parois séparées par un joint de dilatation dans le cas des circulations internes aux logements,
- $m \geq 450 \text{ kg/m}^2$ pour les parois des logements dans le cas des circulations verticales communes.

Dispositions relatives aux bruits d'équipements et des réseaux d'eaux

Les exigences réglementaires définissent les niveaux de pression acoustique standardisés (L_{nAT}) du bruit engendré par les équipements pour les conditions normales de fonctionnement. Ces niveaux ne doivent pas dépasser les seuils suivants :

	Dans les pièces principales du logement	Dans la cuisine du logement
Appareil individuel de chauffage	35 dB(A) ou 40 dB(A) lorsque la cuisine est ouverte sur une pièce principale	50 dB(A)
Appareil individuel de climatisation		
Ventilation mécanique en position de débit minimal	30 dB(A)	35 dB(A)
Équipement individuel d'un logement différent		
Équipement collectif du bâtiment (ascenseur, chaufferie, supprimeur d'eau, vide-ordures)		

Les blocs de climatisation et les brasseurs d'air doivent être désolidarisés de la structure.

La réglementation interdit le passage des réseaux d'évacuation des eaux pluviales et vannes dans les pièces principales et les cuisines.

Le passage du réseau d'évacuation d'eaux usées est interdit dans les pièces principales. Lorsque la cuisine est ouverte sur une pièce principale, ce réseau doit être situé dans un gaine dont les parois en contact avec la pièce ont un indice d'affaiblissement acoustique $R_w + C > 30 \text{ dB(A)}$ ou une masse surfacique de $m > 40 \text{ kg/m}^2$.

Isolement acoustique minimal contre les bruits extérieurs

Dispositions relatives aux bruits des transports terrestres

Les exigences réglementaires visent à permettre la ventilation naturelle des logements dans les zones peu bruyante et imposent un isolement de façade au voisinage des infrastructures routières les plus circulées.

Le classement des infrastructures est maintenu. L'isolement requis des pièces principales et des cuisines est déterminé de manière forfaitaire selon la catégorie des voies. Afin de favoriser les conceptions en ventilation naturelle, Le principe général d'isolement minimal de façade de 30 dB n'est pas imposé dans les « zones calmes » et pour les infrastructures de catégories 4 et 5.

Pour les infrastructures de catégorie 1, 2 et 3, les isollements acoustiques minimum seront limités à 35dB. Les tableaux suivants donnent la valeur minimale en décibel de **l'isolement standardisé pondéré pour un bruit de trafic $D_{nT,A,tr}$** dans les situations de rue en U et de tissu ouvert :

1° Situations de rues en U :

Catégorie	Isolement standardisé minimal
1	45dB
2	42 dB
3	38 dB

Ces valeurs peuvent être diminuées en effectuant un décalage :

- d'une classe d'isolement pour les façades latérales
- de deux classes d'isolement pour les façades arrières.

2° Situation de tissu ouvert

Distance (en m)		10	15	20	25	30	40	50	65	80	100	125	160	200
Catégorie	1	45	45	44	43	42	41	40	39	38	37	36	35	-
	2	42	42	41	40	39	38	37	36	35	-	-	-	-
	3	38	38	37	36	35	-	-	-	-	-	-	-	-

Ces valeurs peuvent être diminuées selon l'orientation des façades tel que :

Orientation des façades			Correction
Façade en vue directe			Pas de correction
Façade protégée par des bâtiments		partiellement	- 3 dB
		presque complète	- 6 dB
Façade masquée par un écran	de hauteur entre 2 et 4m	à une distance < 150m	- 6 dB
		à une distance > 150m	- 3 dB
	de hauteur > 4m	à une distance < 150m	- 9 dB
		à une distance > 150m	- 6 dB
Façade en vue indirecte		latérale	- 3 dB
		arrière	- 9 dB

Dispositions relatives aux bruits autour des aérodromes

L'obligation d'isolation acoustique des pièces principales et des cuisines est exceptionnellement admise dans les zones exposées au bruit des aérodromes. Ces dispositions ne concernent pas le Centre Spatial de Guyane qui relève des ICPE.

- **Les impacts des nouvelles mesures.**

En matière de performance énergétique, ces nouvelles dispositions permettent de freiner le développement démesuré des équipements de climatisation pour une large part responsables de la très forte augmentation des consommations énergétiques de ces départements. Le contexte énergétique des DOM fait que chaque nouvelle économie d'énergie se traduit directement par une réduction de CO₂ émis.

Ces règles donnent aux occupants de tout nouveau logement un confort thermique satisfaisant sans recours à la climatisation et en adéquation avec les modes de vie locaux. Parallèlement elles garantissent aux occupants un confort acoustique cohérent avec les exigences en thermique.

Ces premiers niveaux réglementaires de confort dans les DOM sont appelés à progresser au regard des besoins locaux et du contexte économique local du monde de la construction.

L'impact économique de ce premier volet réglementaire, compte tenu des modes constructifs dans chaque département, est estimé entre 1,6 et 4 % du coût des travaux pour les exigences en matière de thermique et d'aération et entre 1,5 et 2,4 % du coût des travaux en matière d'acoustique, et pour l'ensemble des 2 réglementations à des surcoûts de 3,5 à 5 % (en effet, à titre d'exemple les Antilles sont pénalisées en acoustique et peu en thermique, c'est le contraire pour la Réunion).

.I.3. La qualité environnementale dans la réhabilitation

.I.3.1. SIKODOM : référentiel pour la réhabilitation des bâtiments scolaires

La démarche s'appuie sur un constat démographique et énergétique qui touche le secteur de l'enseignement en Guyane. La population croissante de jeune et en partie non scolarisé nécessite la construction de nombreux établissements. De plus, les consommations liées aux établissements actuels représentent en moyenne le quart des consommations électriques totales d'une commune. Ce constat implique une prise de décisions rapide des collectivités et des délais de constructions réduits.



Dans le cadre de sa politique de maîtrise des énergies, l'ADEME Guyane a décidé de réaliser un guide d'assistance à maîtrise d'ouvrage pour la construction et la réhabilitation des établissements scolaires : le guide SIKODOM. En raison de l'inexistence de référentiel pour la réhabilitation, l'ADEME Guyane a entrepris une étude pour établir une méthodologie applicable au secteur scolaire.

La démarche SIKODOM s'appuie sur les grands principes de la démarche HQE®. Le travail a été guidé par la croisée de la formalisation des thématiques abordées par la HQE® et de la réalité du terrain. L'objectif est de suggérer un renouvellement des pratiques par une approche globale sur le bâtiment et son environnement, le confort et les coûts.

Ainsi, l'étude s'est déroulée en deux étapes. A partir d'un diagnostic environnemental d'un échantillonnage représentatif d'établissements scolaires, la grille de synthèse réalisée définit les champs d'interventions et leurs traductions en indicateurs.

L'extrapolation de l'ensemble de ces champs d'intervention et la prise en compte des aspects comportementaux a permis l'élaboration d'une méthodologie environnementale et d'une grille référentielle SIKODOM pour la réhabilitation de bâtiments scolaires. La méthodologie environnementale organisée sous forme de tableau de bord permet de mobiliser l'ensemble des acteurs et d'assurer le suivi de l'opération dans le temps. La grille référentielle, quant à elle, permet de prendre en compte la qualité environnementale dans les opérations de réhabilitation.

• La grille SIKODOM

La grille « Référentiel SIKODOM » est le point de départ de l'application de la méthodologie environnementale. L'outil est décliné en cinq thématiques, chacune correspondant à une grille d'évaluation : « site », « confort », « flux », « éco construction » et « santé et sécurité ». Elles sont accompagnées de « fiches objectifs » qui déclinent pour chaque rubrique les pathologies récurrentes et enjeux, les exigences minimales ainsi que les problèmes courants et des pistes de solutions.

Construite à destination de la maîtrise d'ouvrage ou d'un auditeur externe, chaque grille comporte les indicateurs les plus pertinents possible pour mesurer la qualité environnementale globale d'un bâtiment sans besoin de faire appel à une mesure ou une simulation. Leur organisation sous forme de tableau permet d'évaluer pour chaque indicateur de critère et sous critère :

- le niveau atteint,
- l'état initial et les contraintes particulières
- le potentiel d'amélioration et les propositions d'intervention
- l'ordre de priorité de l'intervention
- la source de l'information

L'outil propose également une grille de synthèse en coût global afin de mesurer et comparer certains choix en fonction de leur coût global à long terme. Elle introduit alors les coûts d'entretien et de fonctionnement et prévoit les impacts sur le budget et les dotations

La structure du référentiel permet alors son utilisation comme outil de diagnostic de la qualité environnementale d'un bâtiment, comme outil d'aide à la programmation en pointant les thématiques nécessitant une amélioration et comme outil d'aide à la décision en quantifiant la marge d'amélioration et en justifiant les gains sociaux, environnementaux et économiques de chaque intervention.

• **Les indicateurs d'évaluations du Référentiel SIKODOM »**

Le tableau suivant présente, de manière non exhaustive, des indicateurs techniques et comportementaux permettant d'évaluer la qualité environnementale des établissements scolaires selon les thématiques, critère et sous critères. L'objectif de ce tableau est de démontrer l'accessibilité des sources pour le renseignement des indicateurs : par des **enquêtes**, des **statistiques** (base de données, informations constructeurs, ...) ou de rapides **études du site** (constat, calcul simple).

		CRITERE	SOUS CRITERE	INDICATEURS
SITE	Atout et contrainte	Eléments climatiques	Course solaire / Vent	Orientation
			Pluie	Protection des façades et des accès
		Intégration	Contraintes acoustiques	Voies / Sources particulières
			Vues	Vues remarquables / Nuisances
			Ressources locales	Import/export terrain, remblai
	Besoin	Densité		Appréciation globale
		Effectif par classe		Nb élève par classe
		Bâtiment		Manque de locaux
		PMR	Facilités	Critères réglementaires
CONFORT	Hygro-thermique	Confort extérieur	Nature des espaces	Minéralisation / albédo
			Végétalisation (périphérie)	% de superficie
			Ombrages	Façades Est et Ouest / Cours de récréation
			Circulations	Protection solaire
		Confort des ambiances	Toiture	Couleur / Double toiture / Isolation
			Protection solaire	Est / Ouest / Nord / Sud
			Ventilation traversante	Potentiel et contraintes du site / traversant / porosité
	Acoustique	Volet comportement (perturbation)		passage des élèves / ext.
		Volet technique	Bruits de la pluie	Bruit d'impact
			Isolément acoustique	Voies de circulation / Installations sportives / Ateliers
			Conception acoustique	Plan masse / Locaux (emplacement et conception)
			Isolément intérieur vert.	Entre classes / Entre classes et bureaux / agencement int.
			Isolément intérieur horiz.	Type de plancher / Revêtement de sol
			Correction acoustique	Cantines / Classes / Parties communes
			Eblouissement	Gêne (rayonnement rasant Est/Ouest) / Occultation
	Visuel	Qualité des vues	Vues	Qualités des vues
			Lumière naturelle	Dble exposition / Facteur jour mesuré
	Olfactif	Volet comportement (nuisances)		Densité d'occupation / Sources particulières
		Volet technique	Qualité de la ventilation	Ventilation locaux climatisés / Toilettes
			Nuisance olfactive	Positionnement local déchet

		CRITERE	SOUS CRITERE	INDICATEURS
FLUX	Généralités	Puiss. élec. globale	Puiss. souscrite et relative Dépassement / Tarif	Analyse facture
		Conso. élec.	Consommation	kWh / élève
			Sous comptage	Eclairage, bureaux, ...
	Clim et Ventilation	Ventilation naturelle	Conception thermique	cf CONFORT
			Brasseur d'air	Type d'appareil / Positionnement / Gestion
			Pénétration de la clim.	Nature des locaux
		Locaux climatisés	Conception thermique	Orientations / vitrages (N,E,S,O) / Fts (murs/toitures)
			Etanchéité des locaux	Classe des menuiseries / Contact feuillure
			Confort	Implantation des unités intérieures / Acoustique
			Equipements	Centralisé / Split / Ventilconvecteurs / Autres
	Eclairage	Naturel	Classes / Bureaux	Taux autonomie
			Sanitaires / Circulations	Naturellement éclairé(s)
		Artificiel	Performances lumineuses / Gestion éclairage	Bureaux / Classes / Autres
			Espaces extérieurs	Protection / implantation (solidité) / type de luminaire / gestion (interrupteur, crépuscule)
		Appareils et équipements	ECS	Conso. par élève / Energie utilisée / possibilité ENR
			Equipement divers	Performances (ordinateur, écran, photocopieuses) / Veilles
			Cuisine	gaz ou électrique
	Eaux	Cycle de l'eau	Eau potable	Consommation (m³/an/élève) / fuites (fréquences, coûts) / régulation de la pression / équipement économes
			Eau de pluie	Potentiel de récupération
			Imperméabilisation	Eaux stagnantes, boues / traitement des eaux de ruissellement pollués (parking, ...) / Evacuation des EP
			Réseaux	Evacuation des eaux usées / Assainissement collectif
		Déchets	Collecte externe	Niveau de tri / point de collecte volontaire
			Collecte interne	%de déchets triés / tri à la source / circuit de collecte / dimensionnement des locaux poubelles
	Entretien / Maintenance	Bâtiment	Toit	Pente (champignons) / accessibilité nettoyage
			Vitrages	Facilité d'accès nettoyage
			Murs	Propreté des façades / fréquence de peinture
		Equipements	Exposition	Aux intempéries des unités extérieures
			Intégration de UE	Cf. charte Opticlim
			Toilettes / Climatisation / VMC / Brasseur d'air	Etat
			Relamping	accès / type source lumineuse / durée de vie
			Réseau électrique	Fréquence des pannes
		Espaces extérieurs	Types de revêtements	Minéral (albédo), gazon, arbustes, arbres à hautes tiges
			Cours et espace de jeux	Etat
			Végétaux	Coût de la végétalisation
	Eco-CONSTRUCTION	Durabilité des matériaux	Tenue dans le temps	Toiture / Autres matériaux / rouille et corrosion
			Quantité de bois	Volume de bois par m²
			Matériaux locaux	Filière > 50 (%) ?
			Savoirs faire locaux	-
		Architecture	Image, beauté et matière	Enquête usagers
SANTÉ / SECURITE	Sécurité	Sécurité	Vision d'ensemble	Facilité à surveiller l'ensemble de l'établissement
			Convivialité	Espace réservée aux élèves
			Chutes	Risques et fréquences
			Accès / déplacements	Facilité de dépose et reprise des enfants / place de parking
		Volet comportemental	Vols / violence	Fréquences
	Santé	Fonctionnement bâtiment	Accès pompier	Facilité
			Livraisons	Séparation des flux
			Evacuation / surveillance	-
		Qualité d'air	VMC	Présence ou non (zone non climatisée)
			Matériaux	Niveau de COV, fibres
		Conditions sanitaires	Hygiène (WC, poubelles)	-
			Moustiques	Enquêtes
			Faunes	Nombre de signalement

Au cours de la démarche d'évaluation, le niveau de chacun des critères sera ensuite défini comme « bon », « moyen » ou « mauvais » et servira ainsi de point de départ à la hiérarchisation et à la programmation des interventions.

- **Le potentiel d'exportation**

La grille « Référentiel SIKODOM » concerne le domaine de réhabilitation d'établissement scolaire. Dès son lancement, la démarche d'élaboration de l'outil se préoccupe de la réalisation d'une méthodologie environnementale de la réhabilitation et de la construction des établissements scolaires. Les fiches objectifs peuvent notamment servir de point de départ à la conception du bâtiment : la prise en compte des « enjeux » et « objectifs » en amont afin de se prémunir des « pathologies récurrentes ». De nombreux indicateurs présents dans les 5 grilles thématiques permettent également d'évaluer rapidement et efficacement les choix de conception au cours des différentes phases du projet.

L'outil SIKODOM est également le premier guide de réhabilitation dans les DOM. Il peut ainsi constituer un point de départ pour un projet de réhabilitation de bâtiment tertiaire.

.I.4. Qualité environnementale pour le neuf

.I.4.1. La Qualité Environnementale Amazonienne QEA

La prise en compte des contextes climatologiques, socio-économique et énergétiques de la Guyane a mis en évidence la part importante de la construction qui reste un des secteurs les plus importants consommateurs d'eau, de matières premières et d'énergie et productrice de déchets. Le secteur tertiaire y joue un rôle certain. A Cayenne, de nombreux mouvements de réaffectations entre logement et bureaux et un phénomène important d'indivision sont observés. L'électricité, une des grandes problématiques de la Guyane, est le vecteur énergétique principal et presque exclusif dans le tertiaire.

Dans le cadre de sa politique sur la maîtrise des consommations d'électricité, l'ADEME a donc décidé de réaliser un guide de Qualité Environnementale Amazonienne (QEA), afin d'aider les Maîtres d'Ouvrages du secteur tertiaire, dans leur démarche de construction environnementale pour des bâtiments neufs.

La démarche QEA s'appuie sur les grands principes de la démarche HQE®. Le travail a été guidé par la croisée de la formalisation des thématiques abordées par la HQE® au niveau national et de la réalité du terrain amazonien. Cette démarche et le guide en cours d'élaboration rejoignent la grille SIKODOM et la « boîte à outils conceptuels » souhaitée par l'ADEME. L'objectif affiché de ce guide est de mettre à disposition une démarche adaptée au contexte guyanais qui aide les Maîtres d'Ouvrages à définir et à hiérarchiser les différentes thématiques environnementales de leur projet.

Le guide a ainsi une dimension méthodologique. Il ne donne pas de réponses de qualité environnementale des bâtiments mais propose un processus de questionnement et une orientation de la réflexion des équipes de conception suivant une trame conforme aux attentes du commanditaire. L'élaboration d'un cahier environnemental permet d'impliquer les différents participants dans cette démarche partenariale.

• Le guide QEA

Le guide QEA constitue un fil conducteur du volet environnemental d'un projet architectural. La démarche est basée sur un ensemble de cibles d'application, réunies en cinq familles thématiques : « Relation du bâtiment avec son environnement », « Confort », « Gestion des flux », « Eco-construction » et « Santé ». Le guide fournit également des fiches « outils » pour accompagner les choix des Maîtres d'Ouvrage : des fiches argumentaires sur les questions clés de chaleur et d'humidité (climatisation naturelle ou artificielle, individuel ou collectif et les équipements) et des fiches techniques qui suivent les thématiques et présente quelques solutions techniques pour optimiser les cibles définies par la grille.

Construit pour guider la Maîtrise d'Ouvrage dans la traduction des objectifs environnementaux, le guide permet également leur formulation en termes d'exigences. La description de ces objectifs thématiques et de leurs enjeux contextuels permet ainsi de définir un niveau de traitement pour chaque cible tout en prenant en compte leur interrelation dans un souci de cohérence d'ensemble. La détermination du niveau de traitement « normal », « performant » ou « très performant » favorise la hiérarchisation des préoccupations sous forme de grille.

La grille exigentielle dresse alors pour chaque thématiques et sous thèmes, la liste des points sur lesquels le Maître d'Ouvrage doit orienter sa réflexion afin d'exprimer les exigences du programme ainsi que les indicateurs et argumentaires pour évaluer les réponses des équipes de conceptions. Ainsi le Maître d'ouvrage fixe également le niveau d'engagement qu'il souhaite donner au projet.

• L'élaboration des exigences de performances.

Afin de visualiser l'ensemble des exigences et l'objectif de cette démarche globale, le tableau suivant présente les thématiques et sous thématiques de la grille exigentielle développée dans le guide QEA. Chaque point est alors développé avec les éléments nécessitant l'attention du maître d'ouvrage et les indicateurs d'évaluation des réponses. Cette grille permet au Maître d'Ouvrage d'exposer les exigences qualitatives et/ou quantitatives ainsi que les documents nécessaires à la justifications des choix et réponses.

Thématiques		Sous thèmes	MO Eléments ayant un fort impact environnemental	MOE - Quantifier les exigences - Justifier les réponses
Relation du bâtiment avec son environnement		Aménager dans l'optique d'un DD		
		Créer un cadre de vie extérieur agréable		
		Limiter les impacts de l'ouvrage sur le voisinage		
Confort	Thermique	Gestion des éléments naturels et des contraintes du site		
		Ombrages : principes généraux et valorisation des atouts du site		
		Protection solaire		
	(spécificités pour locaux climatisés naturellement)	Ventilation traversante		
		Inertie thermique		
		Confort hygrothermique global		
	(spécificités pour locaux climatisés)	Confort hygrométrique local (pour chaque espace ou zone)		
		Aménagement des zones		
	(Confort dans les espaces extérieurs immédiats)	Protection solaire		
		Ventilation		
		Disponibilité de la lumière naturelle		
	Visuel	Niveau d'éclairement et d'autonomie optimisés		
		Vues sur l'extérieur		
		Uniformité & Eblouissement		
	(Eclairage artificiel)	Concevoir l'éclairage artificiel comme complément à l'éclairage naturel		
		Niveau d'éclairement optimal		
		Eblouissement		
		Uniformité de l'éclairage		
		Qualité de la lumière		
		Eclairage extérieur		
	Acoustique	Dispositions architecturales pour réduire les contraintes dues aux sources extérieures de bruit		
		Dispositions des locaux		
		Isolements vis-à-vis des bruits extérieurs		
		Isolement vis-à-vis des bruits aériens en provenance d'autres locaux		
		Traitement acoustique des locaux		
		Bruits de chocs		
	aspects spécifiques des équipements de climatisation	Equipements de climatisation		
		Installations de climatisation individuelle		
		Installations de climatisations centralisées		
	Olfactif	Traité avec la qualité de l'air		
Flux	Energie	Raîchissement (création d'ambiances confortables)		
		Eclairage		
		Eau chaude Sanitaire (ECS)		
		Autres usages énergétiques		
		Utilisation de systèmes de production d'énergies renouvelables		
	Eau	Démarche détaillée		
	Déchets	Démarche détaillée		
	Entretien / Maintenance	Démarche détaillée		
Eco-construction	Matériaux	Evolution de l'ouvrage sur sa durée de vie		
		Adaptabilité		
		Impact environnemental		
		Transports		
	Chantier	Optimisation de la gestion des déchets de chantier		
		Réduction des nuisances, pollutions et consommations de ressources engendrées par le chantier		
		Bilan de chantier		
Santé	Qualité de l'eau et de l'air	Contrôle de la qualité de l'air neuf, ventilation et perméabilité de l'enveloppe		
		Contrôle de la qualité de l'air ambiant		
		Contrôle de la qualité de l'eau		
	Conditions sanitaires	Prévention des moisissures		
		Prévention des nuisibles		
		Hygiène des locaux sanitaires		

Le tableau suivant présente les problématiques environnementales avec lesquelles chaque thématiques et sous thèmes interfèrent. Il permet d'apporter une première direction pour la définition du niveau de traitement de chaque cible. Ce niveau de traitement dépendra ensuite du contexte, des objectifs programmatiques et/ou de l'engagement du Maître d'Ouvrage.

		Préserver les ressources				Réduire les pollutions			Réduire	Réduire les nuisances		Améliorer	
		Energie	Matière	Eau	Biodiversité	Air	Eau	Sols	Déchets	Bruits	Odeurs	Confort	Santé
Relation du bâtiment avec son environnement													
Confort	Thermique												
	Visuel												
	Acoustique												
	Olfactif												
Flux	Energie												
	Eau												
	Déchets												
	Entretien / Maintenance												
Eco-construction	Matériaux												
	Chantier												
Santé	Qualité eau												
	Qualité air												
	Conditions sanitaires												

• Le potentiel d'adaptation du guide QEA

Les caractéristiques climatiques de la Guyane étant celles du climat équatorial, le guide QEA présente une possibilité de transposition aux territoires en climat amazonien. C'est dans cet objectif que la démarche de QEA (Qualité Environnementale Amazonienne) a été élaborée

1.4.2. Approche française de la HQE® en CHINE : Le guide « Projet architectural et urbain durable ».

Sous la direction de Serge SALAT, éditions du CSTB, juin 2006

- **Le contexte de la Chine**

Géographie, climat et environnement

La Chine couvre un territoire de 9.6 millions de km² marqué par une opposition entre, d'une part, l'ouest et le nord formés de hautes terres continentales montagneuses, de déserts et de forêts, et d'autre part l'est et le sud plus humides et parsemés de collines, de plaines fertiles et de cours d'eau.

Avec plus de 80% des terres à une altitude supérieure à 500 m, ce pays montagneux est caractérisé par un relief divisé en trois paliers :

- le premier, « le toit du monde », est le plateau du Qinghai-Tibet, formé de hautes plaines et des chaînes de montagnes de 5000 à 6000 m d'altitude en moyenne.
- le second palier, à une altitude moyenne de 1500 m, est formé par les plateaux de Mongolie intérieure, du Yunnan-Guizhou et le plateau du haut fleuve Jaune, ainsi que les bassins du Tarim et du Sichuan.
- le troisième palier s'étend jusqu'à la mer par des collines ou montagnes peu élevées, la plaine du Nord, la plaine du cours moyen et bas du fleuve Yang-Tsé-Kiang, et toute la côte.



De part sa superficie et son relief, la Chine offre une large diversité de climats et subit l'influence de presque tous (sauf le climat sibérien), du plus torride au plus glacial. Dans l'ensemble, le nord est plutôt sec et venteux, tandis que le sud de la Chine est chaud et humide.

Les régions arides du nord-ouest (Mongolie intérieure et Xinjiang) subissent de grands écarts de température, avec des étés caniculaires et secs, et des hivers froids et très secs. Au nord-est les étés sont brefs et frais et les hivers longs et rudes. A Pékin (Beijing) par exemple, la température dépasse rarement 0°C en hiver et peut atteindre 40°C en été (ou plus dans le nord-ouest). Dans le centre agricole, le long du fleuve Yang-Tsé-Kiang, les étés sont toujours chauds et très pluvieux. Le climat de la Chine du Sud est de type subtropical, avec des hivers doux et humides, et avec des étés chauds et pluvieux. L'extrême frange sud du Yunnan, du Guangxi et du Guangdong et l'île de Hainan jouissent d'un climat tropical. Le long des régions côtières de l'est, le climat océanique domine. La mousson arrose toute la Chine orientale et centrale en remontant du sud au nord pendant la saison chaude.

Le territoire de la Chine abrite sur ces vastes espaces aux climats diversifiés une grande variété d'espèces végétales (32000 sortes de plantes et fleurs et près de 3000 essences d'arbres) et d'espèces animales (15% des espèces mondiales connues). Cependant, hormis quelques zones sauvages bien préservées, la croissance industrielle importante, le doublement de la population en 50ans et une mauvaise gestion des ressources naturelles ont causés une dégradation massive de l'environnement. La Chine comptabilise ainsi près de 25% des espèces animales en voie d'extinction. De plus, la moitié des forêts a été abattue depuis les années 1950 et 93 % de celles qui restent sont menacées de pollution ou de destruction.

Des régions urbaines face aux problématiques environnementales

Depuis les années 1980, le secteur de la construction est en plein essor dans les grandes villes chinoises. Cette croissance rapide accompagnant le développement économique s'est étendue depuis la zone côtière à l'est, à la région centrale puis occidentale. Or, comme dans les principaux pays développés, elle mène à des dommages environnementaux sérieux.

Les principaux problèmes environnementaux des régions urbaines de la Chine sont :

- la consommation excessive des ressources
- la pollution atmosphérique accrue (chauffage au charbon)
- l'augmentation des températures des villes et le phénomène d'îlot de la chaleur
- la pollution acoustique par les routes géantes
- la gestion de déchets solides

La problématique des ressources est la première préoccupation de la Chine. En effet, les régions urbaines de la Chine sont marquées par un manque d'espace (de terre) et d'eau ainsi qu'une consommation importante des ressources à l'origine d'une empreinte écologique importante des villes.

L'accélération de la désertification des régions du Nord-Est avec le doublement de l'avancée annuelle entre 1970 et 1990 ainsi que la diminution de la productivité des terres cultivables (30% sont touchées par l'érosion, 60% sans accès à l'irrigation et 80% classées comme ayant une faible productivité) sont à l'origine d'un exode de la population des régions rurales vers les villes.

La quantité d'eau par personne est inférieure d'un quart à la moyenne mondiale. Plus de 60% des villes (420 sur 660) souffrent du manque d'eau et le ministère chinois de l'eau a identifié 110 villes (dont Pékin) ayant « un problème sérieux ».

La consommation excessive de ressources dans les villes est clairement visible par le calcul de l'empreinte écologique des villes. Alors que l'on considère que les ressources mondiales représentent 1,5ha de terre et 0,5ha d'océan par habitant, l'empreinte écologique des citoyens chinois varie, en moyenne, entre 1ha et 5 à 6ha et peut atteindre 10ha pour les habitants de Pékin et de Shanghai.

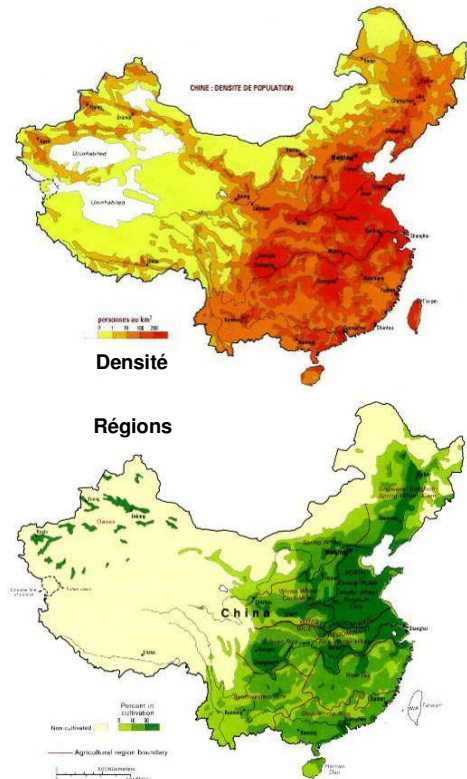
L'exode rural le plus important qu'ait connu la Chine et l'urbanisation de cette population ont impacté certains sur l'environnement. En effet, cinq des dix villes les plus polluées au monde sont en Chine. De plus, quatre des sept plus grands bassins des fleuves chinois sont contaminés et un tiers du territoire est touché par les pluies acides qui affectent également les cultures de la Corée du Sud et du Japon. En raison de la construction de nouvelles villes le long de larges autoroutes, les prévisions estiment que le nombre de propriétaire de véhicule individuel augmentera de 1.8 millions, actuellement, à 20 millions pour 2010.

• La contribution française pour une nouvelle approche de la construction en Chine.

Le secteur de la construction : un enjeu environnemental et énergétique pour la Chine

En raison de l'inertie du secteur de la construction et de son faible taux de renouvellement, la Chine devra construire 30 milliards de m² de logement au cours des 15 années à venir, l'équivalent de la surface urbanisée des 25 pays de l'Europe. A l'horizon 2050, le parc de logement deviendra obsolète et imposera son renouvellement. En plus de ralentir le développement de la Chine, l'inefficacité énergétique du secteur du logement et de la construction aura des conséquences sur l'environnement. En effet, le secteur de la construction est un grand consommateur énergétique (directement pour le chauffage et la climatisation et indirectement pour la production des matériaux de construction). Il contribue également à l'épuisement des ressources naturelles (énergie, eau potable, matériaux, sol), à l'augmentation des émissions de gaz à effets de serre et à la mauvaise qualité de l'air intérieur.

Les services publics chinois se rendent compte de l'impact de la construction sur l'environnement et sur l'avenir énergétique de la Chine et sont disposés à favoriser le développement durable dans ce secteur.



Un programme français d'étude pour la construction de logement durable en Chine

Sur la demande du Ministère de la construction de la République Populaire de Chine le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) a lancé le 1^{er} septembre 2004 un programme d'étude pour la construction de logement durable en Chine avec l'assistance du bureau d'étude Li Consulting. Le programme d'étude a été financé par les fonds du FASEP (Fond d'Aide au SEcteur Privé géré par le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie, MINEFI) et de partenaires industriels et institutionnels associés. Le programme a obtenu également le soutien du département économique de l'ambassade de France à Pékin.

En 2005, le CSTB a achevé la rédaction du guide « Projet architectural et urbain durable pour la Chine ». Dirigé par Serge SALAT (DRAST, CSTB), ce guide a fait intervenir une dizaine d'ingénieurs du CSTB, d'architectes de l'agence française d'architecture et d'urbanisme ARTE Charpentier, d'urbanistes et du bureau d'études français SYNAPSE. Cette association avec de nombreux secteurs impliqué dans le processus de constructions (services publics, développeurs, architectes, urbanistes, ingénieurs, fabricants) vise la recherche d'un équilibre entre :

- qualité environnementale et efficacité énergétique du logement
- contraintes budgétaires
- contraintes de statut imposées par les services publics
- préoccupations des architectes urbains
- les attentes des occupants (confort, santé et services)

Le guide « Projet architectural et urbain durable pour la Chine »

A l'origine, l'objectif de ce programme était de présenter les approches françaises et européennes de la conception durable et de transférer ces approches sur le marché chinois grâce à l'expertise et les produits européens. Cependant, ce guide se place dans un contexte chinois caractérisé par :

- des travaux de constructions à très grande échelle
- une croissance rapide et à grande échelle du tissu urbain
- la création ex nihilo de nouvelles villes ou de nouveaux quartiers pouvant atteindre la taille d'une ville moyenne en France.

Ce guide a donc été enrichi pour incorporer une approche plus large et offrir une démarche intégrant toutes les échelles du projet, de la mégalopole au choix des systèmes du bâtiment.

La démarche intègre également toutes les approches sectorielles (écologie, transport et mobilité, architecture bioclimatique, énergies renouvelables, conception de l'enveloppe,...) à partir de 12 enjeux majeurs (tableau ci-contre) et de 50 stratégies de conception afin d'optimiser le projet à toutes les échelles.

Afin de garantir une gestion environnementale du projet, cette démarche intègre une méthodologie d'évaluation permettant de mesurer les effets ou les impacts environnementaux potentiels induits par l'ouvrage.

LES 12 ENJEUX DE LA CONCEPTION DURABLE		
DURABILITÉ URBAINE	1	Croissance urbaine durable
	2	Équilibre écologique, confort et santé des espaces extérieurs
	3	Qualité sociale des quartiers
INCIDENCES SUR L'ENVIRONNEMENT	4	Efficacité énergétique
	5	Gestion de l'eau
	6	Conservation de l'environnement et des ressources
CONFORT	7	Confort thermique
	8	Confort visuel
	9	Confort acoustique
SANTÉ	10	Conditions sanitaires des espaces
	11	Qualité de l'air
	12	Qualité sanitaire de l'eau

Cet ouvrage a également pour objectif de favoriser de nouveaux axes de coopérations entre la France et la Chine dans le secteur du bâtiment ainsi que de permettre aux partenaires industriels et institutionnels de présenter leurs produits, systèmes ou services disponibles sur le marché chinois.

Les stratégies de conception

Le tableau suivant présente de manière synthétique les 50 stratégies de conception autour desquelles se construit le démarche de conception architecturale et urbaine durable développé dans le guide. Ces stratégies permettent de suivre une méthodologie progressive de la ville aux systèmes du bâtiment pour une conception durable en Chine.

THEMATIQUES	STRATEGIES	
Ville durable	1	Comment projeter la ville ?
	2	Concevoir la ville durable
	3	Réinventer le quartier
	4	Améliorer le microclimat et la qualité de l'air en ville
Choix et analyse de site	5	Choix du site
	6	Analyse de site
Planification urbaine	7	Comment ordonner les formes bâties et non bâties ?
	8	Concevoir des espaces extérieurs positifs
	9	Planifier et concevoir des espaces en mouvement
	10	Assurer l'accès au soleil des bâtiments
	11	Assurer l'accès à la lumière naturelle
	12	Améliorer le confort d'été dans les espaces extérieurs
	13	Améliorer le confort d'hiver dans les espaces extérieurs
	14	Améliorer la qualité acoustique dans les espaces extérieurs
Paysage durable	15	Concevoir des espaces verts durables
	16	Gestion environnementale du cycle de l'eau
	17	Concevoir des espaces aquatiques durables
Bâtiment bioclimatique	18	Projeter et concevoir des bâtiments bioclimatiques
	19	Conception solaire passive
	20	Ventilation naturelle
	21	Refroidissement passif
	22	Tour bioclimatique
Nouveaux systèmes et nouvelles énergies	23	Bâtiment bioclimatique intelligent
	24	Choisir les énergies renouvelables
	25	Géothermie
	26	Systèmes solaires thermiques
	27	Systèmes photovoltaïques
	28	Bâtiment basse- et zéro-énergie
	29	Zones basse- et zéro-énergie
Organisation intérieure	30	Comment associer la complexité et la rationalité dans l'organisation interne ?
	31	Concevoir un logement adaptable et approprié
	32	Améliorer le confort acoustique intérieur
	33	Créer des espaces extérieurs privés dans les constructions
Enveloppe	34	Enveloppe multifonctionnelle active
	35	Optimiser l'enveloppe pour la lumière du jour
	36	Parois opaques isolées
	37	Performance énergétique des éléments transparents
	38	Façade double peau
Equipements mécaniques énergétiquement efficaces	39	Systèmes mécaniques de chauffage
	40	Solutions soutenables avec le gaz naturel
	41	Equipement de ventilation
	42	Systèmes artificiels de refroidissement
Technologies de l'eau	43	Utilisation rationnelle de l'eau
	44	Systèmes innovants de nettoyage
Qualité de l'air intérieur	45	Contrôler et augmenter la qualité de l'air intérieur
Matériaux	46	Eviter les risques chimiques et biologiques par le choix des matériaux
	47	Incidences sur l'environnement des matériaux et des composants
	48	Durabilité des matériaux, des éléments et des constructions
Chantier	49	Chantier à faible impact
Déchets	50	Gestion des déchets domestiques

Chacune des stratégies de conception est présentée de manière didactique. A partir du contexte dans lequel elle s'inscrit et des objectifs qui en découlent, chaque stratégie est développée en terme de recommandation et/ou de préconisation. Nourries par l'expérience française et européenne, les stratégies présentent les bonnes pratiques de conception, les précautions à prendre et leurs avantages. Elles sont également enrichies d'illustration (schémas, dessins, photographies) et d'exemple de projets réalisés.

Sources des cartes :

Cartes générale et des régions agricoles :

http://www.chine-informations.com/mods/dossiers/carte-chine_1109.html

Carte de densité :

http://www.populationdata.net/images/cartes/asie/chine_densite.jpg

.I.5. Guides et ouvrages

Les différents outils présentés dans la partie 1 sont issues (l'aboutissement) de nombreuses recherches et ouvrages publiés depuis les années 1980 qui ont développés les premiers paramètres de conception thermique et de ventilation naturelle.

Dans un contexte de prise de conscience des problématiques énergétiques, l'objectif principal était d'étudier les paramètres de confort thermique et de développer les connaissances aérodynamiques afin de prendre en compte le contexte spécifique en climat tropical.

Les ouvrages clés ayant contribué au développement de méthodologies pratiques sont présentés ici sous forme de bibliographie commentée. Ces ouvrages rendent compte des recherches effectuées selon les conditions spécifiques locales et des évolutions techniques.

.I.5.1. « Habitat et climat à la Réunion, Construire en pays tropical humide », 1984

P-Y. AUFFRET, J-C. GATINA & P. HERVE

Dans les années 1980, le constat énergétique et les prévisions pour les décennies suivantes sont à l'origine des premières études sur les économies d'énergie dans la Région d'Outre-mer (*Rapport de synthèse du débat énergétique régionale*, 1982). A l'initiative d'EDF, premier concerné par les problématiques énergétiques, l'Université Française de l'Océan Indien de La Réunion a commencé ses recherches dans le domaine des économies d'énergie en collaboration avec les Directions Départementales de l'Industrie et de l'Equipement et le CAUE. L'Université s'est également associé au CSTB pour la première étude sur l'habitat.

Cet ouvrage fait le point sur l'avancement de l'étude sur l'architecture bioclimatique. A partir du constat de l'inadaptation au climat de La Réunion des bâtiments construits depuis les années 1960, le travail de recherche a permis de cerner les données climatiques de La Réunion et les notions objectives, techniques et subjectives de confort thermique dans l'habitat. En s'appuyant sur ces conclusions, l'ouvrage présente plusieurs solutions et outils de conception bioclimatique qui sont, aujourd'hui encore, des thématiques de bases pour une construction adaptée au climat tropical humide (Implantation et orientation vis-à-vis de la course solaire et des vents dominants, protections des parois et des baies, rôle de la végétalisation, ventilation naturelle, choix des matériaux, ...)

L'objectif principal de l'ouvrage est la diffusion de ces outils et solutions mis en œuvre au cours des recherches. Il fixe également les bases et les grands axes d'un programme de recherche qui vise à la rédaction d'un cahier de recommandations pour adapter l'habitat au climat de La Réunion.

.I.5.2. Les cahiers du CSTB :

« *Cartographie des caractéristiques du vent en Martinique et en Guadeloupe* », 1986
D. DELAUNAY

« *Exemples de solutions architecturales développant la ventilation naturelle aux Antilles* », 1987
J. GANDEMER & G. BARNAUD

Dans le cadre de ses travaux de recherche et à la demande de l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie (AFME), le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) a entrepris à partir du milieu des années 1980 des études sur les caractéristiques du vent et sur la climatisation naturelle dans les constructions.

La Division Climatologique du CSTB a réalisé une étude du vent aux Antilles (Guadeloupe, Martinique, St Martin et St Barthélemy) qui a permis d'élaborer une représentation spatiale précise des caractéristiques moyennes du vent sur ce territoire. La modélisation proposée tient compte de la rugosité du terrain, des effets de relief et des phénomènes thermiques. A partir de mesures de vent effectuées en diverses stations, elle fournit, par modélisation, des données de références pour les études en soufflerie en vue des applications à la ventilation naturelle, au confort dans les espaces extérieurs et à l'énergie éolienne.

La Division Aérodynamiques du CSTB a menée une recherche sur les principes connus sous un climat tropical humide de renouvellement d'air et de confort thermique par l'utilisation du vent en courant traversants mais exploités de manière subjective. L'objectif de la recherche est de définir avec précision les modalités aérodynamiques d'une ventilation naturelle efficace. Le travail a consisté en une approche expérimentale réalisée en soufflerie atmosphérique pour une visualisation des phénomènes et en une confrontation sur le terrain afin de valider la méthode de simulation.

A partir des données aérodynamiques et sur la demande de l'AFME, deux équipes d'architectes associés au CSTB ont développé un certain nombre de concepts présentés sous forme de solutions et de concrétisations pratiques pour la construction aux Antilles. Les performances en ventilation naturelle de ces exemples de solutions architecturales pour la maison individuelle ont ensuite été testées en soufflerie.

.I.5.3. « Guide de la conception climatique du bâtiment en climat tropical humide. Applicable à la Nouvelle Calédonie », 1988

M. ABDESSELAM

Dans les Départements et Territoires d'Outre-Mer, la construction évolue dans le sens d'une uniformisation qui se traduit par l'utilisation de technique et de matériaux moderne ainsi que le recours à des systèmes de conditionnement d'air consommateurs d'énergie. Ces régions constituent un champ d'application favorable aux règles de la conception climatique.

L'information technique étant jusqu'alors limitée à des études qualitatives, la démarche de ce guide consiste à mettre à profit les nouveaux outils (ordinateurs et logiciels d'aide à la conception) afin d'établir une évaluation chiffrée du savoir-faire en matière de conception climatique.

L'étude a été menée en trois étapes :

- étude des mécanismes de transferts thermiques des éléments de l'enveloppe
- approche climatique globale de l'habitat proposant une méthode de conception.
- étude des contraintes de la climatisation mécanique

Ce guide axé sur la quantification et la hiérarchisation de recommandations simple peut servir de support efficace dans la diffusion des techniques permettant d'accéder à un confort thermique suffisant sans recourir aux systèmes coûteux de conditionnement d'air. Son domaine concerne à la fois l'habitat et le tertiaire que ce soit des bâtiments neufs ou existants.

.I.5.4. « Sous les tropiques, la climatisation : un bâtiment adapté », 1991

Brochure de l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie

Dans les régions tropicales humides, la diffusion rapide des équipements de conditionnement d'air, gros consommateurs d'énergie électrique est une charge importante pour ces territoires.

Après avoir édité une fiche « *La climatisation : une installation rationnelle réduit vos charges* » pour le changement des comportements et l'amélioration des installations, l'AFME présente dans cette brochure les quelques règles simples de conception de bâtiment adapté au climat et les moyens d'actions envisageables afin de diminuer le coût énergétique de la climatisation.

Les actions proposées reposent sur le principe de limitation des apports solaires des bâtiments tertiaires et résidentiels tant au niveau général (implantation et orientation, géométrie du bâtiment, masse thermique) qu'au niveau de l'enveloppe exposée aux apports solaires (toiture, vitrages, murs).

.I.5.5. « Guide sur la climatisation naturelle de l'habitat en climat tropical humide », 1992

- Tome 1 : *Méthodologie de prise en compte des paramètres climatiques dans l'habitat et conseils pratiques*
- Tome 2 : *Exemples de solutions architecturales développant la ventilation naturelle*

J. GANDEMER, CSTB de Nantes

Ce guide fournit aux architectes et aux concepteurs une méthodologie pour la conception d'un habitat avec des qualités climatiques et un confort thermique satisfaisant pour les occupants. L'objectif est de donner les outils nécessaires pour un recours à la climatisation naturelle. La conception d'un habitat en climat tropical humide s'appuie sur le couple protection thermique contre les apports de chaleur et la ventilation naturelle au cours de toutes les étapes de conception (du plan masse à l'agencement intérieur).

Le premier tome présente une approche scientifique simple et claire des concepts nécessaires à la compréhension des conditions spécifiques locales tels que la prise en compte des données climatiques, la notion de confort thermique et les principes de protection solaire et de mécanisme aérodynamique. Il propose également un exemple de prise en compte des données statistiques météorologiques aux Antilles et une méthodologie de conception qui s'appuie sur des critères de qualité et d'efficacité.

Le second tome complète ces notions par des exemples de solutions architecturales pour les maisons individuelles afin de proposer un document applicable à caractère opérationnel. Il propose une concrétisation pratique d'habitat à climatisation naturelle performante par des équipes d'architectes métropolitains et antillais. Ces exemples riches d'enseignements sont également évalués et, pour certains, réalisés.

.I.5.6. « Climatiser dans les DOM, Guide pratique pour le tertiaire », 1998

M. ABDESSELAM, R. CASARI, D. MARCHIO, E. MACE & V. MALEY

Dans les DOM, le développement de la climatisation accompagnant celui du secteur tertiaire soulève deux types de problèmes : sa mise en œuvre et son impact sur la consommation énergétique. À partir de ce constat, ce guide présente une approche cohérente et pratique des paramètres afin d'assurer un confort économe en énergie.

Le guide propose une méthode de travail en quatre temps correspondants aux quatre paramètres principaux qui déterminent l'efficacité et le rendement d'un système de climatisation : les données climatiques, la conception et la réalisation du bâtiment, le dimensionnement de l'installation et le choix des matériaux.

S'adressant à des acteurs variés et aux préoccupations précises, chaque phase est développée dans un livret à double niveau de lecture permettant d'aborder leurs différents aspects. Ainsi chaque livret présente les différentes notions associées et/ou les actions envisageables et propose une synthèse la plus souvent opérationnelle. Le guide décrit également quelques réalisations illustrant les différentes préconisations.

.I.5.7. « Traité d'architecture et d'urbanismes bioclimatiques, Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable », 2005

A. LIEBARD & A. DE HERDE

Tome 3 : Construire en climats chauds

Cet ouvrage réunit les six tomes parus entre 1996 et 2004 du « Guide de l'architecture bioclimatique ». Il propose sous la forme de fiches didactiques et pédagogiques des réponses concrètes synthétisant les connaissances et les savoir-faire pour une approche conceptuelle et opérationnelle de la construction bioclimatique.

Le tome 3, organisé en 64 fiches à finalité pédagogique, a pour objectif la diffusion des savoirs et techniques pour une conception en climats chauds. À partir de la définition des caractéristiques des climats chauds et de leurs contextes, il présente les notions et concepts associés aux problématiques de confort (thermique, visuel, acoustique, ...). Il synthétise également de nombreux principes et solutions techniques tant au niveau de l'insertion dans le site que dans le traitement du bâtiment.

.II. Outils logiciels

.II.1. Outils thermique dynamique

.II.1.1. Le logiciel CODYRUN

La préoccupation de réduire les consommations énergétiques dans les bâtiments et d'obtenir une meilleure qualité thermique des ambiances a contribué à la prise en compte de la dimension énergétique dès la phase conception. Depuis les années 1970 et la première réglementation thermique métropolitaine, de nombreux logiciels de modélisation et de simulation thermique ont été développés, avec parfois quelques limites dans la représentation de la réalité.

Initié en 1993 dans le cadre d'une collaboration entre l'Université de La Réunion (ULR) et l'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon (INSA), le code de simulation CODYRUN permet la modélisation thermo-hygro-aéraulique de l'objet « bâtiment ». Le champ d'application a été élargi au-delà du seul climat tempéré par l'attention accordée aux échanges d'énergie thermique par rayonnement entre le bâtiment et l'extérieur et aux transferts aérauliques et hydriques.

Au cours du temps, ce logiciel a fortement évolué suivant les nombreuses sollicitations. Une de ces particularités est celle d'être simultanément un outil de recherche (travaux de l'équipe de génie technique et du laboratoire de Génie Industriel de l'ULR), un outil pédagogique (utilisé en enseignement) et un outil d'aide à la conception utilisé par le laboratoire et par les professionnels.

• Description du logiciel

CODYRUN est un logiciel de simulation numérique du comportement thermique du bâtiment au fil du temps. Ce logiciel de simulation thermique intègre également un module aéraulique (air, transport circulation d'air, ventilation) et un module hydrique (humidité, condensation). Ainsi, cet outil traite simultanément les transferts thermiques, aérauliques et hydriques dans le bâtiment.

Il a été construit avec deux caractéristiques :

- Une **structure multi modèle** : différents modèles sont proposés pour chacun des phénomènes de transferts (conductifs, radiatifs et convectifs), ainsi que vis-à-vis des transferts aérauliques. Plusieurs modèles de reconstitution de paramètres météorologiques (rayonnement diffus, température du ciel,...) sont également utilisables.
- Le **multi zonage** : le bâtiment peut être décomposé en pièces ou groupes de pièces formant les zones thermiques, zones qui se différencient par leur comportement thermique (exposition, conditions de climatisation,...). Le bâtiment résulte donc de l'assemblage d'éléments autonomes dont le couplage détermine le comportement global de l'ensemble.

Ces nombreux aspects ont conduit à des structures de données et à une organisation des traitements complexes qui permettent des niveaux de finesse différents en termes de résultats.

Le fonctionnement du logiciel se décompose en trois modules : **Description**, **Simulation** et **Exploitation**. Au départ d'un fichier de données météorologiques du site (t° , ensoleillement, humidité,...) et de la description du bâtiment considéré, la simulation fournit un fichier des résultats pouvant donner lieu à différentes exploitations (courbe, tableau, diagramme de confort,...)

L'opérateur décrit le bâtiment de manière informatique (et non graphique). Le bâtiment se décompose en zones thermiques séparées par des inter-ambiances (lieu géométrique auquel appartient des composant tel que paroi, vitrage et ouverture). Sur ce squelette du bâtiment vont se « greffer » les composants.

La définition des composants des zones et inter-ambiances consiste à renseigner les différentes caractéristiques et paramètres agissant sur la thermique du bâtiment. Les composants peuvent être :

- pour les inter-ambiances : des parois de séparation entre les zones, des parois extérieures (l'extérieur étant considéré comme une zone), un terre plein, des vitrages et des ouvertures.
- pour les zones : des parois internes, des systèmes de traitement de l'air, des bouches de ventilation et des charges internes (dont éclairages et occupants).

Après avoir sélectionné ou défini un bâtiment et d'un fichier météorologique, la simulation fournit pour chaque pas de temps (heure, demi-heure, ...) l'enregistrement des températures (sèches et radiantes), de l'humidité relative et des puissances appelées dans chacune des zones. Ces données sont ensuite exploitables à partir d'un fichier résultats ouvert sur un tableur type Excel.

• Un outil d'aide à la conception

Le tableau suivant présente différents paramètres pris en compte par le logiciel CODYRUN et qui participe à la qualité thermique d'un bâtiment.

			Paramètres de CODYRUN
CONCEPTION THERMIQUE	Implantation sur le site		Données du site : conditions météorologiques (fichier météo), latitude, altitude, présence de masques (hauteurs angulaires), albédo du site, type d'environnement (urbain, ...) Prise en compte de terre plein
	Caractéristique thermique de l'enveloppe	Murs et Toiture Paroi sur terre-plein ou vide sanitaire	Orientation et inclinaison, dimension, constitution (épaisseur, conductivité thermique, masse volumique, chaleur massique), propriété radiative (absorptivité et émissivité des faces), conduction, protection solaire (% d'occultation par heure, masque proche à dimensionner du type casquette ou flanc)
		Baies	Dimension, paramètre conductif (K jour et nuit), caractéristiques optiques (simple ou double vitrage, coefficients de transmission et d'absorption), protection solaire (% d'occultation par heure)
	Caractéristique thermique des ambiances	Zones thermiques	Volume, composants (cf. paroi interne et ouvertures, occupation, systèmes énergétiques)
		Paroi interne	Dimension, constitution (épaisseur, conductivité thermique, masse volumique, chaleur massique), propriété radiative (absorptivité et émissivité des faces), conduction, grande ouverture (dimensions et coef de décharge) et petite ouverture (perméabilité et dimensions)
		Occupation	Charge interne à la zone (nombre, évolution périodique sensible et latent)
	Traitement de l'air	Ventilation naturelle	Dimensions des ouvertures, dimension des ouvertures dans les parois internes
		Condensation	Paramètres des parois extérieures et intérieures, module aéraulique et hydrique.
SYSTEMES ENERGETIQUES	composants des zones thermiques	Eclairage	Charge interne à la zone : nombre, évolution périodique sensible et latent, répartition de la puissance sensible (% de courte et grande longueur d'onde)
		Système de traitement de l'air	Paramètres sensibles (production de froid et de chaud, t°) et latents (% d'humidité, production de DesH et d'humidité)
		Split system	T° de consigne (haute et basse), horaire, efficacité frigorifique constante et puissance frigorifique nominale, données constructeurs (volume de débit, By-Pass)
		Bouches de ventilation (VMC)	Débit maximal (m³/h) et dépression nominale (Pa)

Appliqué en conception, ce type d'outil permet alors de s'assurer de la cohérence et de la validité des choix architecturaux, en régime dynamique (c'est-à-dire en tenant compte de la variabilité dans le temps des sollicitations), en tenant compte des divers phénomènes (mode de transfert de chaleur, aéraulique, ..). Dans le cadre d'un bâtiment climatisé, CODYRUN permet une estimation précise des charges ainsi qu'une estimation des consommations électriques dans le cas de « split système ».

Le logiciel permet également le calcul des transferts aérauliques, en particulier lorsque le bâtiment est ouvert sur l'extérieur. Il est ainsi possible de quantifier l'influence du dimensionnement des ouvertures sur le renouvellement d'air intérieur du logement. De même avec les transferts hydriques. CODYRUN

prend en compte les transferts d'humidité entre pièces et avec l'extérieur. Ainsi il permet d'évaluer certains problèmes tels que la condensation, source de désordre important dans les constructions.

- **Le potentiel d'adaptation**

Cet outil destiné à la recherche est en constante évolution depuis la première version du code de simulation développé au cours d'une thèse de doctorat (Harry BOYER, 1993). Dès les premières années de diffusion de cet outil de simulation, l'un des problèmes posés a été celui de leur adéquation aux besoins des acteurs du processus de conception. Les travaux de recherche du laboratoire de l'URL permettent de développer cet outil de conception en constante évolutivité.

De plus, le logiciel intègre dès sa construction des modules et des paramètres dans le souci d'ouvrir le champ d'application à différents types de climats. Ces éléments ainsi que la prise en compte des données météorologiques permettent son utilisation pour la simulation du comportement thermique de tout bâtiment (tertiaire, habitat) en toute zones climatiques (tempérés, tropical humide, climat sec,...)