



**HAL**  
open science

## Elaboration d'un label de conception thermique des bâtiments dans les Départements d'Outremer français

François Garde, Harry Boyer, Robert Celaire

► **To cite this version:**

François Garde, Harry Boyer, Robert Celaire. Elaboration d'un label de conception thermique des bâtiments dans les Départements d'Outremer français. *Annales du Bâtiment et des travaux publics*, 2000, 2 (Avril 2000), pp.27-40. hal-00767721

**HAL Id: hal-00767721**

**<https://hal.science/hal-00767721>**

Submitted on 20 Dec 2012

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Physique du Bâtiment et Environnement du Bâtiment

# Elaboration d'un label de conception thermique des bâtiments dans les Départements d'Outremer français

**François Garde, Harry Boyer**

Laboratoire de Génie Industriel, Université de La Réunion, Faculté des Sciences et Technologies  
15 avenue René Cassin, BP 7151, 97 715 Saint-Denis messag Cedex 9, Ile de La Réunion.  
Tél : 02 62 96 28 91 - Fax : 02 62 96 28 99 – Email : [garde@univ-reunion.fr](mailto:garde@univ-reunion.fr)

**Robert Celaire**

Concept Energie, 1 rue Mirabeau, Lambesc, 13410, France.  
Tél : 04 42 92 84 19 - Fax : 04 42 92 71 36 – Email : [Robert.Celaire@wanadoo.fr](mailto:Robert.Celaire@wanadoo.fr)

### 1. LES ENJEUX DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE DANS LA CONCEPTION THERMIQUE DES BATIMENTS

Dans les départements d'Outre-Mer français (DOM), le coût élevé de l'électricité et sa non répercussion dans les prix de vente, ont conduit E.D.F. à adopter une politique particulièrement active de maîtrise de la demande d'électricité.

En effet, la production de l'électricité en situation insulaire (ce qui est le cas pour les DOM) est principalement assurée par des centrales thermiques avec des générateurs à combustible fossile de rendement médiocre et générant des émissions de CO et SO<sub>2</sub> importantes. De ce fait, les coûts de production et de distribution sont sensiblement plus élevés qu'en métropole et génèrent un prix de revient moyen du kWh supérieur à son prix de vente (qui est le même qu'en France de part le principe de péréquation tarifaire<sup>1</sup>), ce

qui explique le déficit d'E.D.F. dans les DOM (plus de 2 milliards de Francs en 1995). A titre d'exemple, E.D.F. perd en moyenne à la Réunion 20 centimes par kWh vendu et accuse un déficit de 280 millions de francs pour 1996.

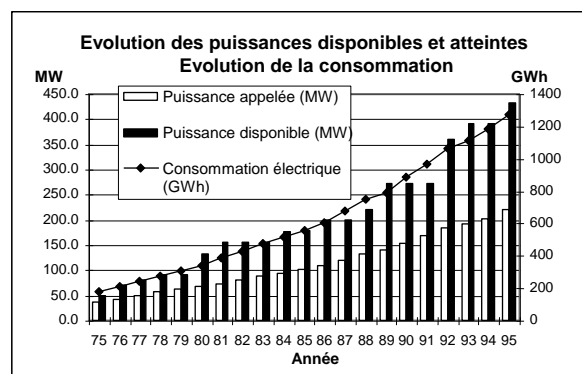


Figure 1 : Evolution des puissances appelées et disponibles et de la consommation électrique annuelles – La Réunion

<sup>1</sup> La loi du 11 Juillet 1975 relative à la nationalisation de l'électricité dans les D.O.M. impose à EDF de vendre l'électricité aux mêmes tarifs qu'en France métropolitaine.

Au moment où la loi de nationalisation a été votée, les consommations d'électricité dans les DOM étaient encore très faibles (de l'ordre du sixième du niveau actuel), mais connaissaient un accroissement très rapide (de l'ordre de 11% par an entre 1975 et 1992) qui a conduit E.D.F., dans un premier temps, à centrer ses efforts sur les investissements en nouveaux moyens de production nécessaires pour répondre à cette véritable explosion de la demande (figure 1).

Progressivement, une démarche globale de maîtrise de la demande d'électricité s'est mise en place et concerne plusieurs domaines d'action tels que représentés par la figure 2.

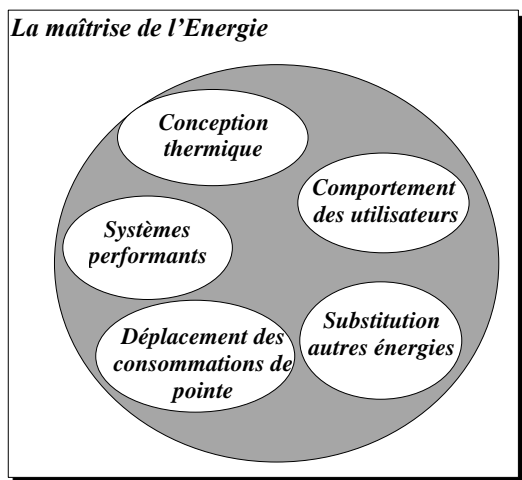


Figure 2 : Les domaines d'action de la M.D.E. dans les DOM

L'un de ces domaines (et non le moindre) concerne la conception thermique des bâtiments, que ce soit dans le secteur tertiaire ou résidentiel.

Chaque année, 20 000 logements sont construits dans les départements français d'Outre-mer. Les trois-quarts de ces logements sont des logements sociaux. L'eau chaude instantanée électrique et la climatisation individuelle s'y développent de manière anarchique avec des systèmes mal placés, mal conçus, mal entretenus avec des logements neufs qui sont construits sans tenir compte du confort climatique et sont livrés sans système de production d'eau chaude sanitaire.

L'absence de réglementation thermique alliée à des contraintes économiques de coût de construction favorise le développement de bâtiments totalement inadaptés aux climats tropicaux.

La démographie importante des DOM, l'augmentation générale du niveau de vie et la baisse des prix des appareils de climatisation sont également de réelles menaces énergétiques, économiques et environnementales (figure 3).

Tous ces facteurs entraînent des appels de puissance électrique importants aux heures de pointe

ainsi que des consommations mal maîtrisées de jour comme de nuit, et dimensionnent le parc de production électrique et donc les investissements futurs.

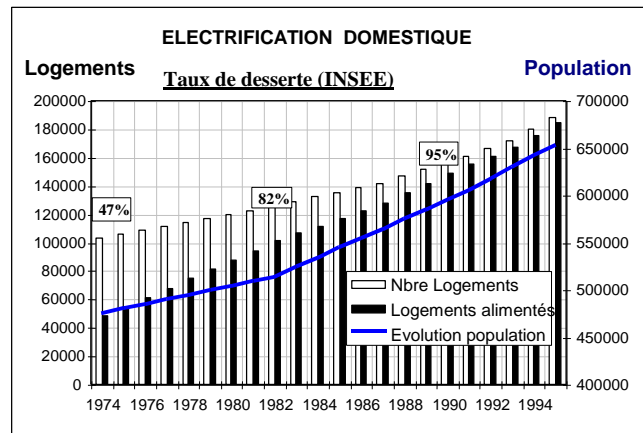


Figure 3 : Evolution du nombre de logements alimentés à La Réunion par rapport à la population totale

L'amélioration de la conception thermique des bâtiments dans le domaine du logement constitue donc un enjeu considérable, à la fois économique social et environnemental.

Une action globale à long terme d'amélioration du confort et des performances énergétiques dans les bâtiments résidentiels et tertiaires est actuellement menée dans les départements d'Outre-mer. Elle se traduit dans le secteur du logement neuf par le lancement d'un label de qualité portant à la fois sur l'enveloppe des bâtiments, et sur les systèmes de production d'eau chaude et de climatisation.

## 2. LE LABEL ECODOM

L'expérience métropolitaine en matière de réglementation thermique a montré qu'une phase de labélisation dans le secteur du logement est intéressante dans la mesure où celle-ci n'avait pas de caractère obligatoire, mais était purement incitative. Ainsi, la dernière réglementation de 1989 a été précédée d'une procédure incitative : le label H.P.E. (Haute Protection Energétique). Il était en effet possible d'obtenir ce label à plusieurs niveaux de qualité par un nombre plus ou moins grand d'étoiles. La réglementation de 1989 s'est calée au niveau 2 étoiles du label H.P.E. Ce niveau constituait, à l'époque, l'optimum technico-économique en matière de coût global et d'économie d'énergie engendrée[1].

Fort de cette expérience et devant l'enjeu énergétique de la thermique du bâtiment dans les DOM, une action de labélisation a été initiée depuis 1995 sous l'impulsion d'EDF dans le secteur du logement neuf. Cette action MDE a été constituée dans un vaste partenariat français : Ministère du Logement, Ministère

de l'Industrie, Ministère des DOM, E.D.F., ADEME, DDE, Maîtres d'Ouvrages locaux, publics et privés, bureaux d'études thermiques, architectes, associations Consuel et Promotelec et l'Université de la Réunion.

### 2.1 Les objectifs

Le label ECODOM a pour objet de faciliter la réalisation de logements thermiquement confortables en ventilation naturelle, c'est à dire en évitant le recours à un système de refroidissement de l'air ambiant par une machine frigorifique consommant de l'énergie électrique.

ECODOM a des objectifs sociaux et économiques car il conduit à la fois à une amélioration du confort thermique et à la réduction des dépenses énergétiques des logements concernés. Le but d'ECODOM est davantage de proposer des solutions techniques simples à un coût acceptable plutôt que de rechercher le bâtiment bioclimatique idéal financièrement et économiquement irréalisable. De plus, la simplicité des solutions techniques proposées pourra permettre un développement semblable dans des pays connaissant le même type de climat. Citons également les travaux de Malama [2], Olusmbo [3] et Ratnaweera [4] qui ont également travaillé sur une conception des bâtiments adaptée au climat respectivement de la Zambie, du Nigéria et du Sri Lanka.

Il s'agira, une fois les solutions techniques validées, d'appliquer ces solutions à 300 logements neufs expérimentaux pour l'année 1997 sur l'ensemble des DOM, et d'étendre cette phase expérimentale à une plus grande échelle : 2 000 logements neufs sont prévus pour 1998. D'autre part, il est également prévu d'étendre la méthode si celle-ci se révèle satisfaisante dans le secteur du résidentiel existant et du petit tertiaire.

### 2.2 Les prescriptions

Le niveau de confort est obtenu par une conception des caractéristiques architecturales tenant compte du climat local : le logement se protège des paramètres climatiques négatifs (le soleil) en exploitant au mieux les paramètres climatiques positifs (le vent).

L'obtention d'un bon niveau de confort thermique suppose le respect d'un certain nombre de prescriptions qui revêtent un caractère obligatoire. Ces prescriptions portent sur l'environnement proche du logement et sur les composants qui le caractérisent.

Les prescriptions concernent cinq points :

1. *L'implantation sur le site;*

2. *La protection solaire de l'enveloppe* (toiture, parois opaques, ouvertures);
3. *La ventilation naturelle* (en tenant compte des vents dominants et d'un ratio de perméabilités extérieure/intérieure optimal) ou en ayant recours à la ventilation mécanique au moyen de brasseurs d'air;
4. *La production d'eau chaude sanitaire* (obligation d'un chauffe-eau asservi et d'une énergie de substitution telle que le solaire ou le gaz);
5. *L'option chambre climatisée* (cette option laisse le choix au concepteur de prévoir une ou des pièces climatisées sous réserve d'un traitement particulier de la gestion de l'air dans la pièce climatisée et sur le rendement du système de climatisation).

## 3. METHODOLOGIE

Pour atteindre les critères de qualité, un nombre important de simulations doit être conduit en vue de déterminer les impacts thermiques et énergétiques de chaque solution technique.

De nombreux auteurs ont déjà travaillé sur des problèmes spécifiques d'enveloppe et de traitement de parois opaques : Bansal a notamment étudié l'effet de la couleur extérieure des parois opaques [5], Malama a travaillé sur des solutions architecturales passives pour le toit et les parois opaques [2]. Rousseau a quant à lui étudié le couplage ventilation naturelle / isolation thermique afin d'optimiser l'épaisseur d'isolant en fonction de l'importance de la ventilation [6]. Enfin De Waal a effectué un travail remarquable sur de nouvelles recommandations en matière de conception thermique par une redéfinition des types de climats tropicaux et d'une meilleure adéquation enveloppe/climat [7].

En ce qui concerne les travaux spécifiques aux DOM, le C.S.T.B. a une solide expérience en matière de conception thermique en climat tropical depuis une dizaine d'années [8], [9], [10]. Citons également les travaux de Gatina et Hervé sur la conception thermique des bâtiments à La Réunion [11]. Ces travaux portent à la fois sur l'optimisation de la protection solaire de l'enveloppe, et sur des conseils concernant la ventilation naturelle.

La bibliographie existante est donc riche en enseignements et apporte beaucoup au concepteur sur les idées générales de la conception architecturale dite " passive " ou bio-climatique. Par contre, il est toujours difficile lorsque l'on est architecte de passer de la théorie à la pratique et d'appliquer les théories de la

conception des bâtiments en climat tropical humide. Cette difficulté s'explique par le manque de temps de l'architecte, peut être aussi par le manque d'information et surtout par le souhait du Maître d'Ouvrage de tenir compte ou non d'une conception architecturale adaptée au climat. Le but de ce travail (et du label ECODOM) est de fournir des solutions techniques compréhensibles par tous sans passer par une modélisation fine du bâtiment à concevoir. L'optimum de chaque solution aura au préalable été déterminé par de nombreuses simulations sur un habitat type.

Notre démarche a donc consisté à étudier plusieurs logements types à l'aide d'un outil de simulation de comportement thermo-aéraulique de bâtiments. Effectivement, une approche thermo-aéraulique globale portant sur toutes les composantes de l'enveloppe et pour des logements représentatifs est nécessaire pour l'optimisation de chacune de ces composantes. Le moyen le plus fiable est sans aucun doute l'utilisation de logiciels capables de simuler le comportement thermo-aéraulique de ces logements. Ce choix se justifie simplement par le mode de fonctionnement d'un habitat en climat tropical qui est un habitat ouvert et où les couplages et les transferts thermo-aérauliques sont extrêmement importants.

Les simulations ont porté sur l'ensemble des éléments constitutifs de l'enveloppe (toiture, murs, fenêtres) et sur la ventilation naturelle de manière à estimer l'influence de chacune des prescriptions en terme de confort thermique et en terme de performance énergétique. L'analyse et la synthèse des résultats issus des simulations ont par ailleurs fait l'objet d'un rapport de recherche disponible auprès des auteurs [12]. Nous allons décrire dans les parties suivantes la méthodologie que nous avons adoptée et nous ferons une synthèse des résultats pour l'ensemble des prescriptions du label.

La démarche adoptée lors de nos simulations a donc consisté à :

- rechercher une journée climatique représentative de la saison humide à l'île de la Réunion ;
- rechercher des logements type individuels et collectifs représentatifs de ce qui se construit actuellement à la Réunion ;
- faire des simulations avec le fichier météo type en faisant varier les paramètres constitutifs du logement, et suivre en particulier l'évolution journalière de la température résultante dans le logement, ainsi que les gains réalisés en terme de puissance et d'énergie évitées.

Les données météorologiques ont été retenues selon le critère de représentativité de la période la plus inconfortable à l'île de la Réunion, c'est à dire en saison

humide qui représente à la Réunion une période de cinq mois (de mi Novembre à mi Avril).

Les logements type ont été choisis après analyse des statistiques sur la construction de logements collectifs sur les cinq dernières années fournies par la DDE\* Réunion.

### 3.1 Présentation du code de simulation

Initialement, le développement des codes de simulation est longtemps resté réservé aux équipes nombreuses, disposant d'ordinateurs puissants, de par une certaine complexité du couplage des modes de transfert, de la taille de systèmes mis en jeu ou encore du temps calcul, donnant naissance aux codes dits de référence, tels que ESP[13], DOE ou BLAST[14]. Avec la montée en puissance des micro-ordinateurs, des équipes plus réduites ont mis au point des codes performants vers sur des machines plus courantes en vue d'une diffusion plus aisée dans le milieu professionnel. Au départ, ces logiciels étaient alors le plus souvent mono-zones : (uniformité de température sèche d'air de l'ensemble étudié, à savoir une ou plusieurs pièces). Des exemples de ces outils sont QUICKTEMP[15] ou CODYBA[16]. L'évolution s'est ensuite traduite par la prise en compte du multizonage, avec par exemple en France de COMFIE[17]. Ensuite, l'intégration réaliste des transferts aérauliques a longtemps constitué une difficulté majeure, en raison de l'absence de modèles simples pour traiter la convection au travers de grandes ouvertures (portes et fenêtres). La seconde difficulté est liée au caractère non linéaire du système en pression dont la résolution est nécessaire pour déterminer les débits massiques. Des modèles ont été depuis dégagés et intégrés dans plusieurs codes de calcul dédiés à l'aéraulique tels que AIRNET[18] ou MOVECOMP[19] ou thermo-aérauliques tels que TARP, ESP, BILGA-BILBO ou notre code baptisé CODYRUN.

La résolution du problème thermo-aéraulique peut se faire en résolvant simultanément les systèmes aérauliques et thermiques à chaque pas de temps. Cette démarche dite couplée est employée dans certains codes tels que CLIM2000 [20](développé par EDF). L'autre possibilité que nous avons intégrée (de même que ESP) est de résoudre de manière indépendante les systèmes précédents et d'assurer le couplage grâce à un schéma de résolution itératif basé sur la convergence des températures et des débits massiques .

---

\* Direction Départementale de l'Équipement.

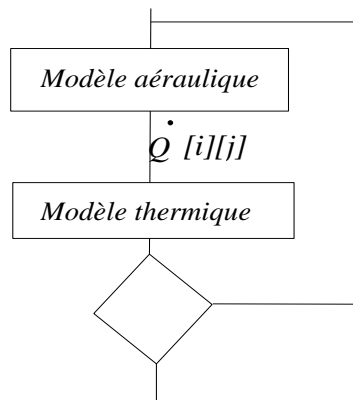


Figure 4 : Algorithme général de CODYRUN

Le schéma de résolution itératif permet non seulement d’avoir la maîtrise du critère de convergence, donc de la précision et du temps de calcul mais également de traiter le problème thermo-aéraulique en deux “ sous-problèmes ” thermique et aéraulique. Ainsi, l’utilisation de modèles thermiques différents est rendue possible pour chacun des modules thermique et aéraulique.

Le modèle des transferts d’humidité (non représenté) est un modèle de transport n’intégrant pas à ce jour les échanges latents avec les parois et le mobilier.

Le modèle thermique est basé sur l’analyse nodale. La génération automatique de ce modèle au départ de la description d’un bâtiment quelconque est présentée dans [21]. De même, les équations aérauliques et leur implémentation dans le code sont explicitées dans [22]. D’autres aspects, tels que la description informatique (et le fenêtres Windows associées) d’un bâtiment, le caractère multi-modèle de notre approche, la validation expérimentale du code, son application à un label de conception thermique et sa confrontation avec TRNSYS sont détaillées dans les références suivantes [23], [24], [25], [26], [27].

### 3.2 Définition d'une journée type

La Réunion est située par 21° de latitude Sud et 55° de longitude Est. Son climat général est de type tropical humide.

Nous disposons d'une saison sèche (Mai à Octobre), où prédomine un courant d'alizés plutôt froid et sec, et d'une saison des pluies (Novembre à Avril) plus chaude et plus humide avec des vents d'intensité moindre et de direction plus fluctuante. L'île peut alors subir l'influence de perturbations cycloniques.

Le relief découpe l'île en deux parties:

- La zone au vent, exposée à l'alizé, caractérisée par une forte pluviométrie et des températures en moyenne de 23°.

- La zone sous le vent généreusement ensoleillée et sèche. Cette région dispose d'une pluviométrie beaucoup plus faible et la température moyenne y est plus élevée de 2 à 3 degrés par rapport à la première zone.

L' étude du comportement du bâtiment face aux conditions extérieures nécessite la mise à disposition de données météorologiques horaires représentatives du site étudié. Afin de limiter le temps de calcul, nos simulations ont porté sur une seule journée. Cette journée doit être la plus représentative des conditions de la saison humide. C'est à cette période en effet, que l'on retrouve la combinaison la moins favorable des paramètres climatiques.

La journée qui se rapproche le plus des conditions moyennes observées sur le site au niveau de la température et du rayonnement global est alors sélectionnée (voir figure 5). De plus, afin d'optimiser l'apport radiatif par rayonnement direct, nous nous plaçons dans des conditions de basse nébulosité.

Pour ce faire, nous fixons des indicateurs tels que les moyennes maximales et minimales de température durant la saison humide, et le cumul de rayonnement global, et le cumul de rayonnement diffus.

Le choix du site pour la séquence météorologique type s'est porté sur la station de Gillot, au Nord-Est de l'île, à proximité de Saint Denis. C'est une zone urbaine à forte population. Ce site est représentatif de la région littorale humide, du moins pendant la saison humide, lorsque le régime d'alizés n'est pas établi.

Le tableau 1 nous donne les valeurs requises pour chaque indicateur pour le site choisi.

Cumul journalier de rayonnement global	de 5700 à 7400 Whm <sup>-2</sup>
Cumul journalier de rayonnement diffus	de 500 à 1000 Wh. m <sup>-2</sup>
Température moyenne maximale pour la saison chaude	30°C
Température moyenne minimale pour la saison chaude	22°C

Tableau 1 : Critères climatiques retenus pour la journée type

#### 3.2.1 Vent

En ce qui concerne l'influence de la vitesse et de la direction du vent, notre objectif a été de simuler le comportement thermique du bâtiment durant la saison chaude, période où les vents dominants (Alizés) ne soufflent pas. La Réunion est alors souvent soumise à un régime de brise thermique (de direction mer-terre le jour, et terre-mer la nuit). Après consultation des données météorologiques en notre possession, il s'avère qu'un vent de brise nocturne a une vitesse de 1 m.s-1 en moyenne, représente 20% de la distribution en

fréquence et de plus, celui-ci est de direction perpendiculaire à la côte la nuit.

Nous avons donc créé un fichier météo artificiel, avec sept jours consécutifs ayant les mêmes caractéristiques météorologiques tant au niveau de la température extérieure, de l'ensoleillement et de l'humidité, mais différents au niveau de la force et la

direction du vent. Nous avons étudié le cas de jours de vent faible ( $v = 1 \text{ m.s}^{-1}$ ) et de vent modéré ( $v=5 \text{ m.s}^{-1}$ ) pour des directions différentes. Nous pourrions ainsi apprécier les performances aérauliques des logements dans des configurations de vent multiples.

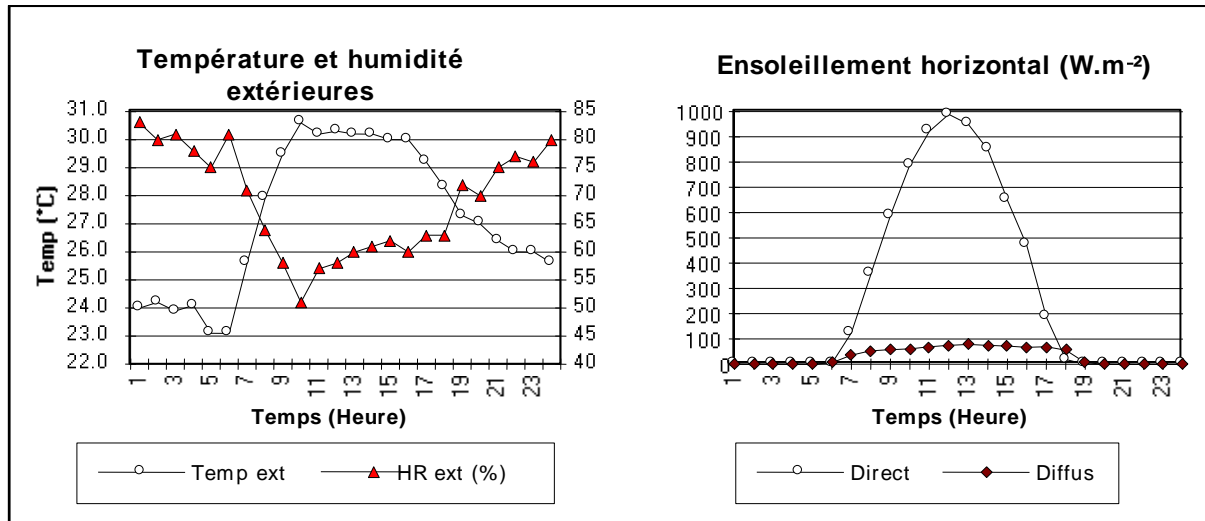
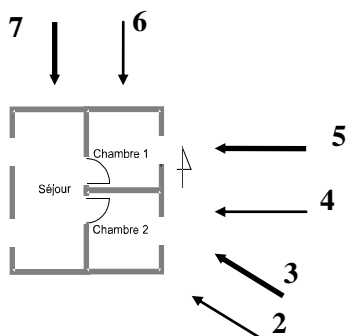


Figure 5 : Journée type (conditions normalisées de beau temps)

- Jour 1 : pas de vent (tirage thermique uniquement)
- Jour 2 : vent faible ( $1 \text{ m.s}^{-1}$ ), Sud-Est
- Jour 3 : vent modéré ( $5 \text{ m.s}^{-1}$ ), Sud-Est
- Jour 4 : vent faible, Est
- Jour 5 : vent modéré, Est
- Jour 6 : : vent faible, Nord
- Jour 7 : vent modéré, Nord



### 3.3 Les logements types :

Les logements types que nous avons choisis sont les plus représentatifs de ce qui se construit actuellement à la Réunion, aussi bien au niveau de l'architecture que des matériaux utilisés. Nous avons retenus deux logements individuels types conformes au plan représenté figures 6 mais différents au niveau de l'inertie thermique (l'un est à structure légère et l'autre à

structure lourde) et un logement que l'on retrouve dans des immeubles collectifs. Ces logements serviront de référence à nos simulations. Le tableau 2 résume l'ensemble des composants de chaque logement.

#### 3.3.1 Le logement individuel type

Ce logement est constitué de trois chambres un séjour WC Salle de bain et cuisine (voir figure 6).

Nous avons pris en compte pour nos simulations uniquement les zones de vie de la maison, à savoir les chambres 1 et 2 ainsi que le séjour, ceci pour plusieurs raisons :

- 1) Le label porte exclusivement sur l'amélioration des zones de vie
- 2) Compte tenu du nombre de cas à traiter, nous avons tenu à optimiser le nombre de zones, c'est pourquoi un bâtiment trizone (figure 7) nous a semblé être un choix judicieux et suffisant pour mettre en évidence les différents phénomènes, thermiques, aérauliques, influence de l'orientation etc ...

Les vitrages des chambres représentent 11% de la surface totale, ceux du séjour 22%. Les surfaces des chambres sont de 11 m<sup>2</sup> pour un volume de 30 m<sup>3</sup>, le séjour quant à lui occupe une surface de 22 m<sup>2</sup> pour un volume de 60 m<sup>3</sup>.

#### 3.3.2 Le logement collectif :

Après consultation des maîtres d’ouvrage sociaux locaux et de statistiques réunionnaises en matière de construction de logements, il s’avère que le logement le plus représentatif est le T3/4, soit un logement constitué de deux chambres, un séjour et d’une varangue (voir figure 9). Les simulations ont été conduites pour trois types de logement collectif (un sous

toiture, un entre deux niveaux et un en pignon) conformément à la classification faite par De Wall sur la typologie de logements collectifs (voir figure 8). Pour nos simulations, nous avons considéré le logement collectif de base comme un bâtiment bizonne avec une partie jour (le séjour), et une partie nuit (les chambres).

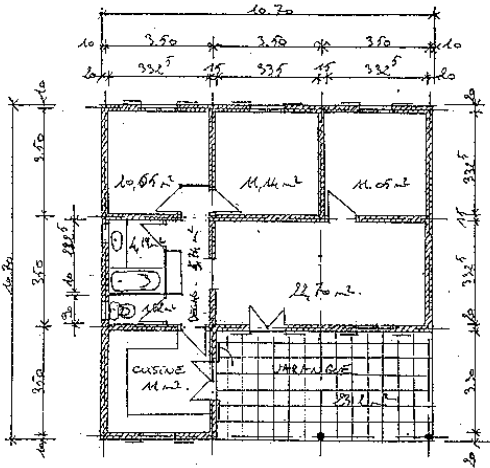


Figure 6 : Vues du logement individuel type

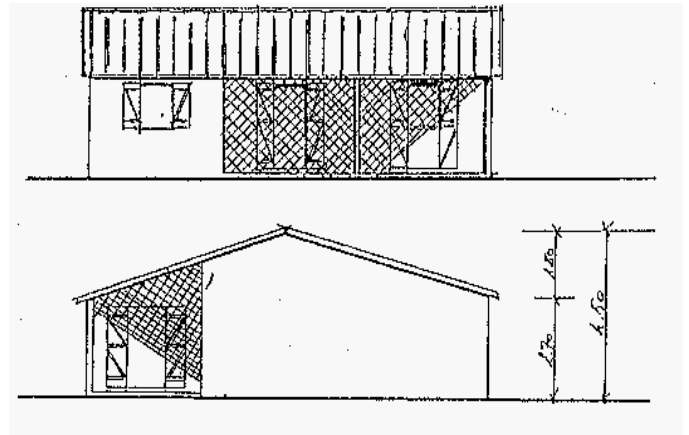


Figure 7 : Plan type pour l’ensemble des simulations

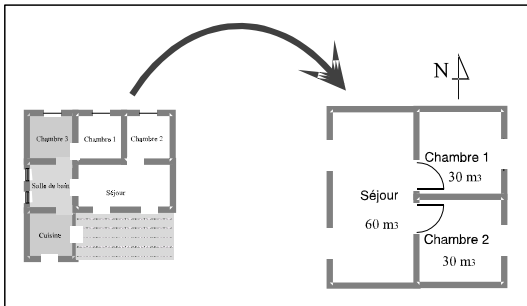
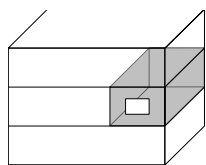
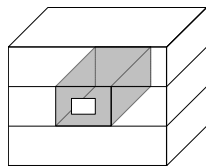
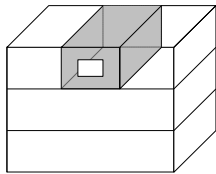


Figure 8 : Les différentes configurations de logement collectif étudiées.





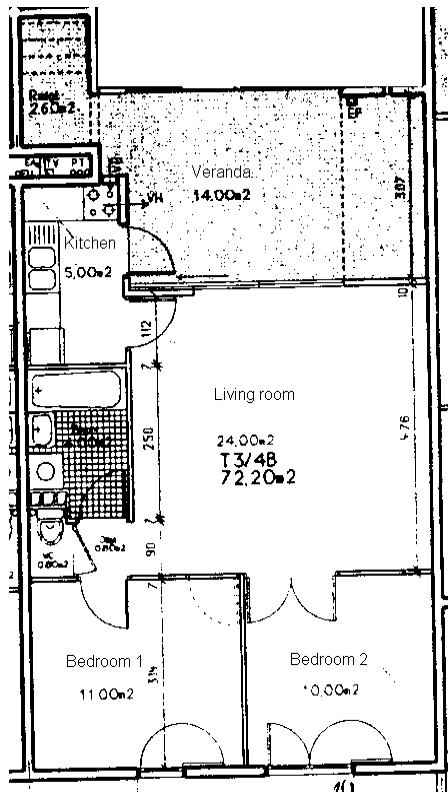


Figure 9 : Logement collectif type

Logement type	Matériaux	Résistance thermique (m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> )	Absorptivité extérieure α
<b>Logement léger</b>			
Toiture	tôle acier / lame d'air 10cm / CTBX	0.22	0.7
Parois opaques extérieures	bois + lame d'air 5 cm	0.5	0.7
Parois opaques intérieures	bois + lame d'air 5 cm	0.5	-
<b>Logement lourd</b>			
Toiture	béton (16cm)	0.1	0.7
Parois opaques extérieures	blocs creux (20 cm) + enduit ciment	0.25	0.7
Parois opaques intérieures	blocs creux (7 cm)	0.1	-
<b>Logement collectif</b>			
Toiture	béton 16 cm	0.1	0.7
Parois opaques extérieures	béton banché 20 cm	0.11	0.7
Parois opaques intérieures	placoplâtre + lame d'air 5 cm	0.2	-

Tableau 2 : Description des logements types

### 3.4 Les critères de comparaison

Nous avons voulu aborder pour comparer les différentes solutions techniques à la fois l'aspect confort thermique, mais également l'aspect énergétique.

#### 3.4.1 Critères de confort

Le paramètre de confort que nous avons choisi est la température résultante. Cette variable nous permet en effet de tenir compte de l'inconfort occasionné par les effets radiatifs de grande longueur d'onde.

$$T_{res} = 0.55 \cdot T_a + 0.45 \cdot T_r$$

avec  $T_a$  : température de l'air intérieur

$T_r$  : température radiante moyenne

$$T_r = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \cdot T_{si}}{\sum_{i=1}^n S_i}$$

avec  $T_s$  la température de surface pour la zone  $i$  et  $S_i$  la surface pour le composant  $i$ .

Nous avons suivi l'évolution dynamique de cette grandeur au cours de notre journée type, mais nous avons également utilisé des valeurs moyennes de jour et

de nuit, caractéristique d'une utilisation du logement de jour et de nuit.

- température résultante jour : moyenne de la température résultante de 7h00 à 19h00 ;
- température résultante nuit : moyenne de la température résultante de 20h00 à 0600 ;
- température résultante maximale.

### 3.4.2 Critères énergétiques

Un autre critère important est le critère énergétique. Nous avons utilisé ce critère pour quantifier au niveau puissance et énergie les améliorations apportées par les solutions techniques. Les critères retenus pour nos simulations sont :

- puissance maximale (W) ;
- puissance maximale par mètre carré (W/m<sup>2</sup>) ;
- énergie thermique totale journalière (kWh thermique) ;
- énergie thermique sur l'ensemble de la saison humide (kWh thermique).

Pour l'étude en puissance, nous avons simulé un système de traitement d'air de puissance infinie dans chaque pièce du logement avec une consigne à 25°C. Cette méthode nous a donc permis d'obtenir des résultats en consommation énergétique et en économie de puissance thermique.

## 3.5 La stratégie de simulation

### 3.5.1 Les composants de l'enveloppe

En ce qui concerne les éléments propres à l'enveloppe (toiture, parois opaques, vitrages), nous avons effectué pour chaque logement et chaque composant une étude en température et en puissance. Lors de nos simulations, le bâtiment est fermé et sans renouvellement d'air. Nous tenons compte seulement de l'aspect performance thermique de chaque solution. Cette première phase nous permet de retenir la meilleure solution technique. Par exemple, pour une paroi opaque, faut-il une protection solaire de  $d/h = 0.25$ ,  $0.50$ ,  $0.75$  ou  $1$  ( $d$  : dimension du débord et  $h$  : hauteur du mur, ou bien l'isolation est elle meilleure ? Nous avons donc testé différentes couleur de toiture avec une épaisseur d'isolant variant de  $0$  cm à  $10$  cm, différentes couleurs de parois opaques avec une protection solaire par débord de paroi variant de  $d/h = 0$  à  $d/h = 1$ , ou par une isolation thermique dont l'épaisseur varait de  $0$  cm à  $4$ cm. En ce qui concerne la protection solaire des vitrages, nous avons comparé différentes dimensions de casquette.

### 3.5.2 La ventilation naturelle

Le cas de la ventilation naturelle est un cas à part car nous pouvons appréhender seulement l'amélioration des performances en température. Le problème posé était de quantifier l'impact des perméabilités externes et internes sur la température résultante intérieure. En résumé, quel pourcentage d'ouvertures en façade doit on avoir pour améliorer le confort thermique, et l'agencement intérieur a-t-il une influence sur ce même confort thermique? Les puristes du logement bioclimatique donnent des pourcentages de  $40\%$  trop importants pour être économiquement réalisables [28]. Nous avons fait varier le taux de perméabilité intérieures et extérieures des logements type de  $15\%$  à  $40\%$ , et avons simulé toutes les combinaisons possibles.

### 3.5.3 Option Chambre climatisée

Nous supposons que l'une des chambres est climatisée avec une période de production de froid de 20h00 à 6h00. Les charges internes sont constituées par quatre personnes (2 adultes et 2 enfants), et par l'éclairage de chaque pièce. Le tableau suivant résume l'ensemble des charges internes.

Charges internes	Puissance sensible (W)	Puissance latente (W)
Adulte	60	60
Enfant	40	40
Éclairage chambre 1	100	0
Éclairage chambre 2	100	0
Éclairage séjour	300	0

Tableau 3 : Récapitulatif des charges internes - Logement individuel

Les simulations ont porté sur un bâtiment de base avec une mauvaise enveloppe, un renouvellement d'air important ( $5$  vol/h) et une température de consigne à  $26^\circ\text{C}$  et  $22^\circ\text{C}$ , et un logement avec une bonne protection solaire, un renouvellement d'air contrôlé à  $1$  vol/h et une consigne à  $26^\circ\text{C}$ . en ce qui concerne l'hygrométrie, nous l'avons fixée à  $60\%HR$ , même si la petite climatisation ne régule pas sur ce paramètre.

## 3.6 Cas réel

Une fois les solutions techniques de chaque composant d'enveloppe retenues, nous avons comparé dans une deuxième phase le logement de base qui est un logement mal conçu de manière globale (mauvaise protection solaire, ventilation insuffisante etc...), à un logement bien conçu et composé des solutions techniques que nous aurons retenues dans la première phase.

#### 4. RESULTATS

##### 4.1 Implantation sur le site

La conception de logements thermiquement et énergétiquement performants commence dès la phase d'implantation sur leur site de construction. L'environnement immédiat d'un bâtiment a en effet une influence significative sur les conditions de confort thermique à l'intérieur de celui-ci. C'est le cas en particulier du revêtement de sol à la périphérie du bâtiment qui ne doit ni réfléchir le rayonnement solaire vers le bâtiment, ni contribuer à un échauffement de l'air ambiant autour de celui-ci.

Les résultats sur l'implantation sont les suivants :

Le sol fini autour du bâtiment doit être protégé de l'ensoleillement direct sur au moins les trois quart de sa périphérie, sur une bande d'au moins trois mètres de large. Ceci peut être satisfait soit par une végétalisation du sol (pelouse, arbustes, fleurs au bord du bâtiment, soit par toute solution de type écran solaire végétal. Ces prescriptions rejoignent les recommandations de De Waal [7] concernant l'urbanisme en climat tropical humide.

##### 4.2 Protection solaire

Les sources d'inconfort proviennent en climat tropical humide d'une surchauffe en température due à une mauvaise conception architecturale des locaux sous l'effet de l'insolation. Cette surchauffe est à 80% due aux apports solaires, le reste provenant des apports par conduction à travers les parois extérieures. L'élaboration d'une protection solaire efficace constitue la seconde phase fondamentale dans la conception thermique des logements. Cette protection concerne toutes les parois extérieures du logement : toiture, murs et fenêtres.

###### 4.2.1 Protection solaire de la toiture

Les apports thermiques par les toitures peuvent représenter jusqu'à 60% des apports thermiques par les parois dans les logements. Une protection solaire efficace de la toiture constitue donc la première urgence d'une bonne conception thermique.

Le tableau suivant est valable pour des toitures terrasse, toiture rampante sans combles, toiture avec comble fermé ou faiblement ventilé.

En ce qui concerne les toitures avec combles fortement ventilés, celles-ci doivent comporter des

ouvrants de ventilation répartis uniformément sur tout son périmètre et dont la surface satisfait l'inéquation suivante :

$$\frac{S_0}{S_t} = \frac{\text{Surface totale d'ouverture}}{\text{Surface de toiture}} \geq 0.15$$

Dans ce cas, le plafond sous comble doit satisfaire certaines prescriptions (voir tableau 3).

<i>Toiture simple isolée</i>		
Couleur toiture	Isolant type polystyrène $\lambda = 0.041 \text{ W/m.K}$	Isolant type polyuréthane $\lambda = 0.029 \text{ W/m.K}$
claire ( $\alpha = 0.4$ )	5 cm	4 cm
moyenne ( $\alpha=0.6$ )	8 cm	6 cm
foncée ( $\alpha = 0.8$ )	10 cm	8 cm
<i>Toiture avec comble fortement ventilé</i>		
Couleur toiture	Isolant type polystyrène $\lambda = 0.041 \text{ W/m.K}$	Isolant type polyuréthane $\lambda = 0.029 \text{ W/m.K}$
claire ( $\alpha = 0.4$ )	pas d'isolation nécessaire	
moyenne ( $\alpha=0.6$ )	2 cm	0 cm

Tableau 4 : Protection solaire des toitures

D'une manière générale, la couleur claire seule permet de faire baisser la température résultante à l'intérieur du logement de 3°C, l'isolation apporte une diminution supplémentaire de 3°C également. La puissance thermique évitée est de 150W/m<sup>2</sup>, et l'énergie thermique évitée égale à 250kWh/m<sup>2</sup> sur l'ensemble de la saison humide.

Il est également possible d'utiliser des isolants minces réfléchissants [29] dont les performances sont basées sur la faible émissivité de ces matériaux au rayonnement grande longueur d'onde. Ce type de protection est très efficace en climat tropical humide où le rayonnement solaire est très important.

Le tableau 4.3 donne des résultats pour le polystyrène et la mousse de polyuréthane car ces procédés sont le plus couramment utilisé en climat tropical pour des raison de coût de mise en œuvre. D'autres alternatives existent bien évidemment et peuvent être utilisées si leur résistance équivalente est conforme à celle définie par le tableau 4.

###### 4.2.2 Protection solaire des parois opaques

Les apports thermiques par les murs représentent de 20 à 30% (40 à 65 % pour les logements qui ne sont pas sous toiture) des apports thermiques par les parois. Plusieurs solutions permettent de protéger les murs de l'ensoleillement : pare-soleils horizontaux et verticaux et verticaux, isolation thermique des murs.

Les résultats des simulations ont permis de constituer le tableau 6 qui donne les dimensions

optimales de débord en fonction de l'orientation de la paroi et de son inertie :

Lorsque les murs ne sont équipés d'aucun pare-soleil, les épaisseurs minimales d'isolant (en cm) à mettre en oeuvre pour différents types de murs et différentes orientations sont données par le tableau 5.

Ces solutions permettent de diminuer la température résultante intérieure de 0.5°C (logement lourd) à 1°C (logement léger). Elles permettent de réduire les flux thermiques rentrant de 70W/m², soit une énergie thermique évitée de 65kWh/m² sur l'ensemble de la saison humide.

4.2.3 Protection solaire des vitrages

La protection des fenêtres est fondamentale non seulement parce qu'elles représentent 15 à 30% des apports thermiques, mais aussi parce qu'elles

contribuent à accroître l'inconfort des occupants par un échauffement instantané de l'air ambiant et une exposition au rayonnement direct ou réfléchi. Toutes les fenêtres doivent donc être protégées au moyen de plusieurs dispositifs, tels que les auvents horizontaux, lames mobiles opaques.

Les simulations ont permis d'optimiser les caractéristiques géométriques des auvents horizontaux en fonction de l'orientation des vitrages. Les résultats sont présentés dans le tableau 7.

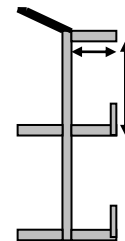
Ces solutions permettent de diminuer la température résultante intérieure de plus de 4°C pour un logement léger et de 2°C pour un logement lourd. Elles contribuent à diminuer le flux thermique de 120W/m² en moyenne, soit une énergie thermique évitée de 130 kWh/m².

Type de paroi opaque	Couleur claire				Couleur moyenne			
	Est	Sud	Ouest	Nord	Est	Sud	Ouest	Nord
Béton banché 20cm (R=0.1 m².K.W <sup>-1</sup> )	1	1	1	1	2	1	2	2
Blocs creux (R=0.2 m².K.W <sup>-1</sup> )	1	1	1	1	1	1	2	2
Bois (R=0.5 m².K.W <sup>-1</sup> )	0	0	0	0	0	0	1	1

Tableau 5 : Isolation des parois opaques (cm) en fonction de la couleur extérieure et de l'orientation (pour une conductivité thermique de 0.041 W.m<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>)

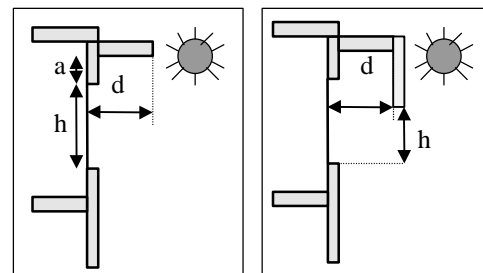
Type de paroi opaque	Couleur claire				Couleur moyenne			
	Est	Sud	Ouest	Nord	Est	Sud	Ouest	Nord
Béton banché 20cm (R=0.1 m².K.W <sup>-1</sup> )	0.4	0.2	0.7	0.5	1	0.5	1.3	0.7
Blocs creux (R=0.2 m².K.W <sup>-1</sup> )	0.1	0.1	0.3	0.2	0.5	0.3	0.8	0.5
Bois (R=0.5 m².K.W <sup>-1</sup> )	0	0	0	0	0	0	0.2	0.1

Tableau 6 : Débord de l'auvent - valeurs minimales de rapport d/h à respecter



Localisation	Orientation des fenêtres			
	Est	Sud	Ouest	Nord
Ile de La Réunion	0.8	0.3	1	0.6

Tableau 7 : Valeurs de d/(2a+h) (cas 1), ou d/h (cas 2)



cas 1

cas 2

4.3 Ventilation naturelle

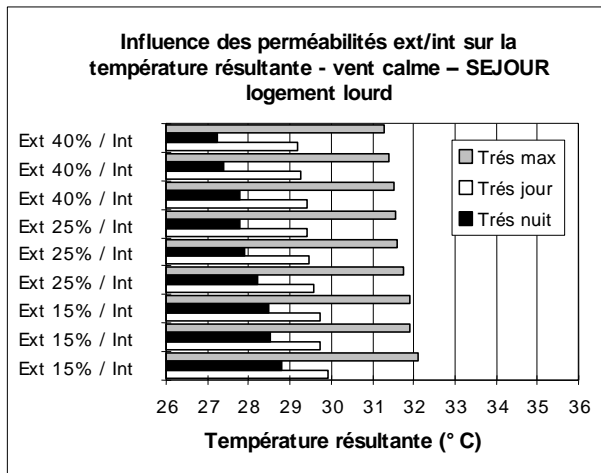
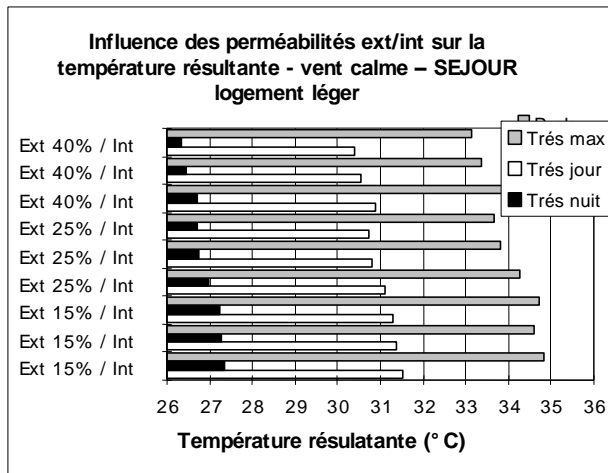
La ventilation naturelle peut selon l'importance du débit assurer trois fonctions [9], [28].

- *débit faible* (1 à 2 vol/h) pour le maintien des conditions d'hygiène par évacuation de l'air vicié.
- *débit moyen* (40 vol/h), pour l'évacuation des apports internes et le refroidissement de l'enveloppe.

- *débit élevé* (plus de 100 vol/h) pour assurer le confort par sudation. Ainsi, des vitesses d'air élevées et leur bonne répartition améliore le processus de sudation. C'est le seul moyen qui permette de compenser des températures élevées couplées à un fort taux d'hygrométrie.

Notre objectif est donc de rechercher le couplage des porosité à l'air extérieure et intérieure qui permette d'obtenir un taux de renouvellement d'air de 40 vol/h.

Nous constatons à l'issue des simulations que le taux de renouvellement d'air critique de 40 vol/h est obtenu



D'une part, l'enveloppe de logement sera refroidie suffisamment, d'autre part un tel taux de renouvellement d'air permet d'espérer des vitesses d'air de 0.2 à 0.5 m.s<sup>-1</sup>, ce qui suffit amplement compte tenu des paramètres climatiques (température extérieure dépassant rarement 32°C), à assurer un niveau de confort acceptable. On entend par porosité le pourcentage de façade perméable à l'air.

pour une configuration de porosité extérieure égale à 25% et de porosité intérieure de 25%, aussi bien pour un logement à structure légère qu'à structure lourde (voir figure 10). La ventilation naturelle sera simplement plus performante la nuit pour le logement à structure lourde, alors que pour le logement à structure légère, elle servira surtout à évacuer la surchauffe durant la journée.

Figure 10 : Influence des porosités extérieure et intérieure sur la température résultante pour un logement lourd et un logement léger

Le logement tel que le montre la figure 11 doit donc être complètement traversant. A chaque niveau ou étage, il doit posséder des ouvertures dans les pièces principales sur au moins deux façades opposées. (les pièces principales sont les chambres et le séjour). De plus, l'agencement intérieur doit être conçu de manière à ce que l'air extérieur s'écoule à travers les pièces principales et les couloirs, d'une façade à l'autre, par les portes et les autres ouvertures de cloisons.

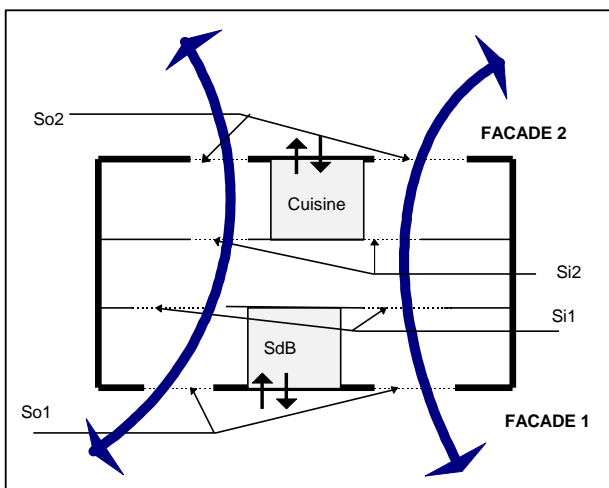


Figure 11 : Logement traversant

$$P1 = \frac{So1}{Sp} \geq 0.25$$

$$P2 = \frac{So2}{Sp} \geq 0.25$$

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

$$Si1 \geq So1 \text{ or } So2$$

$$Si2 \geq So1 \text{ or } So2$$

- So1 : surface nette d'ouvrants des pièces principales (façade 1).
- So2 : surface nette d'ouvrants des pièces principales (façade 2)
- Sp1, Sp2: Surface totale des pièces principales des façades 1 et 2.

La figure 11 donne également le détail des calculs à effectuer pour déterminer les porosités extérieures et intérieures à 25%.

#### 4.3.1 Brasseurs d'air

Lorsque cette ventilation ne peut pas assurer une vitesse suffisante, elle peut être alors complétée par des brasseurs d'air. Ceux-ci permettent en effet d'augmenter la plage de confort de plus de 2°C [30].

Chaque pièce du logement doit être équipée d'une alimentation électrique plafonnrière en attente, avec

interrupteur mural, destiné uniquement au raccordement d'un brasseur d'air.

4.4 Option Chambre climatisée:

Dans certains logements, et à certaines périodes de l'année, le seul recours à la ventilation naturelle, même assistée de brasseurs d'air, ne suffit pas à fournir un bon niveau de confort. dans ce cas, on peut choisir de climatiser les chambres avec des équipements performants. Les simulations que nous avons effectuées montrent que nous pouvons réduire les charges de climatisation par une bonne conception de l'enveloppe et un taux de renouvellement d'air contrôlé. En ce qui concerne le logement léger, les économies atteignent 3.4 kWh frigorifiques par jour, et 11 kWh pour un logement à structure lourde, où l'inertie joue un rôle prépondérant dans la consommation du climatiseur. Sur l'ensemble de la saison humide, les consommations ont été diminuées de moitié avec une bonne conception (1000 kWh frigorifique). La puissance frigorifique maximale est alors de 80W/m².

Pratiquement, les systèmes de traitement d'air devront répondre à des exigences de rendement (efficacité frigorifique de 2.5 pour les windows et 3 pour les split-systèmes), de perméabilité (chaque chambre devra posséder un renouvellement d'air mécanique contrôlé égal à 25m³/h), et de contrat de maintenance.

4.5 Cas réel

Nous avons comparé dans cette partie des logements de base mal conçu à des logements qui respectent les prescriptions du label en terme de protection solaire et de ventilation naturelle.

Les figures 12 et 13 montrent les gains en confort réalisés pour le logement individuel léger et lourd dans la zone du séjour. Avec une bonne conception thermique, la température résultante à l'intérieur du logement reste inférieure à la température extérieure.

Nous avons pu également mettre en évidence la contribution de chaque solution dans l'amélioration du confort intérieur (voir Tableau 8). Nous voyons que la protection solaire du toit et la ventilation naturelle sont des composants essentiels dans l'amélioration du confort intérieur et contribuent à hauteur de plus de 70% .

	la toiture	murs	vitrages
<b>Logement léger</b>			
Jour	46	29	15
Nuit	0	66	16
<b>Logement lourd</b>			
Jour	38	38	10
Nuit	19	56	12

Tableau 8 : Pourcentage d'amélioration du confort thermique pour chaque solution passive

5. CONCLUSION

L'ensemble des simulations effectuées nous ont conduit à définir des solutions techniques passives performantes pour chaque composant de l'enveloppe, ainsi qu'un ratio minimal de perméabilité de façades pour optimiser la ventilation naturelle. Les logements qui seront construits dans le cadre d'ECODOM devront satisfaire l'ensemble de ces solutions techniques qui est contenu dans un document de référence à l'usage des architectes et des bureau d'études[31]. Ce document basé sur les règles expertes définies précédemment sert de base de travail pour la labélisation des opérations futures ECODOM.

Une étude technico-économique a été lancée de manière à évaluer les surcoûts en matériaux. Sur une opération globale, le surcoût par logement ne dépasserait pas 10000 Francs français(1500 EURO). Il s'agit donc d'offrir au Maître d'Ouvrage une prime incitative du même ordre de grandeur par logement labellisé.

Les objectifs en terme de nombre de logements sont de l'ordre de 6000 logements en trois ans. Le gain énergétique total serait alors de l'ordre de 6 MW en puissance appelée et 23 GWh électrique (5100 TEP). Les répercussions sur l'environnement seraient également importantes car 23 GWh électrique économisés représentent en première approche une réduction d'émission de 5000 T de CO₂.

Trois opérations de logements ont déjà été construites en 1999 selon les prescriptions ECODOM.

Un suivi expérimental et sociologique des logements est actuellement en cours à La Réunion sur ces opérations, de manière à valider expérimentalement l'impact des solutions sur le confort des occupants.

Ce suivi est d'autant plus important que la mise en place de l'opération ECODOM préfigure l'application d'une réglementation thermique dans les départements d'Outre-mer français d'ici l'an 2002.

Protection solaire de	Ventilation naturelle	Protection solaire des	Protection solaire des
-----------------------	-----------------------	------------------------	------------------------

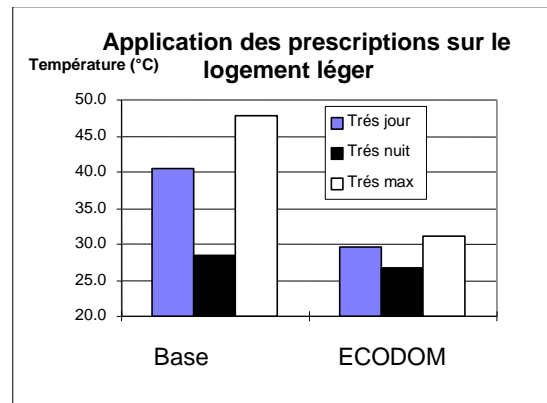
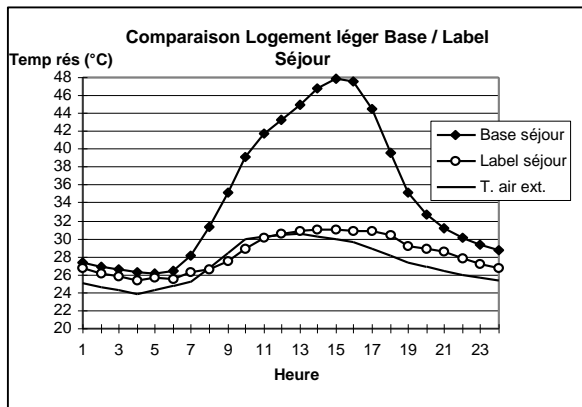


Figure 12 : Comparaison logement Ecodom / logement de base léger- Evolution des températures résultantes

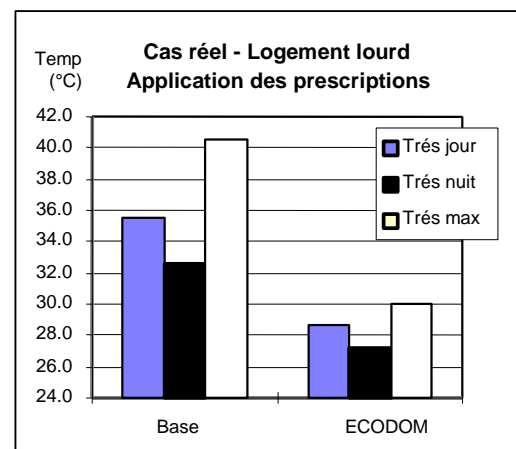
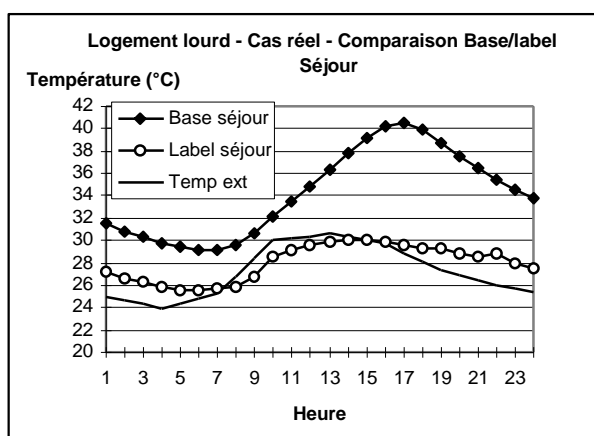


Figure 13 : Comparaison logement Ecodom / logement de base léger- Evolution des températures résultantes

## 6. BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Pouget, A.**, *Les réglementations thermiques françaises dans l'habitat et le secteur non résidentiel neuf. Energétique des bâtiments Tome 3 : Les bâtiments et leurs équipements.* Paris, PYC Edition, 1989. p. 453-485.
- [2] **Malama A., Sharples S.**, *Thermal and Economic Implications of Passive Cooling Strategies in Low-Cost Housing in Tropical Upland Climates.* Architectural Science Review, vol 39 (1996) 95-105.
- [3] **Olusmbo O. Ogunsoye**, *Computer Assessment of Architectural Design*, Habitat International, vol 16, n°1 (1992) 25-40.
- [4] **Ratnaweera C., Hestnes A.G.**, *Enhanced cooling in typical Sri Lankan dwellings*, Energy and Buildings, vol 23 (1996), 183-190.
- [5] **Bansal N.K., Garg S.N., Kothari S.**, *Effect of Exterior Surface Color on the Thermal Performance of Buildings.* Building and Environment, vol. 27 (1992) 31-37.
- [6] **Rousseau P.G., Mathews E.H.**, *A new integrated design tool for naturally ventilated buildings.* Energy and buildings, 1996, vol 23 (1996) 231-236.
- [7] **De Waal H.B.**, *New Recommendations for Building in Tropical Climates*, Building and Environment, vol 28 (1993) 271-285.
- [8] **Millet J.R.** *Conception thermique des bâtiments en climatisation naturelle dans les D.O.M.* Document d'application C.S.T.B n° 88.4343, 1988, 124 p.
- [9] **Gandemer, J., Barnaud, G., Sacre, C., Millet, J.R.** *Guide sur la climatisation naturelle en climat tropical humide. Tome 1 : Méthodologie de prise en compte des paramètres climatiques dans l'habitat et conseils pratiques.* C.S.T.B., 1992. 133 p.
- [10] **Gandemer, J., Barnaud, G., Sacre, C., Millet, J.R.** *Guide sur la climatisation naturelle en climat tropical humide. Tome 2 : Exemples de solutions architecturales développant la ventilation naturelle*, C.S.T.B., 1997. 73p.
- [11] **Gatina J.C., Hervé P., Auffret P.Y.**, *Habitat et Climat à la Réunion. Construire en pays tropical humide.* Documents et recherche n°11. Saint Denis de la Réunion : Fondation pour la Recherche et le Développement dans l'Océan Indien.

- [12] **Garde F., Boyer H., Adelard L., Gatina J.C.**, *Rapport Label Ecodom, Validation des prescriptions du document du label. Application à des logements types à l'île de la Réunion*. Convention EDF-Université de la Réunion, 1996.
- [13] **Clarke, J., A.** *Energy simulation in building design*. Glasgow (U.K.): Adam Hilger Ltd, 1985, 383 p., ISBN 0-85274-797-7.
- [14] **Bauman, B. et al.** *Verification of BLAST by comparison with measurements of a solar dominated test cell and a thermally massive building.*, Journal of Solar Energy Engineering, 105, 207-216 (1983)
- [15] **H. Joubert, E.H. Mathews**, *QuickTEMP, A thermal analysis program for designers of naturally ventilated buildings*, Building and Environment, **24**, 2, p. 155-162 (1989).
- [16] **Roux, J.J.** *Proposition de modèles simplifiés pour l'étude du comportement thermique des bâtiments*. Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 201 pp. (1984).
- [17] **B. Peupartier, I. Blanc Sommeureux**, *Simulation tool with its expert interface for the thermal design of multizone buildings*, Solar Energy, 8, 109-120 (1990).
- [18] **G.N. Walton**, *A computer algorithm for predicting infiltration and interroom airflows*. ASHRAE Transactions, 90, 1, 601-610 (1984)
- [19] **K. Heerlin**. *MOVECOMP - a multizone infiltration and ventilation simulation program*. Air Infiltration Review, 9, 3, (1988)
- [20] **Gautier B, Rongere F X, Bonneau D** : *CLIM2000, The energy simulation tool and modelling method*. Building Simulation'91 conference, 20-22 August 1991, Nice, France.
- [21] **Boyer H., Chabriat J.P., Grondin-Perez B., Tourrand C., Brau J.**, *Thermal Building Simulation and Computer Generation of Nodal Models*. Building and Environment, vol 31, n°3 (1996) 207-214.
- [22] **Boyer H., Lauret A.P., Adelard L., Mara T.A.**. *Building ventilation : a pressure airflow model computer generation and elements of validation*. Energy and Buildings, 29, (1999), 283-292.
- [23] **Boyer H., Gatina J.C., Brau J., Pignolet. F.** *Modelisation methods and data structuration induced for simulation codes*. First Joint Conference of International Simulation Societies, ETH, Zurich, 22-25 Août 1994, pp. 729-733
- [24] **Boyer H., Garde F., Gatina J.C., Brau J.**, *A multi model approach of thermal building simulation for design and research approach*. Energy and Building, 28, pp. 71-78 (1998).
- [25] **Garde, F.** *Validation et développement d'un modèle thermo-aéraulique de bâtiments en climatisation passive et active. Intégration multimodèle de systèmes*. Thèse : Sci : Université de La Réunion, juillet 1997, 260 p.
- [26] **Garde, F., Boyer, H., Gatina, J.C.**, *Elaboration of global quality standards for natural and low energy cooling in french tropical island buildings*. Building and Environment, 34 (1999) pp.71-83.
- [27] **F. Lucas, F., Mara, T., Garde, F., Boyer, H.**, *A comparaison between CODYRUN and TRNSYS, simulation codes for thermal building behaviour*. Renewable Energy, 15 (1998), Part. II, 1624-1633.
- [28] **Abdessalam M., Campana D.**, *Guide de la conception climatique du bâtiment en climat tropical humide, Application à la Nouvelle Calédonie, rapport AFME*, 1988.
- [29] **Centre for Renewable Energy Sources**, *Natural and Low Energy Cooling in Buildings*. Report by order of The European Commission Directorate General XVII for Energy, 1994.
- [30] **Mallik Fuad.H.**, *Thermal comfort and building design in the tropical climates*, Energy and Buildings, vol. 23 (1996) 161-167.
- [31] **Célaire R.**, *Opération expérimentale ECODOM. Prescriptions techniques*. Document de référence. 32p.

## Elaboration d'un label de conception thermique des bâtiments dans les Départements d'Outremer français

### Plan du manuscrit :

1. Les enjeux de la maîtrise de l'Énergie dans la conception thermique des bâtiments
2. Le label ECODOM
3. Méthodologie
4. Résultats



- 5. Conclusion
- 6. Bibliographie

**Liste des légendes :**

Figure 1 : Evolution des puissances appelées et disponibles et de la consommation électrique annuelles – La Réunion.....	1
Figure 2 : Les domaines d'action de la M.D.E. dans les DOM.....	2
Figure 3 : Evolution du nombre de logements alimentés à La Réunion par rapport à la population totale.....	2
Figure 4 : Algorithme général de CODYRUN .....	5
Figure 5 : Journée type (conditions normalisées de beau temps) .....	6
Figure 6 : Vues du logement individuel type.....	7
Figure 7 : Plan type pour l'ensemble des simulations.....	7
Figure 8 : Les différentes configurations de logement collectif étudiées. ....	7
Figure 9 : Logement collectif type.....	8
Figure 10 : Influence des porosités extérieure et intérieure sur la température résultante pour un logement lourd et un logement léger .....	12
Figure 11 : Logement traversant .....	12
Figure 12 : Comparaison logement Ecodom / logement de base léger- Evolution des températures résultantes .....	14
Figure 13 : Comparaison logement Ecodom / logement de base léger- Evolution des températures résultantes .....	14