

Liste des Figures et des Tableaux

Chapitre I

	Page
<i>Figures :</i>	
<i>Figure 1.1 : Maison de terre</i>	10
<i>Figure 1.2 : Maison surélevée en matériaux végétaux</i>	12
<i>Figure 1.3 : Maison à terre en matériaux végétaux</i>	14
<i>Figure 1.4 : Evolution de l'architecture Malgache</i>	17
<i>Figure 1.5 : Bâtiment évolué</i>	18
 <i>Tableaux :</i>	
<i>Tableau 1.1 : Type de logement selon le milieu</i>	20
<i>Tableau 1.2 : Type de logement selon le quintile</i>	20
<i>Tableau 1.3 : Surface moyenne occupé selon le type de logement</i>	21
<i>Tableau 1.4 : Matériaux de construction : le plancher</i>	22
<i>Tableau 1.5 : Matériaux de construction : l'enveloppe verticale</i>	22
<i>Tableau 1.6 : Matériaux de construction : la toiture</i>	22
 Tableau 1.7 : Zone de confort admissible en fonction de la température extérieure	 23

Chapitre II

<i>Figures :</i>	
<i>Figure 2.1 : Schéma synoptique de l'organisation de CODYMA.</i>	29
<i>Figure 2.2 : Fenêtre principale de CODYMA.</i>	30
<i>Figure 2.3 : Modèles des paramètres d'échanges extérieurs et intérieurs.</i>	30
<i>Figure 2.4 : Description des composantes inter-ambiances : les parois opaques et les vitrages.</i>	31
<i>Figure 2.5: Fenêtre du masque solaire</i>	31
<i>Figure 2.6 : Courbes d'ensoleillement direct et diffus pour la séquence d'été.</i>	33
<i>Figure 2.7 : Courbes de température et humidité relative extérieur pour la séquence d'été.</i>	34
<i>Figure 2.8 : Courbes du vitesse et direction du vent pour la séquence d'été.</i>	34
<i>Figure 2.9 : Courbes d'ensoleillement direct et diffus pour la séquence d'hiver.</i>	35
<i>Figure 2.10 : Courbes de température et humidité relative extérieur pour la séquence d'hiver.</i>	35
<i>Figure 2.11 : Courbes du vitesse et direction du vent pour la séquence d'hiver.</i>	36
 <i>Tableaux :</i>	
<i>Tableau 2.1 : Les composants de zone et d'inter ambiance dans un bâtiment</i>	28

Chapitre III

Figures :

Figure 3.1 : Température de l'air intérieur selon l'orientation du bâtiment	42
Figure 3.2 : Température de l'air intérieur selon l'orientation du vitrage	43
Figure 3.3 : Influence de la température à l'intérieur du bâtiment selon le type de paroi	44
Figure 3.4 : Influence de masque solaire (encadrement) du vitrage placé sur la façade Nord	46
Figure 3.5 : Influence de masque solaire (casquette) du vitrage placé sur la façade Nord	46
Figure 3.6 : comparaison type de masque solaire du vitrage	47
Figure 3.7 : Flux directs incident sur chaque façade du bâtiment	47
Figure 3.8 : Flux directs incident sur le toit	49
Figure 3.9 : Influence de l'isolation de la toiture	49
Figure 3.10 : Flux directs et diffus sur la face Sud	50
Figure 3.11 : Flux directs et diffus sur la face Nord	51
Figure 3.12 : Influence de l'isolant sur la face Nord	51
Figure 3.13 : Flux directs et diffus sur la façade Ouest	52
Figure 3.14 : Influence de l'isolant sur la façade Ouest	52
Figure 3.15 : Flux directs et diffus sur la face Est	53
Figure 3.16 : Influence de l'isolant sur la face Est	53
Figure 3.17 : Influence de l'épaisseur du mur	54
Figure 3.18 : Evolution de la température selon le revêtement de la paroi	54
Figure 3.19 : Comparaison température de l'air intérieur du bâtiment initial et final	56
Tableaux :	
Tableau 3.1 : Propriétés thermo-physiques des parois de l'enveloppe du bâtiment initial	40
Tableau 3.2 : Dimensions du bâtiment initial	41
Tableau 3.3 : Propriétés thermo-physiques du parpaing	41
Tableau 3.4 : Caractéristiques du masque solaire et les réductions du diffus calculées	45
Tableau 3.5 : Propriétés thermophysiques des parois de l'enveloppe du bâtiment final	55
Tableau 3.6 : Dimensions du bâtiment final	56

SOMMAIRE

Liste des figures et des tableaux	3
Introduction générale	7
<i>Chapitre I : Structure et problématique de l’habitat à Madagascar</i>	8
I.1 Type des bâtiments existants à Madagascar	9
I.1.1 Habitations traditionnelles malgaches	9
I.1.1.1 Présentation générale	9
I.1.1.2 Habitation de terre	10
I.1.1.3 Habitation en matériaux végétaux surélevés	12
I.1.1.4 Habitation en matériaux végétaux à terre	14
I.1.2 Habitations améliorées	16
I.1.2.1 Habitat de forme traditionnelle évoluée	16
I.1.2.2 Constructions modernes	18
I.2 Etudes statistiques	19
I.2.1 Type des logements	19
I.2.2 Surface moyenne des logements	20
I.2.3 Le type des matériaux utilisés	21
I.3 Problématique de l’habitat à Madagascar	23
I.3.1 Sur le plan sanitaire	23
I.3.2 Sur le plan matériaux	23
I.3.3 Sur le plan socioculturel	24
Conclusion	24
Chapitre II : Environnement climatique à Madagascar et présentation du code CODYMA	25
II.1 Présentation du logiciel de simulation : CODYMA	26
II.1.1 L’origine de CODYMA	26
II.1.2 A qui est destiné CODYMA ?	26

II.1.3	<i>Architecture du CODYMA</i>	27
II.1.4	<i>Description hiérarchique du bâtiment</i>	27
II.1.5	<i>Les fenêtres principales de CODYMA</i>	29
II.2	Environnement climatiques à Madagascar	32
II.2.1	Situation géographique	32
II.2.2	Positionnement climatique	32
II.2.3	Choix du fichier météorologique et d'une journée type	32
Chapitre III : Simulation thermique des bâtiments et proposition des recommandations dans la construction du bâtiment à Madagascar		37
III.1	Méthodologie	38
III.2	<i>Description du bâtiment à simuler</i>	39
III.3	<i>Influence de l'orientation du bâtiment</i>	41
III.4	<i>Influence de l'orientation du vitrage</i>	43
III.5	<i>Influence du type de matériaux</i>	43
III.6	<i>Influence du masque solaire</i>	44
III.7	<i>Protection solaire de l'enveloppe du bâtiment</i>	48
III.7.1	Isolation de la toiture	49
III.7.2	Protection solaire des murs	50
III.7.3	L'épaisseur du mur	54
III.8	<i>Proposition de recommandation d'un bâtiment type à Madagascar</i>	57
<i>Conclusion générale</i>		59
<i>Références bibliographiques</i>		60
<i>Annexes</i>		62

Introduction

La plupart des maisons à Madagascar ont été bâties sans tenir compte des exigences des occupants sur les ambiances intérieures de l'habitat. Compte tenu de l'environnement climatique et géographique ainsi que le type de construction à Madagascar, nous proposons dans la présente étude une première approche de la description numérique du bâtiment à Madagascar.

Dans un contexte général de conception numérique des bâtiments : Rakoto Joseph Onimihamina apporte au travers de ses études la contribution de mise en œuvre de réglementations thermiques de l'habitat Malagasy [Rakoto Joseph 04], François Garde et ses équipes ont fait l'amélioration du confort thermique, la réduction des dépenses énergétiques des logements dans le label ECODOM [GARDE 96]. Sur le cas traité, au départ d'une conception thermique initiale assez performante (sur l'épaisseur des ouvertures, l'orientation des bâtiments, les matériaux utilisés, ...).

Dans notre cas, l'objet du travail est donc de continuer et d'améliorer le travail antérieur au niveau du confort thermique de l'habitat sur les termes de protection du vitrage contre le rayonnement solaire, choix des matériaux, protection des parois opaques. Et à partir de cette amélioration, nous avons donné des propositions de recommandation dans la construction du bâtiment à Madagascar.

Dans le premier chapitre, nous parlerons de la structure et du type de bâtiment existant à Madagascar.

Comme tous les pays du monde ont leur propre logiciel de simulation thermique des bâtiments, pour Madagascar, nous présentons le code CODYMA [Rajaonarivelo 02], qui est un outil de travail, et l'environnement climatique dans la deuxième chapitre. Ce code a été conçu avec la collaboration de l'équipe du Laboratoire du Génie Industriel de l'Université de La Réunion.

Enfin le dernier chapitre concerne l'application de ce code. Cette dernière est consacrée aux différentes simulations des configurations du bâtiment.

Chapitre I

**STRUCTURE ET PROBLEMATIQUE DE L'HABITAT A
MADAGASCAR**

I.1 Type des bâtiments existants à Madagascar

Introduction

Le Malgache qui construit une maison oublie rarement de faire appel à un astrologue puisque ce monde visible n'est que le reflet de celui des ancêtres, et chaque orientation, chaque jour de la semaine ont une "valeur" qu'il ne convient pas de transgresser. Et si certains y attachent de moins en moins de crédit, ils n'en sacrifient pas moins au rite car les ouvriers et tout l'environnement social continuent d'y croire. Un simple petit accident de travail serait vite mal interprété !

I.1.1 Habitations traditionnelles malgache

I.1.1.1 Présentation générale

En général il y a trois types d'habitations traditionnelles :

- habitations de terre, dans la région d'Antananarivo et Fianarantsoa
- habitations en matériaux végétaux surélevées, des régions de Toamasina
- habitations en matériaux végétaux à terre, des régions de Mahajanga, Toliary et Antsiranana

Un modèle d'habitation rectangulaire à pièce unique s'est répandu pratiquement dans toute l'île, mais avec des variantes quant aux matériaux utilisés, lesquels proviennent de la végétation du lieu d'implantation. Dans le Nord, on utilise souvent les nervures de raphia pour le plancher, les murs et les portes, alors que les Mahafaly du Sud-Ouest privilégient l'aloès et le sisal en colmatant les interstices des parois avec de la bouse de zébu. En pays Tanala, c'est le bambou fendu, aplati et séché qui prévaut depuis les murs où les planchettes sont joliment entrecroisées jusqu'au toit fait de plusieurs couches superposées.

Dans l'Androy, le bois des épineux est tout naturellement le matériau communément utilisé, au contraire des pêcheurs vezo du Sud-Ouest qui érigent des cases légères de jonc ligaturé par des roseaux.

Une note insolite est apportée par les maisons de bois des Zafimaniry dans la forêt joutant Ambositra (Hautes Terres) avec leurs ouvertures richement sculptées, ainsi qu'à

l'autre bout de Madagascar par les "cases ballons" du village de Dzamanzar à Nosy Be. La Côte Est par contre est le royaume du "Ravinala" ou Arbre du voyageur qui désaltère le passant tout en logeant le villageois. Les feuilles séchées appelées "raty" assurent la toiture tandis que les pétioles ou "falafa" sont fixés sur des baguettes pour former les parois. Le plancher quant à lui provient du tronc du Ravinala que l'on débite pour obtenir des planches légères et souples. Pour se protéger aussi bien de l'humidité que des prédateurs, les cases sont bâties sur pilotis ou sur un soubassement en ciment.

Sur les Hautes Terres, l'architecture en bois fut longtemps le privilège de l'aristocratie comme en témoignent la case royale d'Andrianampoinimerina à Ambohimanga et les différents palais de l'ancien Rova d'Antananarivo. Ces vieilles demeures nobles étaient très belles avec leur veranda et leurs colonnes. A partir de 1868 on vulgarisa les matériaux non combustibles par crainte des incendies contre lesquels pratiquement rien n'était prévu. Dès lors se généralisa l'emploi de la tuile et de la brique non seulement dans la capitale mais aussi dans toutes les Hautes Terres où elles concurrencèrent le pisé et la chaume. La campagne de l'Imerina garde encore de ces vieilles maisons souvent effilées et à colonnades, entourées de murs ou "Tamboho" tous crevassés mais résistant admirablement aux assauts des ans et des intempéries.

I.1.1.2 Habitation de terre



Figure 1.1 : Maison de terre

Ce type d'habitation se trouve dans les régions d'Antananarivo et de Fianarantsoa.

Dans la région d'Antananarivo.

D'architecture du 19^{ème} siècle, la construction est à un étage :

- au rez de chaussée : animaux, matériel agricole
- à l'étage : habitation et cuisine. La façade principale porte une large véranda posée sur des piliers en briques, elle est toujours orientée vers le soleil couchant.

Dans la région de Fianarantsoa

Suivant l'exemple de la maison Merina, l'habitation Betsileo s'est profondément modifiée depuis un siècle ; la construction en matières végétales, herbe ou bois, a fait place à la construction en produit minéral, terre ou briques. Cette modification est une conséquence directe de la déforestation et de la raréfaction des matériaux utilisables pour les anciennes constructions ; elle a du moins en l'avantage de permettre à l'habitant d'avoir une demeure plus chaude, mieux fermée, et à tout prendre, en raison de l'altitude, plutôt plus agréable.

Matériaux de construction

Les constructions typiques de l'époque pré coloniale pouvaient être faites de terre ou de bois. Bâtie sur la latérite, la maison de la région Betsileo a des murs faits de planches et une toiture de chaume. La cheminée n'existait pas.

La terre utilisée est une argile latéritique d'une extrême finesse et de très bonne compacité, elle est préparée avec beaucoup de soin, humidifiée et malaxée à pied d'homme ou avec l'aide des zébus dans une fosse, jusqu'à l'obtention d'une pâte répondant à des qualités parfaites de plasticité et de compacité.

Le plafond consiste en un solivage en bois rond assez serrés, avec roseaux jointifs, le tout noyé dans une couche de fotaka ; ces plafonds sont très élastiques et peu résistants.

Dimension

Leurs maisons ont comme dimensions 4m sur 2.50m à 3m, avec toiture en paille.

Ouverture

Il existe en général un seule porte et une fenêtre. Ses deux ouvertures se trouvent sur la façade Ouest. La fenêtre, à 1 m de hauteur du sol, et 40 à 45cm sur la face.

Mode de construction de la maison

La construction doit obéir à certains rites. Il faut qu'elle débute un jour fixé par le devin, et s'accompagne d'un sacrifice propitiatoire, coq rouge ou bœuf pour les gens riches. Cette cérémonie effectuée, un fossé de 15 à 20cm de profondeur est tracé, qui marque l'emplacement des murs.

La terre est amenée à pied d'œuvre par blocs que le maçon façonne en un cordon contenu sur le périmètre de la construction, le cordon fait 4cm à 60cm de haut et 30cm à 50cm d'épaisseur suivant l'importance de la bâtisse.

Les murs sont ensuite enduits d'une pâte plus plastique assurant une protection ; selon les argiles utilisées, la couleur de la construction peut aller d'une ocre très claire au rouge brun vif ; une fouette des murs à l'aide d'herbes chargés de sève provoque la formation d'une véritable pellicule assurant la protection contre le ruissellement, principal facteur de dégradation.

I.1.1.3 Habitation en matériaux végétaux surélevée

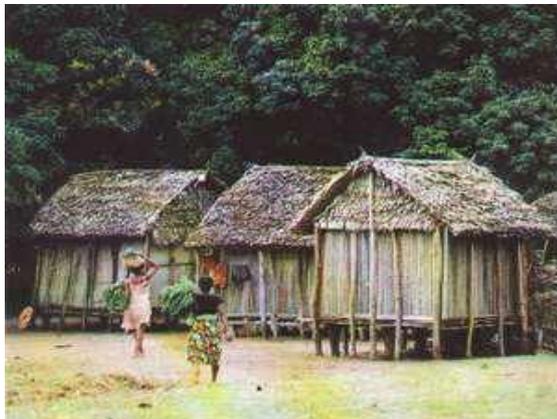


Figure 1.2 : Maison surélevée en matériaux végétaux

Ce type d'habitation se trouve dans la région de la côte Est. La construction est entièrement en matériaux végétaux, avec une pièce unique. La case est bâtie sur des piliers de 30cm de hauteur environ, isolant la maison du sol (eau, nuisibles).

La maison en planches constituait la demeure des personnages plus aisés et des chefs ; elle dût être général vers le XVIIIe siècle, mais est devenue de nos jours très rare et disparaîtra d'une façon définitive à brève échéance. Le prix des planches rendant aujourd'hui leur entretien trop onéreux.

Matériaux de construction

Les habitants utilisent le ravinala (arbre du voyageur) pour réaliser les piliers (tronc), les murs (écorce), parfois des roseaux et bambous, pour construire des maisons bien adaptées au climat et la toiture (feuilles).

La végétation environnante est luxuriante, on y reconnaîtra le ravinala avec ses feuilles disposées en éventail.

Dimension

Les dimensions sont de l'ordre de 5 à 6m de long et 3m de large. Le plancher s'élève au-dessus du sol de 30cm de hauteur environ. Les pilotis peuvent dépasser un mètre.

Ouverture

L'ouverture est unique dans la partie Nord du mur Ouest : une seule porte et sans fenêtre.

Mode de construction

La procédure débute par la mise en place des bois verticaux principaux qui déterminent les dimensions de la maison, ensuite des pilotis, puis des supports du plancher et du reste de la charpente.

Des côtes de feuilles d'arbres juxtaposées maintenues par des baguettes transversales minces mais résistantes constituent les murs.

Le toit est en chaume épais, débordant largement sur les quatre faces de la maison, préservant ainsi les murs des ardeurs du soleil.

Le plancher qui est formé d'écorce d'arbre, généralement recouvert de natte est établi sur des pieux fichés dans le sol, il en est distant de 30cm environ.

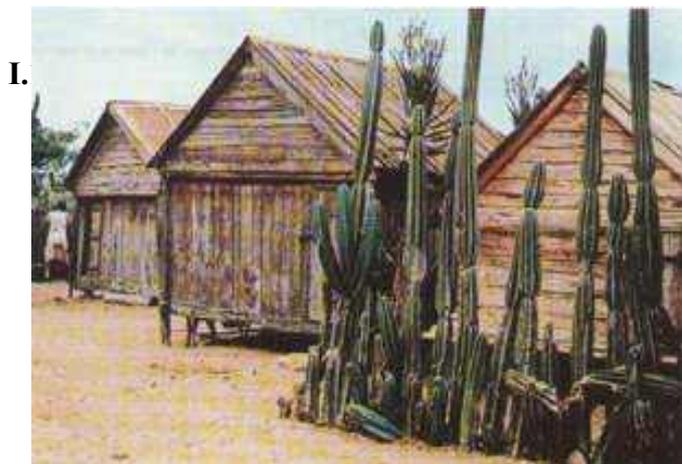


Figure 1.3 : Maison à terre en matériaux végétaux

Ce type d'habitation se rencontre dans les régions de Mahajanga, Toliary et Antsiranana. La case est presque toujours sur pilotis dans les régions de l'Est du district de Bealanana ou plus au Nord, où l'humidité est plus grande.

Matériaux de construction

Les matériaux utilisés varient suivant la région, les plus utilisés sont les bararata et les feuilles de palmier, la nervure de raphia ou bao dans le Nord et Sud-Ouest, en planches dans l'extrême Sud de Madagascar.

On distingue chez les Tsimihety :

- La trano tsiaka, qui comporte un assemblage de lamelles placées côte à côte et laissant entre elles de nombreux interstices ;
- La trano ketikety, plus confortable, qui possède une cloison de minces pétioles juxtaposés avec minutie ;
- La trano tsimatahoposa, qui a une épaisseur de tsiaka en dedans, renforcée à l'extérieur par des tiges accolées (latsy) qui rendent le mur plus hermétique ; une véranda fait le tour.

On peut ainsi voir, pour les parois et pignons les combinaisons suivantes :

- Paroi de bao horizontaux, toiture de paille, pignons de bao verticaux.
- Paroi de falafa, toiture également en falafa, pignons en feuille de ravalala.
- Le toit est suivant les régions, en manevika (*Imperata arundinacea*), en feuilles de ravalala, en pétioles de raphia disposés très serrés dans le sens de la pente, quelquefois même en panneaux de zozoro.

Dimension

Elle peut être de forme rectangulaire de 1.5m sur 2m ; 2.5m sur 4m ou de forme carrée de 2m de côté. La hauteur varie de 1.80m à 2.50m.

Ouverture

Les ouvertures font toujours face à l'Ouest, selon la coutume dite miakandrefam-baravarana. Une porte étroite de 50cm de large et surélevée de 150cm à 160cm, ouverte dans le Nord de la paroi Ouest ; et une lucarne de 40cm sur 50cm au Sud de la même paroi se trouve à une hauteur moyenne de 80cm.

Mode de construction

Les parois sont constituées par une double rangée épaisse de planches, parfois finement sculptées peu profondément de cercles concentriques. Dans certaines régions où la température est plus froide, les parois sont quelquefois enduites intérieurement d'un mélange de bouses de terre.

Le plancher est en terre battue.

Toute la base de l'habitation est bordée des petites dalles de pierre protectrices.

I.1.2 Habitations améliorées

L'évolution propre à l'habitation à Madagascar offre un intérêt qui n'est pas moindre. L'introduction de tous les métiers européens du bâtiment (cuisson de la brique, céramique, tuiles, amélioration de l'usage de bois) a eu de profondes conséquences qui se sont étendues aussi bien dans les villes que dans les campagnes. Elle a permis aux habitants des Hauts-Plateaux de rêver d'agrandir les dimensions de sa maison, de prévoir des locaux séparés pour les animaux. La véranda elle-même, qui leur est due, a fait son apparition dans certaines habitations rurales, montrant ainsi à quel point ces habitants sont perméables aux progrès.

Ainsi, il y a deux types d'habitation améliorée :

- Habitats de forme traditionnelle évoluée
- Constructions modernes

I.1.2.1 Habitats de forme traditionnelle évoluée

Forme

Ce sont des maisons à véranda construites à partir du brique crue ou quelque fois en brique cuite, mais avec angles et piliers de la véranda en briques cuites, servant ainsi de renfort.

Pour les classes aisées, l'habitation comprend : au rez-de-chaussée un couloir central et deux pièces latérales servant l'une de salle à manger et l'autre de salon, et une cuisine en angle, s'ouvrant sur la salle à manger, avec porte d'accès extérieur.

Au premier étage où on monte par un escalier portant du couloir : 2 pièces servant de chambre à coucher et de débarras, séparées également par le couloir central.

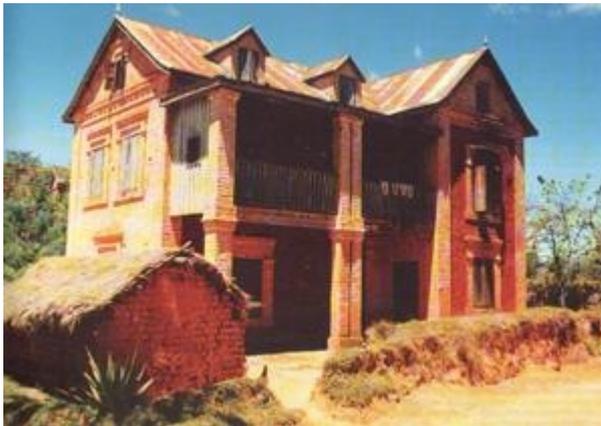


Figure 1.4 : Evolution de l'architecture Malgache

Matériaux de construction

Les techniques apportées de l'étranger ont amélioré les matériaux de base. La terre pétrie (fotaka) est remplacée par la brique de terre crue, puis la brique cuite et le parpaing.

Dimension

La dimension de la maison dépend de la possibilité financière de l'individu. La maison peut comporter plusieurs pièces. Elle mesure environ 6 à 7m de long sur 4m de large.

Ouverture

Elle a une porte de 1.70m de hauteur sur 0.60m de large et les fenêtres sont en nombre variable. Il en existe toujours une dans le Nord du mur Ouest pour éclairer la pièce du fond ayant une faible dimension de 1 m de hauteur sur 0.60m de large.

Mode de construction

La technique de construction se développe de plus en plus. Quel que soit le nombre de pièces et d'étages, on procède toujours au crépissage, non seulement pour donner au mur un aspect agréable, mais surtout pour le protéger.

I.1.2.2 Constructions modernes

Forme

Voici maintenant un modèle un peu plus confortable. Ce sont des villas individuelles ou des maisons à étage comportant plusieurs appartements en location. Les murs sont badigeonnés à l'intérieur et à l'extérieur avec une peinture, toit en tuiles ou en tôles.



Figure 1.5 : Bâtiment évolué

Matériaux de construction

En général, le choix du matériau de construction se porte sur leur disponibilité locale. Les matériaux le plus utilisés sont :

- Murs en brique cuite
- Mur en parpaing

Les habitations les plus riches se construisent à partir, de parquet de bois de diverses couleurs, d'ébène et de palissandre, et disposés en figures géométriques comme une sorte de marqueteries. Par contre, dans les villages de « brousse », l'habitat est resté traditionnel.

Dimension

Les dimensions sont très variables selon les moyens de chaque individu.

Mode de construction

Les modes de constructions dépendent des matériaux utilisés. Les gens font appel aux architectes pour faire leur plan de la maison.

I.2 Etudes statistiques

Ce paragraphe décrit les caractéristiques des logements des ménages. Le type de logement, les conditions d'occupation, sa qualité matérielle sont des éléments substantiels qui permettent d'apprécier le confort du ménage en relation avec son bien-être et ses conditions de vie.

I.2.1 Type des logements

La classification des logements dépendait des observations soit par milieu rural et urbain, soit par mode d'occupation de ces logements. Ainsi, on a cinq classes de logements :

- un appartement est un regroupement de quelques pièces assorties de toilettes, cuisine, ...
- un studio est composé d'une pièce assortie éventuellement des toilettes, cuisine...
- une chambre est une pièce servant à la fois de chambre à coucher et de séjour ; les toilettes et la cuisine sont souvent communes avec d'autres occupants

- une maison individuelle traditionnelle est un immeuble indépendant habité exclusivement par le ménage. Le style de construction est assez ancien, et il comprend en général plusieurs pièces
- une villa est un immeuble moderne indépendant

Type de logement	CAPITALE (%)	RURAL (%)	Ensemble (%)
Appartement	16.8	6.8	8.7
Studio	2.2	0.7	1.0
Chambre	35.4	5.7	10.0
Maison individuelle de type traditionnel	36.7	84.8	77.3
Villa	4.4	1.1	1.5
Autre	4.6	0.9	1.5

Tableau 1.1 : Type de logement selon le milieu (Source INSTAT/DSM/EPM2002)

Plus couramment, on trouve des occupations de maisons individuelles de type traditionnelles 77.3% sur l'ensemble de l'habitat se trouvant à Antananarivo. Dans la capitale, ce taux est plus faible (36.7%) dû à une plus forte densité d'occupation. Il est peu fréquent qu'un ménage occupe un immeuble entier comme les maisons individuelles traditionnelles dans la capitale. En milieu rural, la facilité de construction traditionnelle a un taux un peu plus élevé de 84.8% d'occupation de ces maisons individuelles traditionnelles.

Type de logement	Les plus pauvres (%)	Les plus riches (%)	Ensemble (%)
Appartement	3.9	18.5	8.7
Studio	0.0	2.2	1.0
Chambre	3.0	16.5	10.0
Maison individuelle de type traditionnel	92.3	55.7	77.3
Villa	0.5	4.7	1.5
Autre	0.3	2.5	1.5

Tableau 1.2 : Type de logement selon le quintile (Source INSTAT/DSM/EPM2002)

Les maisons individuelles de type traditionnelles occupent 92.3% chez les plus pauvres. Chez les plus riches, par contre, les taux d'occupation élevés sont en sus ceux des appartements pour 18.5% et ceux des chambre pour 16.5%.

I.2.2 Surface moyenne des logements

Les maisons traditionnelles occupent une moyenne de 30m² en superficie. Chez les plus pauvres, les surfaces sont plus restreintes avec une moyenne de 24.5m². A l'opposé, chez les plus riches, l'occupation moyenne est de 38m². Les villas ont une surface moyenne 73m², un peu plus que le double de celle de la surface moyenne des maisons traditionnelles.

Type de logement	Les plus pauvres (m ²)	Les plus riches (m ²)	Ensemble (m ²)
Appartement	27.1	38.9	39.1
Studio	0.0	41.0	29.9
Chambre	22.2	27.9	26.2
Maison individuelle de type traditionnel	24.5	36.5	30.2
Villa	15.9	79.3	72.8
Autre	16.0	43.4	38.3

Tableau 1.3 : Surface moyenne occupé selon le type de logement (Source INSTAT/DSM/EPM2002)

I.2.3 Le type des matériaux de construction utilisés

Une étude statistique et des recherches bibliographiques ont été réalisées sur la nature des matériaux les plus utilisés par la population.

Ainsi, les différentes natures des matériaux les plus répandus dans les bâtis, pour chaque région, peuvent se résumer dans les tableaux (1.4)-(1.5) et (1.6). Nous pouvons constater que les terres battues et les terres cuites restent les matériaux les plus utilisés par la grande partie de la population pour la construction de l'enveloppe verticale du bâtiment.

Les toitures sont constituées de « Bozaka » ou de tiges et les planchers par des bois ou à mener la terre, selon l'endroit géographique. Les différents types de matériaux de construction à Madagascar sont :

- sur les hauts plateaux, la région de la côte Ouest et de la côte Sud Ouest de la Grande Ile, l'utilisation de terres battues et de terres cuites prédomine pour l'enveloppe verticale et des tôles pour les toitures.
- dans les régions Nord et Nord Est de l'Ile, les plus chaudes et subissant les passages fréquents de cyclones pendant la saison humide, la population utilise les matériaux locaux, comme les « Bozaka » et les « satrana » ou tiges de Ravinala pour la construction de l'ensemble. Ces bâtiments légers s'adaptent plus ou moins mal aux climats mais plus faciles à reconstruire.

PLANCHER	Tige,					
	Terre (%)	Planche (%)	Ciment (%)	Carreaux (%)	Ecorce, Feuille (%)	Autres (%)
Antananarivo	57,1	20,6	16,6	0,5	3,1	2,1
Antsiranana	2,4	22,8	17,5	0,1	40,4	16,4
Fianarantsoa	49,2	10,2	4,4	0,1	20,4	15,7
Mahajanga	54,7	0,7	16,7	0,2	19,2	8,5
Toamasina	7,4	24,3	9,6	0,1	39,8	18,8
Toliary	57,3	4,2	9,6	0,1	17,3	11,4

Tableau 1.4 : Matériaux de construction : le plancher (Source INSTAT)

MUR	Terre Brique							
	Ciment (%)	battue (%)	cuite (%)	Tôle (%)	Bois (%)	Bozaka (%)	Tige (%)	Autres (%)
Antananarivo	3,9	73,3	19,1	0,1	1,6	0,2	0,2	1,6
Antsiranana	4,5	1,2	0,2	10,9	6,2	1,1	56	19,9
Fianarantsoa	0,9	46,3	3,5	0,2	1,5	0,2	37,8	9,6
Mahajanga	3	61,9	1,5	3,9	2,3	2,7	17,4	7,3
Toamasina	1,2	18	3,1	3,3	5,9	0,2	57	11,3
Toliary	2,7	46,6	2,1	1,9	14,5	12,4	9,7	10,1

Tableau 1.5 : Matériaux de construction : l'enveloppe verticale. (INSTAT)

TOIT	Ciment Bozaka					
	Tuile (%)	Tôle (%)	(%)	(%)	Tige (%)	Autres (%)
Antananarivo	7,3	33,5	0,4	57,6	0,2	1
Antsiranana	0,1	29,2	6,7	8,2	54,8	7
Fianarantsoa	2,1	13,1	0,1	42,6	38,6	3,5
Mahajanga	0,2	17	0,2	45,9	34,1	2,6
Toamasina	0,3	19,7	0,2	17,9	57,7	4,2
Toliary	0,2	13,2	0,3	65,4	11,1	9,8

Tableau 1.6 : Matériaux de construction : la toiture (INSTAT)

I.3 Problématique de l'habitat à Madagascar

I.3.1 Sur le plan sanitaire

L'hygiène n'est pas respectée dans la plupart des maisons traditionnelles :

La tradition et le manque de moyen obligent les gens à réduire les ouvertures en nombre et en dimension.

On voit souvent des familles d'une dizaine de personnes s'entassant dans deux pièces qui, fermées le soir, deviennent vite étouffantes. Ce qui rend facile la propagation des maladies sur les autres personnes.

Dans toutes les régions de Madagascar, le problème de la protection contre l'humidité se pose : le sol en terre battue qui provoque une forte humidité à l'intérieur de l'habitat, et l'existence d'humidité relativement élevée à Madagascar.

I.3.2 Sur le plan matériaux

Les données statistiques ci-dessus nous montrent que, d'une part, l'ensemble des bâtiments à Madagascar a été construit avec des matériaux locaux dont les conductivités thermiques sont suffisamment élevées (exemple l'utilisation des tôles pour les toitures), et que d'autre part, la température extérieure se situe généralement entre le 15°C et 30°C. En effet, à défaut de matériaux isolants, la température de l'air à l'intérieur présente un fort gradient entre sa valeur maximale (le jour) et sa valeur minimale la nuit. Cependant, le critère de température le plus important dans un local est son *uniformité*. Et la norme des températures ambiantes qui devraient satisfaire le plus grand nombre d'intéressés est loin d'être atteinte (tableau 1.7).

Température extérieure (°C)	18-26	26-28	28-30	30-32
Température intérieure (°C)	22-25	23-25	24-26	25-26

Tableau 1.7 : Zone de confort admissible en fonction de la température extérieure (Source : Valeurs recommandées dans le document allemand ASR 6/1 Arbeitsstättenrichtlinie)

I.3.3 Sur le plan socioculturel

Les conditions de réalisation des constructions des bâtiments à Madagascar sont fortement liée aux spécificités socioculturel de la population [Rajaonarivelo 02]. Elle se présente comme suit :

- *structures sociales rigides,*
- *accès à l'éducation et à l'information réservée à certaines catégories sociales,*
- *faible pouvoir d'achat de la majorité de la population,*
- *niveau technologie limité,*

L'ensemble de ces conditions a constitué un obstacle pour l'amélioration de l'habitat et à la demande de confort. Bien connaître les données d'un lieu et apporter toujours les mêmes réponses aux objectifs retenus en matière de construction ont entretenu cette stabilité des conditions de réalisation des projets immobiliers.

Dans les types du bâtiment cités ci-dessus, la fonctionnalité de l'habitation, le confort thermique, l'adaptation au terrain, au site et climat, la sécurité et l'esthétique ont été mis en cohérence dans un contexte économique assez pauvre et avec l'utilisation des matériaux locaux disponibles.

Conclusion

Nous avons vu non seulement l'histoire de l'habitat à Madagascar avec leurs caractéristiques géométriques et les matériaux de construction mais aussi des données statistiques.

L'étude de ces différents types d'habitations a permis de mettre en évidence la problématique de l'habitat à Madagascar : le type de l'habitat existant ne répond pas aux normes d'hygiène et de l'économie de l'énergie. La problématique de ce type d'habitation fera l'objet de ce travail. Une étude de comportement thermique de l'habitat sur l'utilisation de l'isolant et du masque solaire sera menée pour définir la proposition des recommandations dans la construction du bâtiment à Madagascar, afin d'améliorer le confort thermique à l'intérieur de l'habitat.

Comme cette étude nécessite un code de calcul pour les simulation thermique, nous avons utilisé le code CODYMA que nous avons présenté dans le chapitre suivant.

Chapitre II

ENVIRONNEMENT CLIMATIQUE A MADAGASCAR ET PRESENTATION DU CODE CODYMA

II.1 Présentation du logiciel de simulation : CODYMA

II.1.1 L'origine de CODYMA

Compte tenu de la normalisation du bâtiment, l'environnement climatique et géographique ainsi que le type de construction existant à Madagascar ; l'idée est venue de celle d'un logiciel détaillé de simulation thermo-aéraulique de bâtiment multizones nommé CODYRUN [BOYER 93] pour concevoir un bâtiment confort et économique en terme d'énergie.

La préoccupation des concepteurs de réduire la consommation énergétique et d'obtenir une meilleure qualité thermique des ambiances a favorisé la mise au point de ce logiciel simulant le comportement dynamique des bâtiments.

CODYMA est un code de calcul de simulation thermique, aéraulique et hydrique de bâtiments multizones, développé au sein de l'Institut pour la Maîtrise de l'Energie (IME) [J. RAJAONARIVELO 02], entrepris initialement en partenariat avec l'équipe du Génie Civil et Thermique de l'Habitat du Laboratoire de Génie Industriel de l'Université de La Réunion. En plus, CODYMA possède une structure d'accueil multi-modèles, permettant ainsi des niveaux de finesse différents.

Plusieurs travaux de recherche ont été entrepris pour contribuer à la validation de ce logiciel : les auteurs s'intéressent particulièrement à la validation globale du logiciel, incluant la phase de vérification, par comparaison inter-logiciel en utilisant la procédure BESTEST [JUDKOFF 95], la phase de validation expérimentale. Actuellement, une mémoire de DEA est en cours pour contribuer la validation aéraulique.

II.1.2 A qui est destiné CODYMA ?

Ce logiciel propose deux aspects, l'un du type recherche et l'autre propose une aide à la conception. CODYMA peut donc être utilisé différemment selon les objectifs de simulation des utilisateurs. Il s'agit d'un outil destiné aux chercheurs travaillant à la compréhension des phénomènes physiques et au développement de modèles de plus en plus efficaces pour les concepteurs de bâtiments ou les architectes. Appliqué en conception, ce type d'outil permet alors de s'assurer ainsi 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 (modes de transfert de chaleur, aéraulique, ...). Ces fonctionnalités seront exploitées au cours de la présente étude.

II.1.3 Architecture du CODYMA

D'une manière globale, CODYMA permet d'étudier le comportement thermo-aéraulique de bâtiment multizones et est doté d'une interface évoluée sous l'environnement du PC permettant de décrire le bâtiment étudié en le décomposant en éléments tels que zones thermiques, composants, parois,...

CODYMA se décompose en trois modules principaux dont un synoptique est donné ci dessous.

- Tout d'abord description du bâtiment et des conditions météorologiques.
- Simulation à partir des deux fichiers obtenus lors de la phase précédente.
- Enfin, l'exploitation des résultats.

Le logiciel CODYMA admet en entrée un fichier horaire météorologique constitué à l'aide des mesures expérimentales ou des données simulées.

Les sorties sont constituées principalement des grandeurs liées à la réponse du thermique du bâtiment : les densités du flux direct, du diffus et du flux global pour chaque paroi, le bilan d'échange aéraulique, la température de l'air à l'intérieure du bâtiment, ainsi que la température radiante.

II.1.4 Description hiérarchique du bâtiment

Concernant les aspects thermiques, le logiciel est multizone, dans le sens où le noyau de calcul thermique calcule les paramètres (températures, puissances, ...) liés aux différentes zones thermiques définies lors de la description.

Avant toute simulation, la description préalable du bâtiment est requise. Celle-ci repose sur une vision modulaire du bâtiment.

Zones : une zone est une pièce (ou un ensemble des pièces) pouvant être supposée à température uniforme. La décomposition d'une zone est laissée à l'initiative de l'utilisateur.

Inter-ambiances : une inter-ambiance est le lieu géométrique des composants (parois, vitrages, ...) séparant deux zones thermiques préalablement définies. Zones et inter-ambiances permettent de mettre en place le squelette du bâtiment, sur lequel tous les composants vont être greffés.

Les composants : un composant sera une entité identifiable par un libellé et peut appartenir à une zone ou inter-ambiance.

Composants de zone	Composants d'inter ambiance
Paroi interne	Paroi de séparation
Système de traitement d'air	Paroi sur terre pleine
Charge interne	Paroi sur vide sanitaire
Bouche de ventilation	Vitrage
	Grande ouverture
	Petite ouverture
	Débit

Tableau 2.1 : Les composants de zone et d'inter ambiance dans un bâtiment

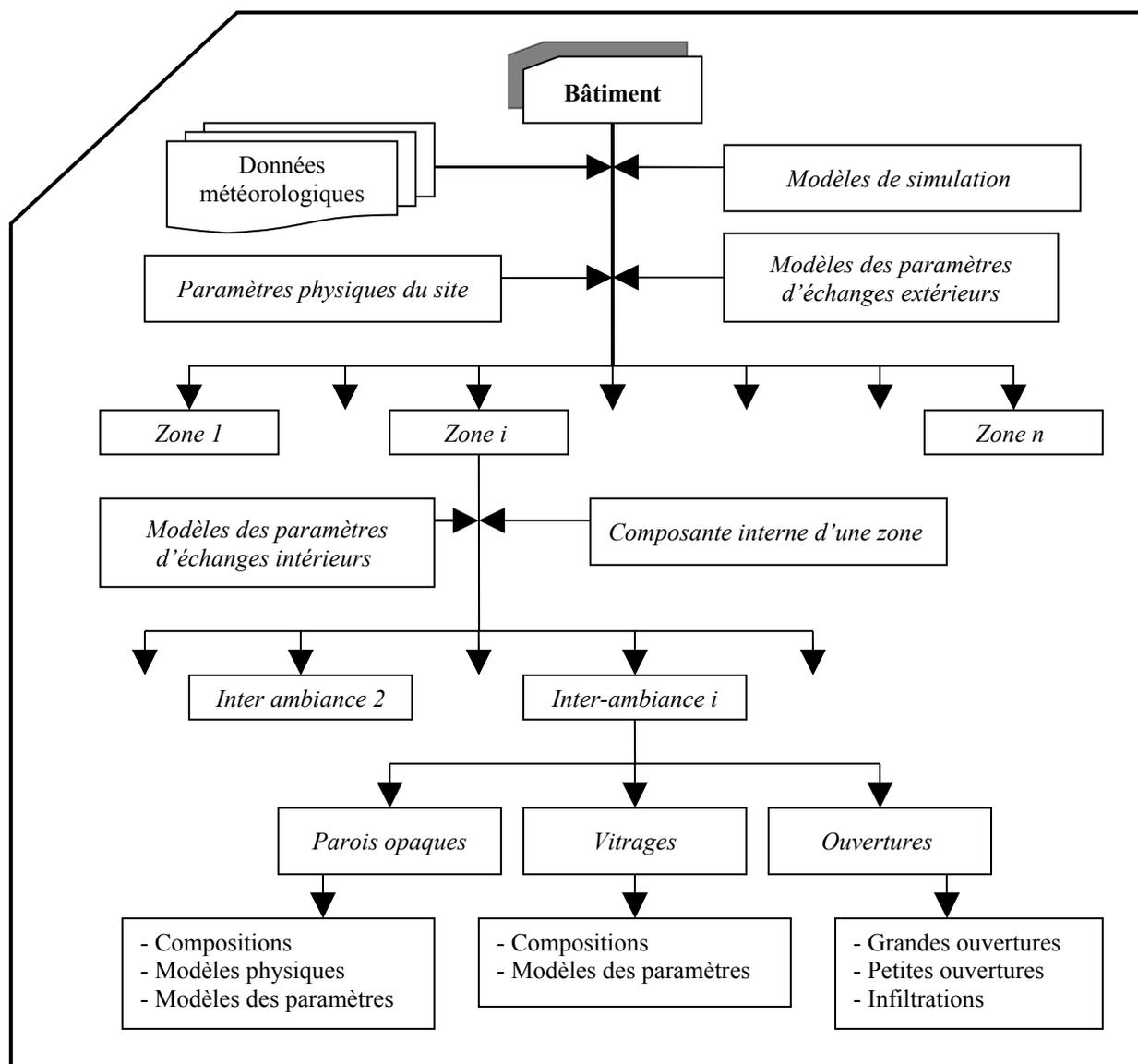


Figure 2.1 : Schéma synoptique de l'organisation de CODYMA.

II.1.5 Les fenêtres principales de CODYMA

La fenêtre principale présente la première fenêtre de saisie d'informations de CODYMA (figure 2.2). Elle permet aux utilisateurs de définir les paramètres liés au bâtiment (le nom du bâtiment, le nombre de zones, les volumes de chaque zone) et les paramètres liés à son environnement physique (l'albédo du sol), ainsi le paramètre géographique et météorologique (le nom du fichier météorologique).

Les boutons qui se trouvent dans cette fenêtre donnent accès aux choix des options de simulation et la navigation entre les différents modules de simulation proposés ainsi que les composantes internes de la zone du bâtiment.

Figure 2.2 : Fenêtre principale de CODYMA.

La seconde fenêtre concerne les paramètres d'échanges extérieur et intérieur, comme les paramètres de convection (coefficients de convection intérieur et extérieur de l'enveloppe du bâtiment) et les coefficients du rayonnement intérieur et extérieur du bâtiment, ainsi que les propriétés des enveloppes du bâtiment (absorptivité, d'émissivité intérieur et extérieur).

Figure 2.3 : Modèles des paramètres d'échanges extérieurs et intérieurs.

La figure suivante concerne l'enveloppe du bâtiment, son orientation donnée par son azimut, l'inclinaison par rapport à l'horizontal, les valeurs de la surface, les épaisseurs de chaque couche, ainsi que les constitutions de la paroi suivant la liste dans la bibliothèque, que l'on peut modifier ou ajouter d'autres matériaux.

Codyma version 3.0 : Parois Nord_ext de la zone N° 1 Nom Bât. : Bati13N_ete

N° zone : 1 Et zone : 1
 Inter zone : 1
 Nom Parois : Nord_ext
 Azimut (°) : 180
 Surf.p.opaq.(m²) : 15.6
 Masque Loint. : Pas Définie
 Inclinaison(°) : 90

Nb Vitrages : 1
 Surf Vit. (m²) : 6
 Coef.Trans.1 : 0.85
 Coef. Abs.1 : 0.05
 Coef.Trans.2 :
 Coef.Abs.2 :
 Cond Vit (W/m².K) : 3

Simple C./Couche

Couche de l'int. vers ext.	Conduct.	Chal.mas.	Mass.Vol.	Epaisseur (m)
Matériaux	0	0	0	0.00
Pptés Therm Vitrage	0.00	0.00	0.00	0.00

Parois int. ou ext. R2C Vide sanitaire R2C Coupl. Cv/Ray.
 Parois extérieure 3R2C C./Couche Vide sanitaire 3R2C Coupl. Cv/Ray
 Interface Bât/Sol S.AMJAD Mod. anamorphe Masque Vitrage

< Bâtiment Suivant > Aérauliques >> Zone >>> Annuler

Figure 2.4 : Description des composantes inter-ambiances : les parois opaques et les vitrages.

La fenêtre des composantes présente un aspect global du composant et à partir des *PushButton* associés, il est possible d'accéder à tous les détails de celui-ci.

La fenêtre suivante donne le détail concernant la description géométrique du masque proche associé au composant (vitrage).

Codyma 3.0 : Masque Solaire Nord_ext zone n° : 1 Nom bât. : Bati13N_ete

Zone N° : 1
 Nom Paroi : Nord_ext
 Orientation (°) : 180
 Surface (m²) : 6
 Largeur (m) : 3
 Hauteur (m) : 2

Simple ou Double vitrage
 Coef.Trans.1 : 0.85
 Coef. Abs.1 : 0.05
 Coef.Trans.2 :
 Coef.Abs.2 :
 Cond.Vit (W/m².K) : 3

Casquette Muret Flan Gauche Flan Droit Encadrement

Largeur (m) : 3.25 Nouveau
 Profon. (m) : 0.5
 Incl. (°) : 0
 Perméabilité : 0
 Dist/Fenêtre : 0.5

< Bâtiment Comp.suiv.> Aéraulique >> Close

Figure 2.5: Fenêtre du masque solaire

II.2 Environnement climatiques à Madagascar

II.2.1 Situation géographique

L'île de Madagascar se trouve dans l'hémisphère sud, dans le sud-ouest de l'Océan Indien, séparé de la côte sud-est de l'Afrique par le canal du Mozambique. C'est une zone intertropicale. Avec une superficie de 587041km², elle est la quatrième île du monde après le Groenland, la Nouvelle-Guinée et Bornéo, elle s'étend du 12^{ème} au 26^{ème} degrés de latitude sud et entre 43°14' et 50°27' de longitude est. Sa longueur est de 1600km et développe 7000 km de côtes.

II.2.2 Positionnement climatique

Le climat de Madagascar est d'une extrême variété suivant les régions et les côtes « au vent » (côte est) et les côtes « sous le vent » (côte Ouest). D'une manière générale, de par la position de l'île dans l'hémisphère sud, le climat peut être qualifié de tropical. Les saisons sont inversées car nous sommes dans l'hémisphère sud. Le climat général est alterné par une saison sèche (incluant l'hiver austral) et une saison des pluies. Saisons des pluies, de novembre à mars et saison sèche d'avril à octobre. Des nuances sont importantes entre la côte au vent (est) qui reçoit les alizés de plein fouet avec précipitations toute l'année et la côte sous le vent (ouest), à l'abri des alizés, qui reçoit moins de pluies.

Les Hautes Terres (région de Tananarive) : la saison sèche dure d'avril à octobre, avec une période d'hiver austral de juin à août. Les pluies sont fortes mais courtes, de mi-novembre à mars seulement.

La côte ouest : c'est la côte la plus sèche et la plus ensoleillée de Madagascar.

La côte est : il y pleut toute l'année, surtout de décembre à mars, saison des pluies officielles. Les mois de septembre, octobre et novembre, sont les plus secs.

La saison cyclonique : officiellement de mi-décembre à mi-avril. Dans la meilleur des cas, il pleut beaucoup.

II.2.3 Choix du fichier météorologique et d'une journée type

Le choix d'une journée type doit être le plus représentatif de la période la moins confortable de l'année, nous avons choisi une séquence climatique de saison froide extrême, très humide, avec des températures nocturnes proche du minima mensuel et une séquence climatique de saison chaude extrême, avec une température maximale, et un fort ensoleillement. C'est pourquoi, nous avons choisi les fichiers météo intitulés *meteo_ete.wk1*

et *meteo_hiver.wkl* qui proviennent des mesures faites à Madagascar (à Antananarivo). C'est une donnée importante car les apports énergétiques seront différents selon l'orientation des parois.

Le tracé sur 10 jours des grandeurs caractéristiques fournit les éléments suivants :

Séquence d'été

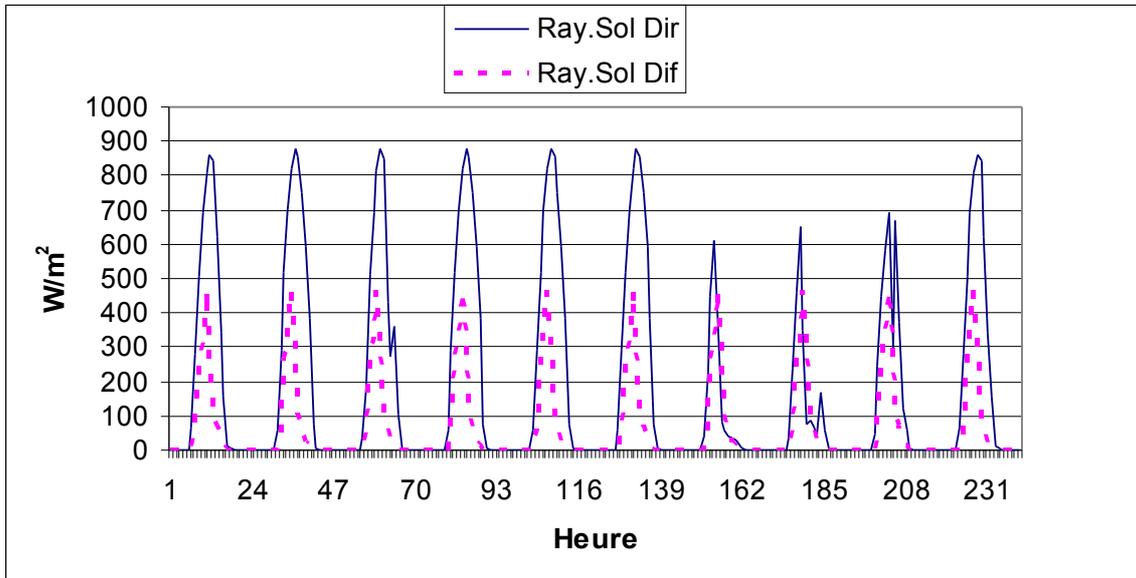


Figure 2.6 : Courbes d'insolation directe et diffuse pour la séquence d'été.

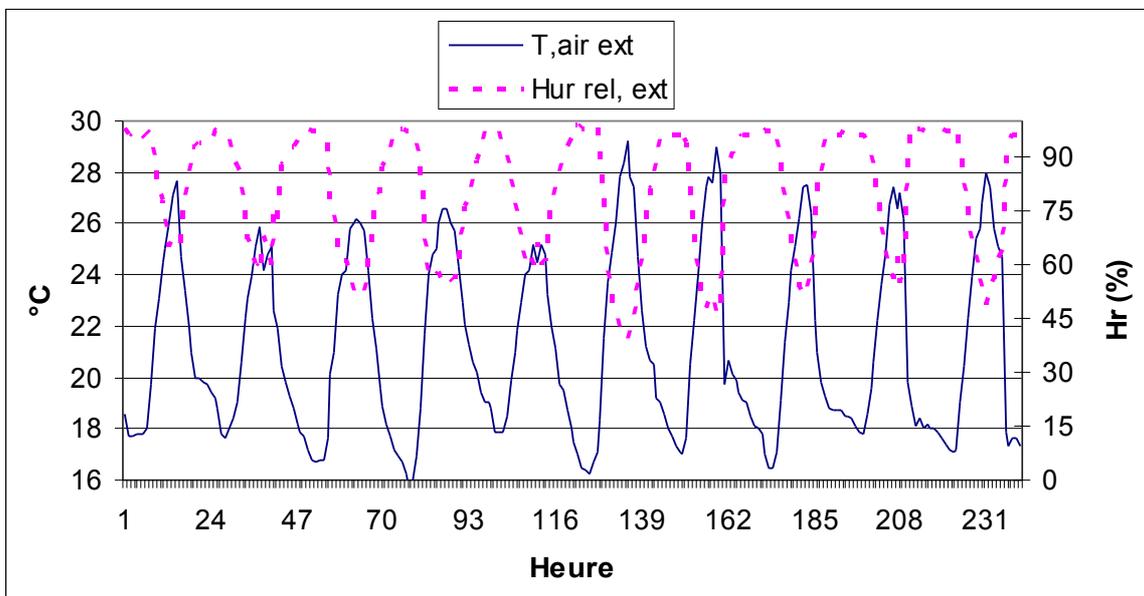


Figure 2.7 : Courbes de température et humidité relative extérieure pour la séquence d'été.

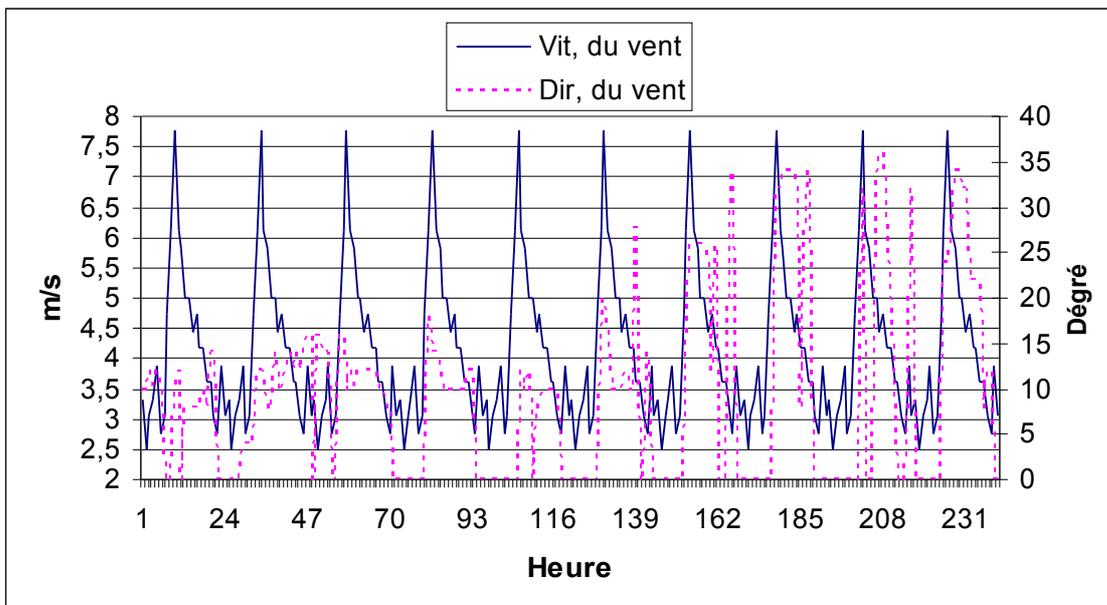


Figure 2.8 : Courbes du vitesse et direction du vent pour la séquence d'été.

En été l'ensoleillement direct atteint des valeurs maximales de l'ordre de 877W/m^2 , caractéristique de la saison chaude et correspond à des journées où la couverture nuageuse est faible. Le fort taux d'humidité relative (variant entre 45% le jour et 97% la nuit) associée à une température d'air extérieur élevée peut conduire à des situations d'inconfort au sein de l'habitat.

La vitesse et la direction du vent mettent en évidence deux régimes distincts :

- un régime nocturne où le vent à une vitesse faible et vient du sud : c'est la brise thermique.
- un régime d'alizés venant de l'Est et ayant une vitesse soutenue de l'ordre de 2.5 à 7.77m/s.

Séquence d'hiver

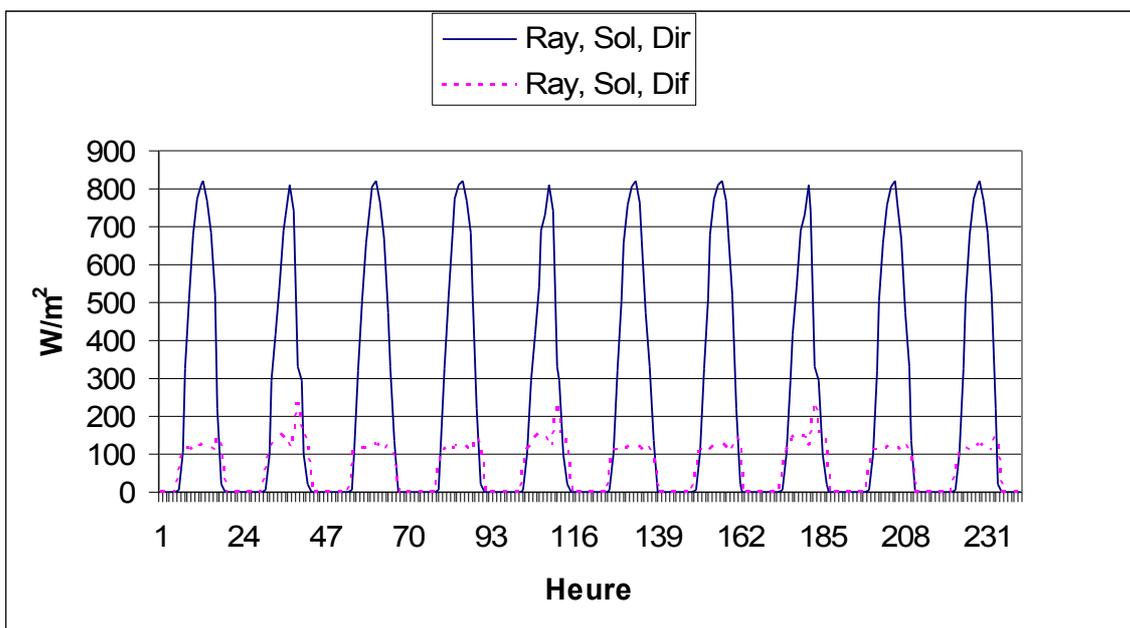


Figure 2.9 : Courbes d'ensoleillement direct et diffus pour la séquence d'hiver.

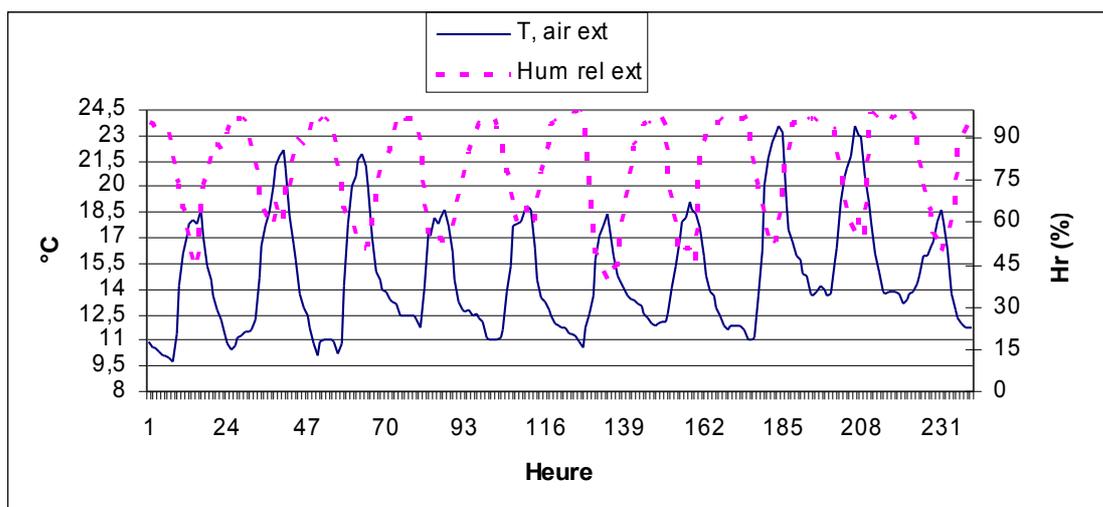


Figure 2.10 : Courbes de température et humidité relative extérieure pour la séquence d'hiver.

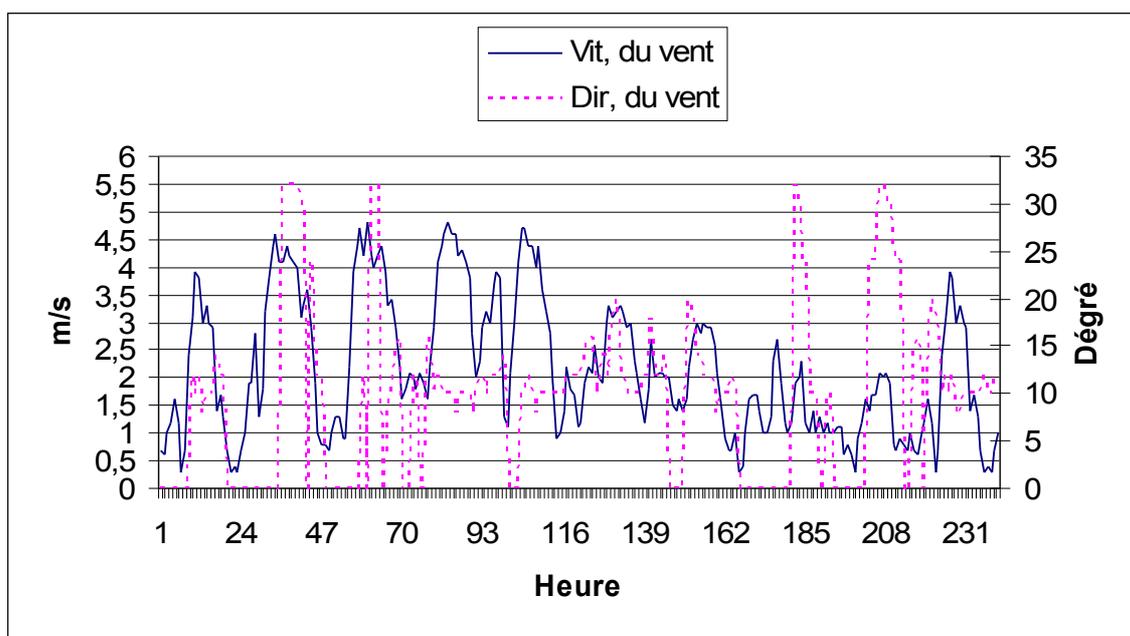


Figure 2.11 : Courbes de la vitesse et direction du vent pour la séquence d'hiver.

En hiver l'ensoleillement direct atteint des valeurs maximales de l'ordre de 820W/m^2 , caractéristique de la saison chaude et correspond à des journées où la couverture nuageuse est faible. Le fort taux d'humidité relative (variant entre 50% le jour et 97% la nuit) associée à une température d'air extérieur élevée peut conduire à des situations d'inconfort au sein de l'habitat.

La vitesse du vent est de l'ordre de 1.2 à 3.3m/s et la direction du vent varie de 0 à 32 degré.

Chapitre III

SIMULATION THERMIQUE DES BATIMENTS ET PROPOSITION DES RECOMMANDATIONS DANS LA CONSTRUCTION DU BATIMENT A MADAGASCAR

III.1 Méthodologie

La conception des logements thermiquement performant, pour le site de construction donné, commence dès la phase d'implantation. Ainsi l'implantation d'un bâtiment par rapport aux autres constructions et obstacles naturels et artificiels, et le choix des orientations de façades, ont une influence significative sur les conditions de confort thermique du bâtiment.

Ces paramètres ne sont toutefois pas toujours maîtrisables par les concepteurs. Les simulations que nous effectuons consistent donc à trouver l'ambiance thermique à l'intérieur d'un bâtiment monozone en tenant compte de ces paramètres.

Le but dans ce chapitre est donc de proposer une recommandation dans la construction du bâtiment à Madagascar qui respecte la normalisation. Pour en arriver là, il faut recourir aux simulations d'un bâtiment jusqu'à ce qu'on trouve une température de l'air à l'intérieur du bâtiment dont l'écart entre la température maximale (le jour) et la température minimale (la nuit) est relativement faible. Pour atteindre ce but, le moyen le plus rapide est de faire la simulation du comportement thermo-aérodynamique de ce bâtiment sous CODYMA.

La démarche adoptée avant de faire les simulations donc consiste à :

- faire un choix du site étudié. Le site que nous avons choisi pour la zone de climat tempérée par latitude est la province d'Antananarivo.
- faire un choix d'une journée type. D'après le chapitre II, les séquences climatiques représentatives de la saison humide et la saison sèche à Madagascar que nous utilisons viennent de la station météo d'Ampanomby.
- faire un choix du bâtiment à simuler. Nous avons pris la description du bâtiment de base existant dans l'application de CODYRUN [Boyer 93].

Lancer des simulations avec le fichier météo type en faisant varier les paramètres constitutifs du bâtiment, et suivre l'évolution journalière de la température de l'air intérieure de celui-ci. Les simulations sont donc effectuées pour une saison chaude (l'été).

Partant de cette simulation de base, nous faisons varier successivement les principaux paramètres susceptibles de modifier le comportement thermique de ce bâtiment :

- Implantation du bâtiment
- Orientation du vitrage
- L'épaisseur de la paroi
- Type du matériau
- Influence du masque solaire

En ce qui concerne les éléments propres à l'enveloppe (toiture, parois opaques, vitrages), nous avons effectué pour chaque type de logement et à chaque composant une étude en température. 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 étape nous permet de retenir la meilleure solution technique.

Une fois la solution technique de chaque composant d'enveloppe retenue, nous allons comparer le bâtiment initial qui est un bâtiment dont nous ne tient pas compte de la protection de l'enveloppe à un bâtiment final composé des solutions techniques (protection vitrage, isolation paroi, isolation toiture, ...).

III.2 Description du bâtiment à simuler

Pour éliminer toutes les interactions liées au couplage multizones, nous proposons d'étudier un modèle de bâtiment monozone fermé, placé sur un vide sanitaire, muni d'un vitrage et d'une porte. Les constituants des parois sont choisis parmi les matériaux les plus utilisés à Madagascar.

Compte tenu du fait que plus de 50% des maisons qui se construisent à Madagascar est constituée d'une seule pièce, nous avons pris un bâtiment monozone dans nos simulations.

Les simulations ont été effectuées sur un bâtiment à base de brique et après on le change par un parpaing. Pour mémoire l'objectif était celui du comportement thermique de l'enveloppe du bâtiment et des premiers éléments de réponse thermique du bâtiment.

Les surfaces des différents éléments constitutifs du bâtiment, son volume, ainsi que les éléments constitutifs de l'enveloppe du bâtiment ont donné par les tableaux (3.1) et (3.2).

<i>Eléments :</i> <i>(Description de l'intérieur vers l'extérieur) .</i>	<i>Epaisseur</i> $e(m)$	<i>Conductivité thermique</i> $\lambda (W.m^{-1}.K^{-1})$	<i>Masse volumique</i> $\rho (kg.m^{-3})$	<i>Chaleur massique</i> $C_p (J.kg^{-1}.K^{-1})$
Parois verticales :				
Enduit ciment	0.015	1.15	2000	880
Brique	0.22	0.894	1922	795
Enduit ciment	0.015	1.15	2000	880
Plancher :				
Béton cellulaire	0.08	0.16	2100	653
PVC	1.007	0.16	1379	1004
Béton lourd	0.12	1.75	2100	653
Toit :				
Placoplâtre	0.012	0.16	950	840

Polyuréthane	0.02	0.0237	30	1380
Tôle	0.001	50	7800	502
Porte :				
Bois dur	0.02	0.16	800	2095

Tableau 3.1 : Propriétés thermo-physiques des parois de l'enveloppe du bâtiment initial.

Volume du bâtiment	8m x 6m x 2.7m
Façade	
• Sud	15.50m ²
• Ouest	16.20m ²
• Est	16.20m ²
• Nord	21.60m ²
• Plancher	48m ²
• Toit	48m ²
• Porte	4.10m ²
Vitrage sur la façade Sud	6m ²

Tableau 3.2 : Dimensions du bâtiment initial

<i>Elément</i>	<i>Epaisseur</i> $e(m)$	<i>Conductivité</i> <i>thermique</i> $\lambda (W.m^{-1}.K^{-1})$	<i>Masse volumique</i> $\rho (kg.m^{-3})$	<i>Chaleur</i> <i>massique</i> $C_p (J.kg^{-1}.K^{-1})$
Parpaing	0.17	0.68	1200	920

Tableau 3.3 : Propriétés thermo-physiques du parpaing

III.3 Influence de l'orientation du bâtiment

Nord-Sud ou Est-Ouest ?

L'orientation principale de la maison est primordiale avant de construire une maison. Elle dépend de plusieurs paramètres : paramètres géographiques, climatiques...

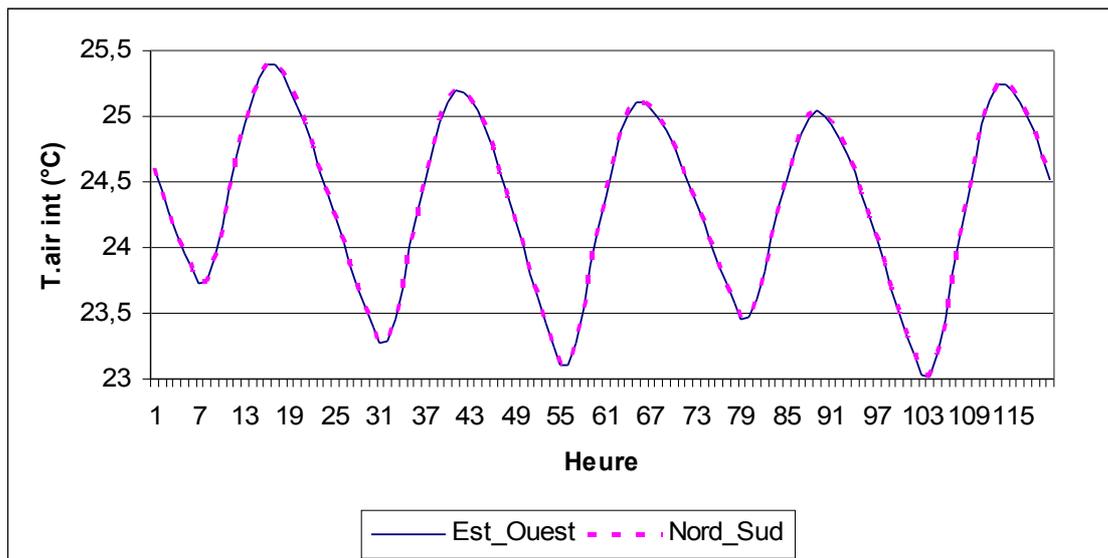


Figure 3.1 : Température de l'air intérieur selon l'orientation du bâtiment

A première vue, étant donnée l'évolution des températures prédites dans les deux logements, il semble que l'orientation du bâtiment ait un faible impact sur la température d'air intérieur. Donc aucune direction n'est privilégiée vis à vis de l'implantation du bâtiment.

Par contre nous allons essayer de vous démontrer que l'orientation Nord-sud est préférable que l'orientation est-ouest.

- Elle permet notamment de disposer les pièces principales au Nord pour bénéficier du soleil d'été,
- Elle permet d'avoir un éclairage très agréable dans les pièces.

L'orientation est-ouest ;

- Les rayons solaires pénètrent en rasant dans les pièces ; l'éclairage n'est pas agréable, il surchauffe les pièces en été,

Même si l'orientation générale du terrain n'est pas Nord-sud, il faut essayer d'implanter la maison selon l'axe Nord-sud.

III.4 Influence de l'orientation du vitrage

Il est important de tenir compte de l'orientation des vitrages car les apports solaires par ces derniers sont beaucoup plus importants que par les parois opaques. Dans notre cas la surface du vitrage représente 10% de la surface du sol, soit 6m².

Les graphes suivants nous montre la température à l'intérieur du bâtiment suivant l'orientation du vitrage sur chaque façade de l'enveloppe du bâtiment.

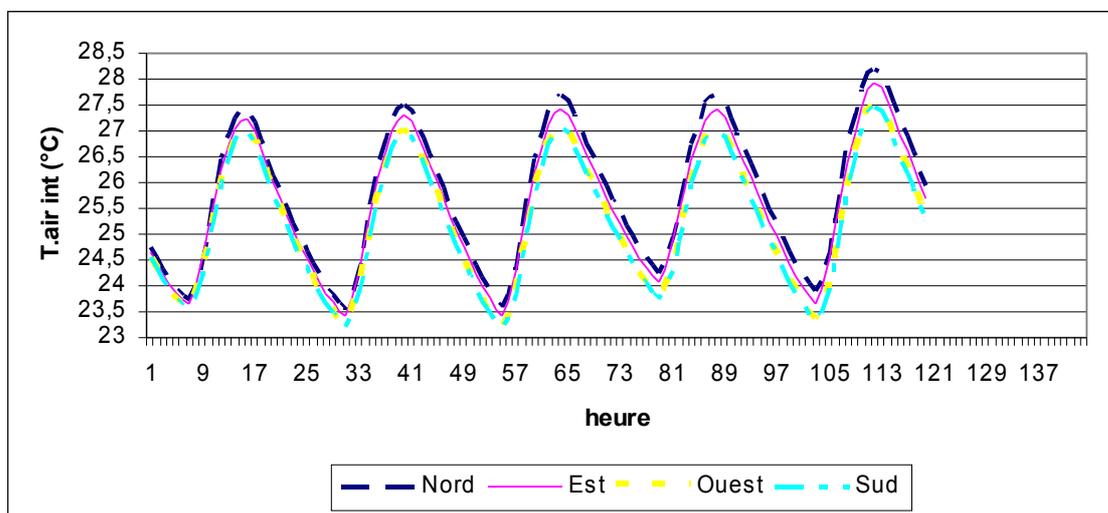


Figure 3.2 : Température de l'air intérieur selon l'orientation du vitrage

On trouve que la différence de la température à l'intérieur du bâtiment est trop faible selon l'orientation du vitrage sur la façade de la paroi. Le vitre placé sur la façade Nord a le maximum de température.

III.5 Influence du type de matériaux

Dans ce paragraphe, la constitution des parois de bâtiments est changée, mais ceux-ci restent dans la même configuration. Pour mémoire, les simulations sont effectuées sur des bâtiments fermés (pas d'échanges aérauliques avec l'extérieur).

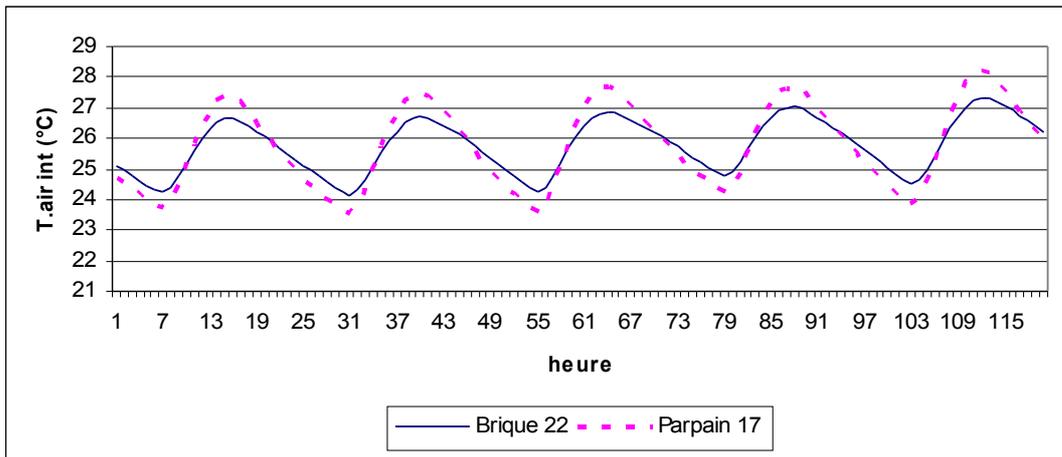


Figure 3.3 : Influence de la température à l'intérieur du bâtiment selon le type de paroi

Remarquons que pour les journées les plus chaudes, il apparaît une différence entre le comportement du bâtiment en brique et celui en parpaing. L'utilisation du matériau en parpaing augmente la température de l'air à l'intérieur du bâtiment en moyenne de 0.5°C. Donc il est préférable d'utiliser le brique comme l'enveloppe de la paroi dans la construction du bâtiment.

III.6 Influence du masque solaire

La maîtrise du gain solaire pour le bâtiment est basée sur l'étude du rayonnement solaire.

Pour éviter les problèmes posés par le rayonnement direct du soleil sur le vitrage, il faut prévoir une protection solaire afin d'éviter les effets négatifs de surchauffe du bâtiment.

La conception du masque solaire du vitrage est basée sur la répartition du flux incident sur chaque élément de l'enveloppe du bâtiment. Son intégration permet non seulement, de protéger le bâtiment contre le flux direct transmis mais aussi de réduire le flux diffus transmis à l'intérieur du bâtiment.

Nous allons placer sur le vitrage un masque solaire pour éviter le rayonnement direct.

Vitrage :	• Largeur	3m	
	• Hauteur	2m	
Masque solaire :		Casquette	Encadrement
	• Largeur /Hauteur	3.25m	
	• Profondeur	0,50m	0.20m
	• Distance par rapport à la fenêtre	0.05m	
	• Inclinaison	0°	

Tableau 3.4 : Caractéristiques du masque solaire et les réductions du diffus calculées

- *Le vitrage placé sur la façade Nord*

Le vitrage placé sur la façade Nord du bâtiment permet d'augmenter le gain de soleil pendant la période froide. Cependant, les rayonnements solaires transmis par le vitrage placé au Nord pendant l'été provoquent une surchauffe à l'intérieur de la zone du bâtiment. Ainsi l'intégration de la protection solaire (tableau 3.3) pour le vitrage pourrait être nécessaire pour maintenir le niveau de température à l'intérieur de l'intervalle de confort.

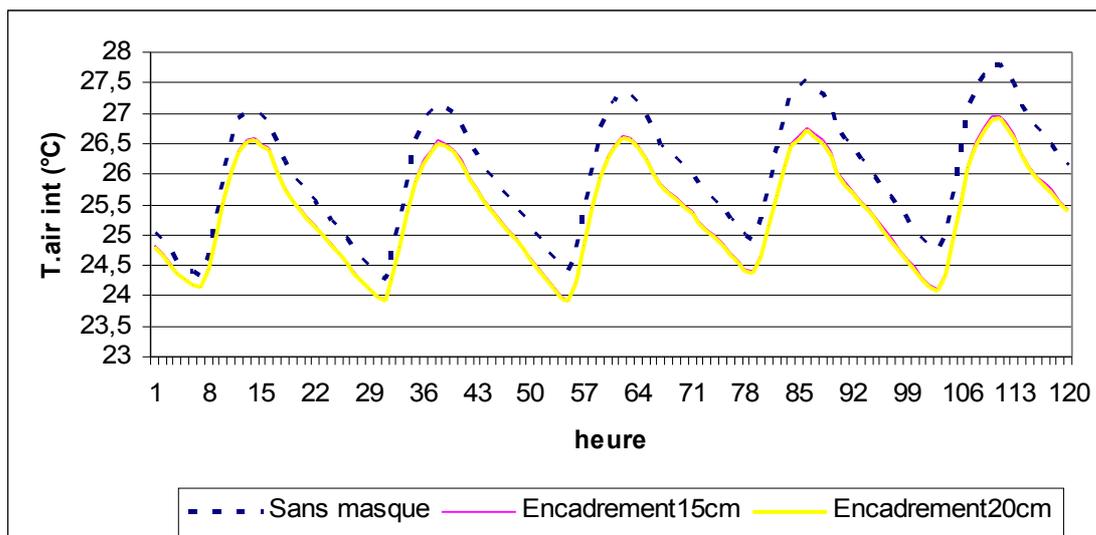


Figure 3.4 : Influence de masque solaire (encadrement) du vitrage placé sur la façade Nord

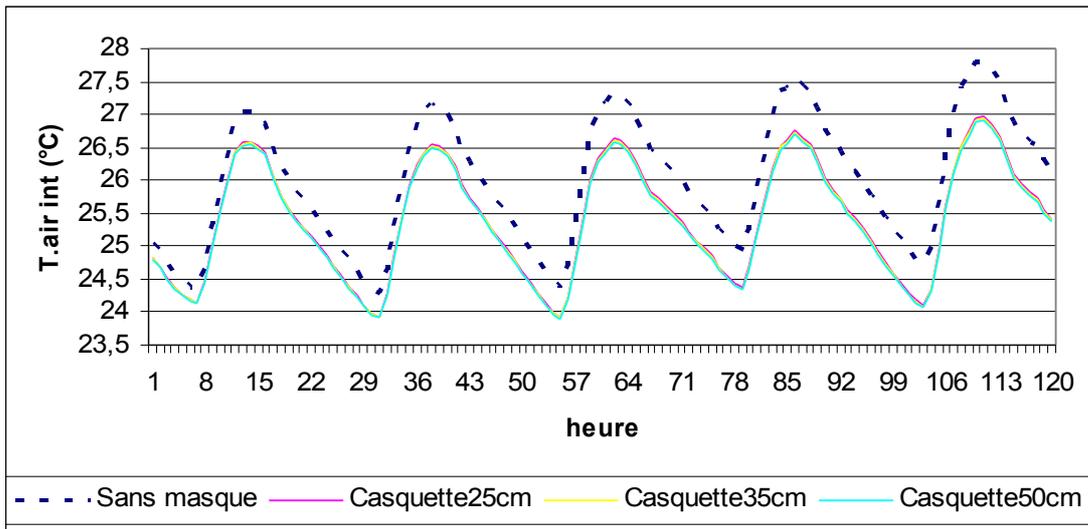


Figure 3.5 : Influence de masque solaire (casquette) du vitrage placé sur la façade Nord

Ces figures nous montrent que la mise en place d'un masque solaire sur le vitrage a une influence sur la température de l'air intérieur du bâtiment. Nous avons une diminution de la température de l'ordre de 1°C en moyenne.

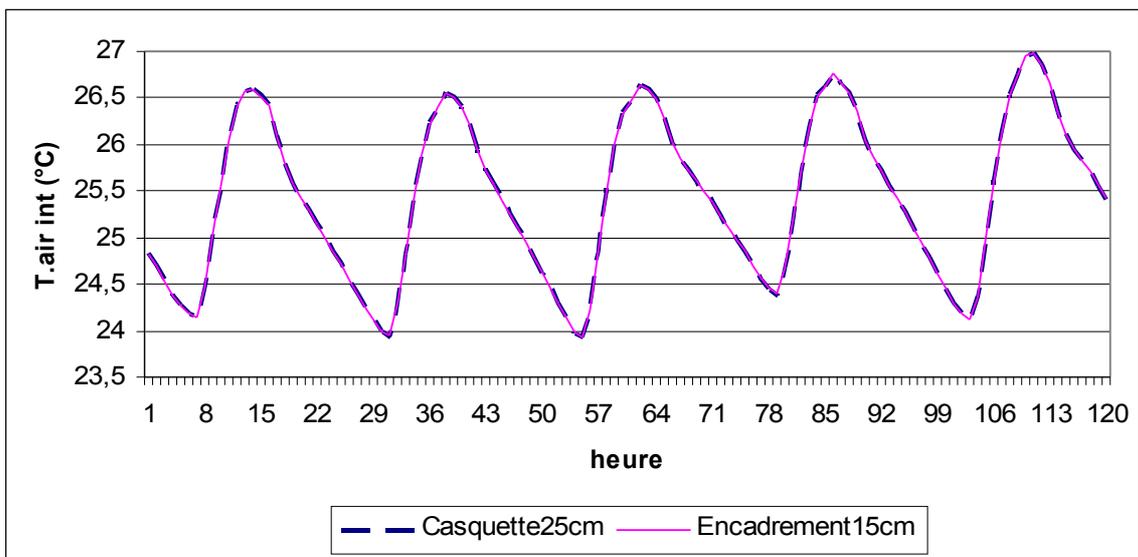


Figure 3.6 : comparaison type de masque solaire du vitrage

Ce résultat montre qu'il n'y a pas de différence entre l'utilisation de la casquette ou de l'encadrement sur le vitrage.

- Vitrage placé sur la façade Ouest et sur la façade Est du bâtiment

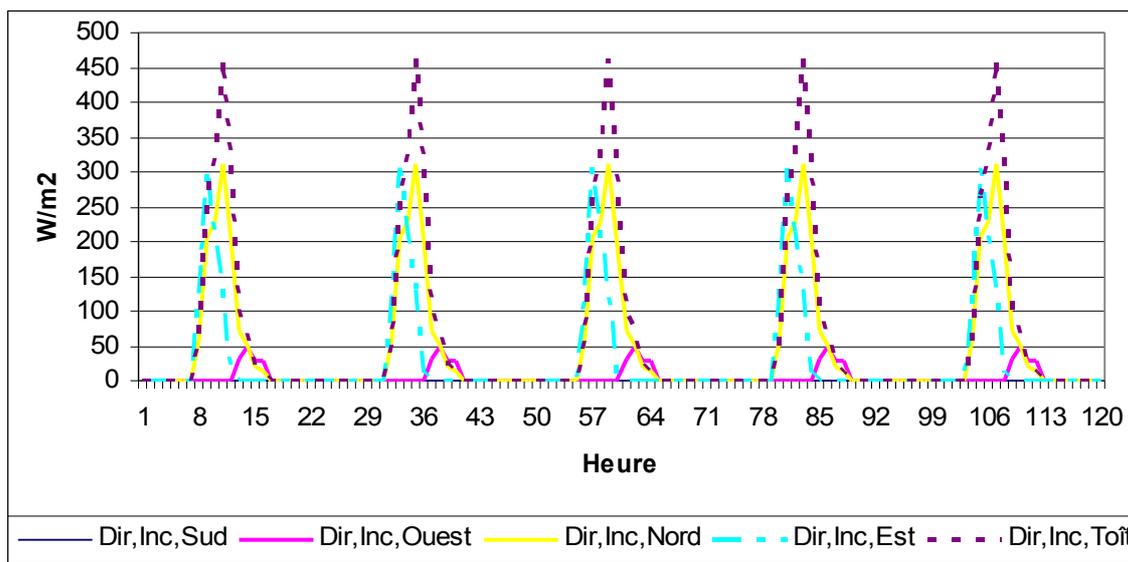


Figure 3.7 : Flux directs incident sur chaque façade du bâtiment

Puisque les rayonnements directs incidents sur la façade Est et Ouest du bâtiment n'occupent que la moitié de la journée, les protections solaire des vitrages sur les façades Est et Ouest entraînent une diminution de température de même ordre de grandeur. Cependant, les masques solaires entraînent des effets opposés pendant les deux saisons : positif pour la saison chaude et négative pour la saison froide.

Pour l'exposition Est, le masque solaire assure une protection le matin, en particulier en été. Pour l'exposition Ouest, ils assurent une protection l'après-midi, notamment en été.

En effet, l'intégration de la protection solaire définie par le tableau 3.3 permet de réduire le rayonnement transmis de 65% qui correspond ensuite à une base de température de l'ordre de 1 à 1.5°C.

III.7 Protection solaire de l'enveloppe du bâtiment

L'utilisation du masque solaire pour le vitrage réduit d'une manière générale la température de l'air à l'intérieur. Cependant, l'écart entre la température maximale (le jour) et minimale (la nuit) reste très grand. Ce problème de fluctuation de température journalière peut être résolu par l'utilisation de matériaux isolants dans la composition de l'enveloppe du bâtiment.

Nous allons effectuer les simulations avec le bâtiment non isolé, puis passé à l'isolation thermique de la toiture. Par la suite, nous allons modifier tous les éléments des enveloppes et du plancher par l'intégration d'un matériau isolant. Les propriétés thermophysiques des matériaux utilisés sont données dans le tableau 3.1.

Confort thermique d'hiver :

En hiver, c'est l'isolation thermique qui a pour rôle de limiter les déperditions calorifiques à travers le mur, de l'intérieur chauffé vers l'extérieur froid. C'est la résistance

thermique de la paroi qui caractérise l'importance du flux de chaleur à travers le mur. En d'autres termes, si on augmente la résistance thermique d'une paroi, on abaisse alors le flux de chaleur le traversant.

Confort thermique d'été :

En été, il s'agit d'assurer une protection des locaux contre les apports calorifiques de l'extérieur dus à l'ensoleillement. Cette protection est obtenue par des parois à forte inertie thermique et/ou par la mise en œuvre de protections solaires.

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.

II.7.1 Isolation de la toiture

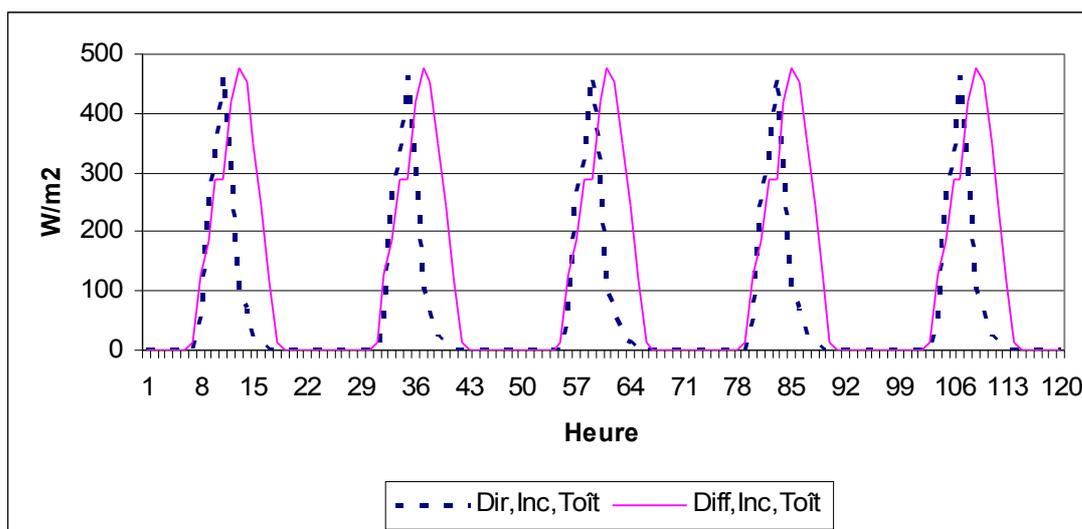


Figure 3.8 : Flux directs incident sur le toit

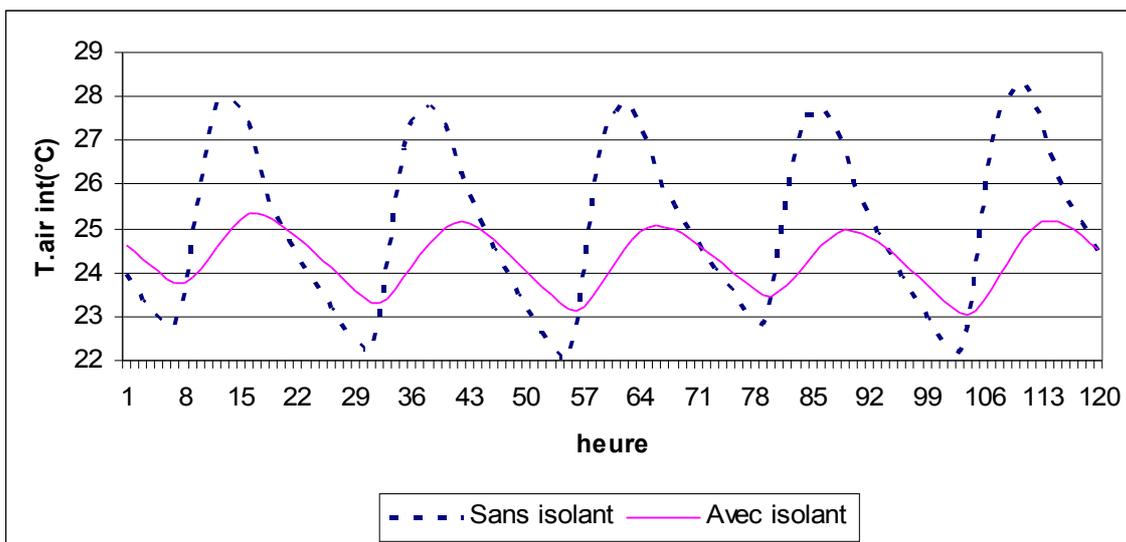


Figure 3.9 : Influence de l'isolation de la toiture

D'après cette figure (figure 3.9), il est fortement recommandé pour la toiture de prévoir une isolation thermique afin de réduire les fluctuations de la température intérieure. Considérons maintenant dans la configuration du bâtiment initial auxquels une couche d'isolant de 6cm placé au niveau de la toiture.

L'utilisation des matériaux isolants dans la constitution de la toiture diminue l'écart entre la valeur maximale et minimale de la température d'air intérieur. En effet, l'isolation de la toiture réduit la chaleur transmise par conduction pendant la journée et l'utilisation d'isolant de 6cm permet d'améliorer la température de l'air intérieur du bâtiment de 0.8°C la nuit.

Un décalage très net et constant de 2.2°C est obtenu en terme d'amélioration des températures résultantes intérieures du bâtiment.

III.7.2 Protection solaire des murs

La protection solaire des murs peut être assurée par isolation thermique. Voici les flux incidents direct et diffus sur chaque façade du bâtiment sans protection.

Façade Sud

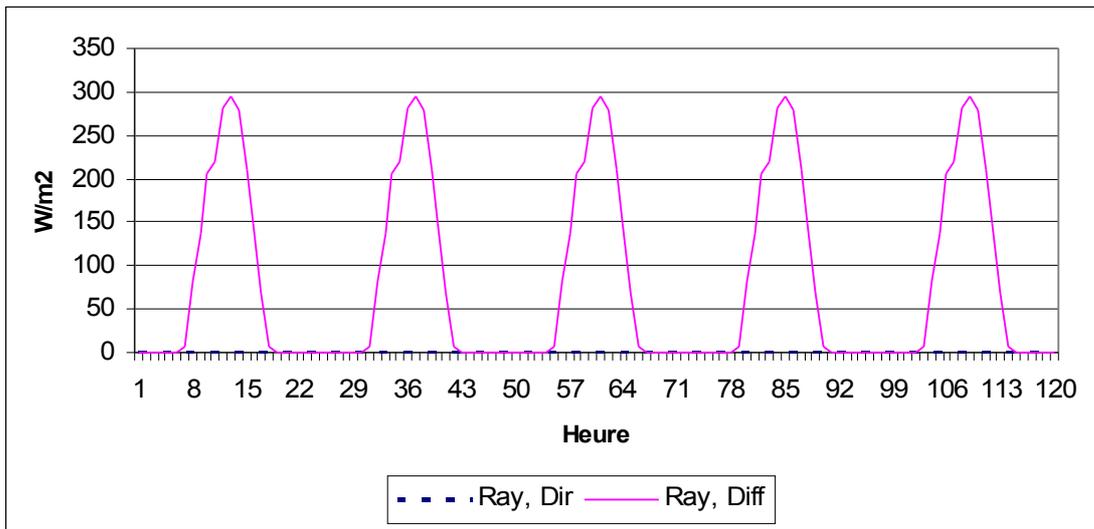


Figure 3.10 : Flux directs et diffus sur la face Sud

La façade Sud n'a pas besoin de traitement thermique car il n'y a pas de rayonnement solaire direct qui la frappe.

Façade Nord

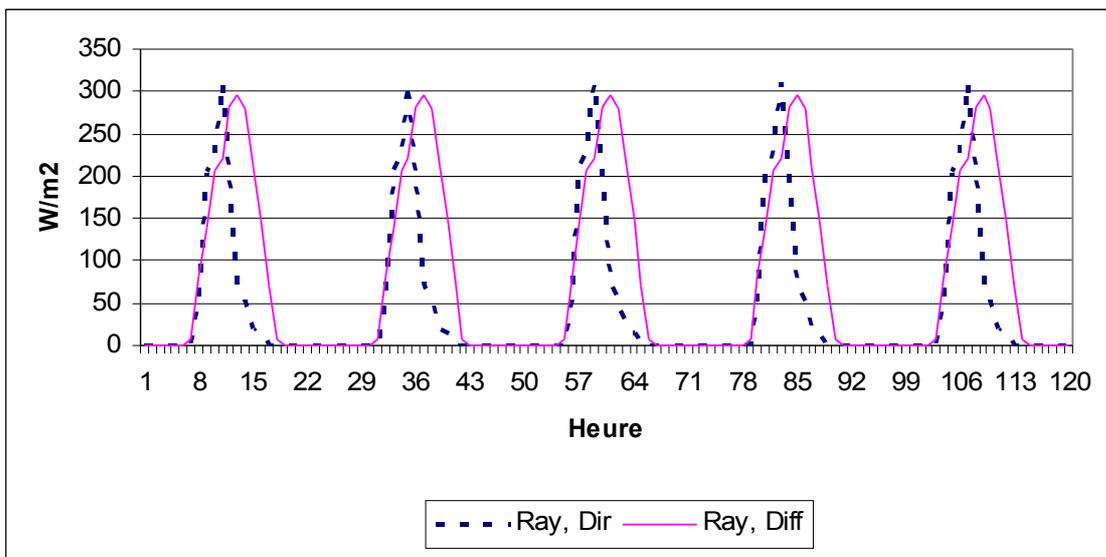


Figure 3.11 : Flux directs et diffus sur la face Nord

Il est recommandé pour une façade orientée Nord de prévoir une isolation thermique. Il est à noter que la protection solaire peut également être assurée par des végétaux appropriés.

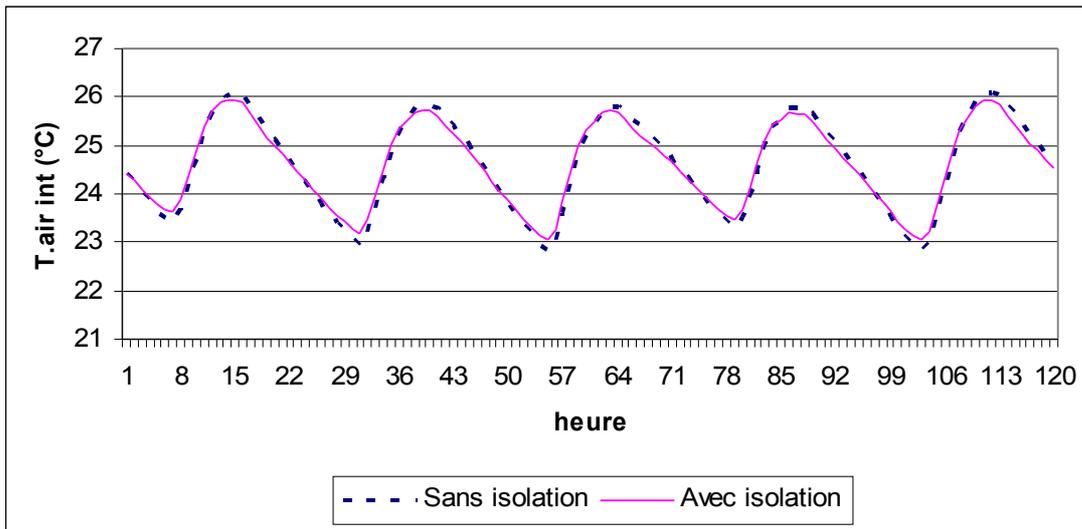


Figure 3.12 : Influence de l'isolant sur la face Nord

En terme de réponse thermique, la figure précédente (Figure 3.12) montre que l'écart de température entre les murs sans isolant et les murs avec des isolants est très faible.

Façade Ouest

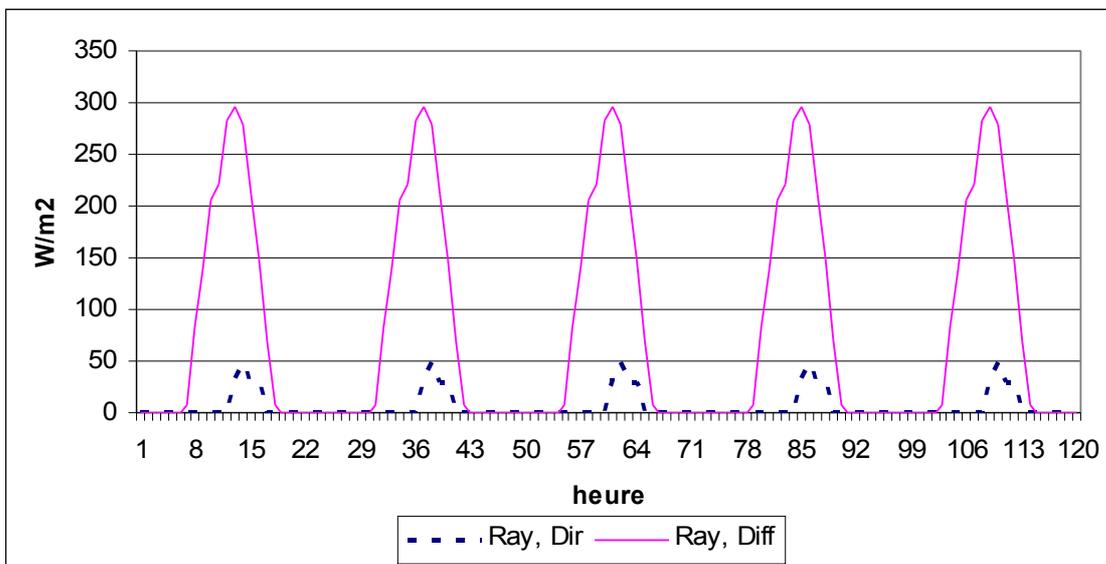


Figure 3.13 : Flux directs et diffus sur la façade Ouest

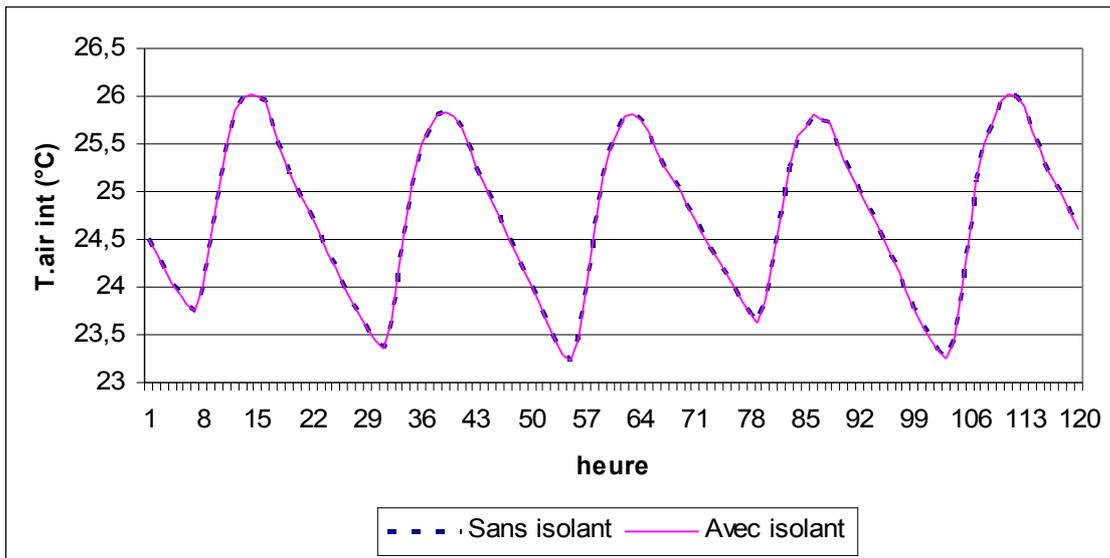


Figure 3.14 : Influence de l'isolant sur la façade Ouest

Remarquons que le fait d'utiliser une isolation dans cette façade ne change pas la température de l'air à l'intérieur du bâtiment.

Façade Est

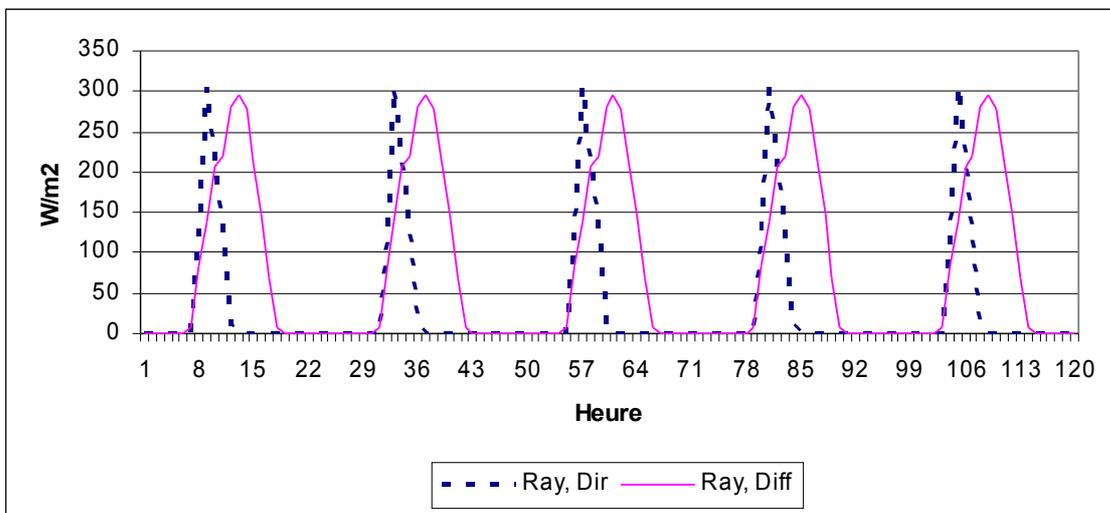


Figure 3.15 : Flux directs et diffus sur la face Est

Il est recommandé pour la façade à l'Est de prévoir une isolation thermique.

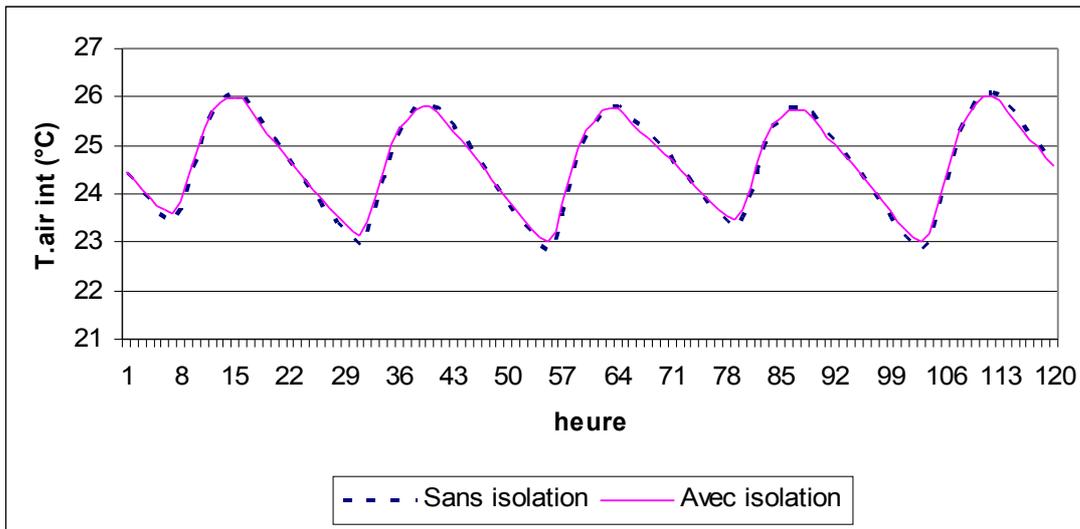


Figure 3.16 : Influence de l'isolant sur la face Est

Remarquons que le fait d'utiliser une isolation dans cette façade ne change pas la température de l'air à l'intérieur du bâtiment.

En conclusion, les simulations ont montré que la mise en place d'un isolant au niveau de la paroi n'a une véritable influence sur la température de l'air intérieur du bâtiment. Le gain en température est de l'ordre de 0.1°C pendant la nuit. Dans toutes les autres configurations, il y a une diminution de la température de l'ordre de 0.1°C dans les configurations les plus favorables.

III.7.3 L'épaisseur du mur

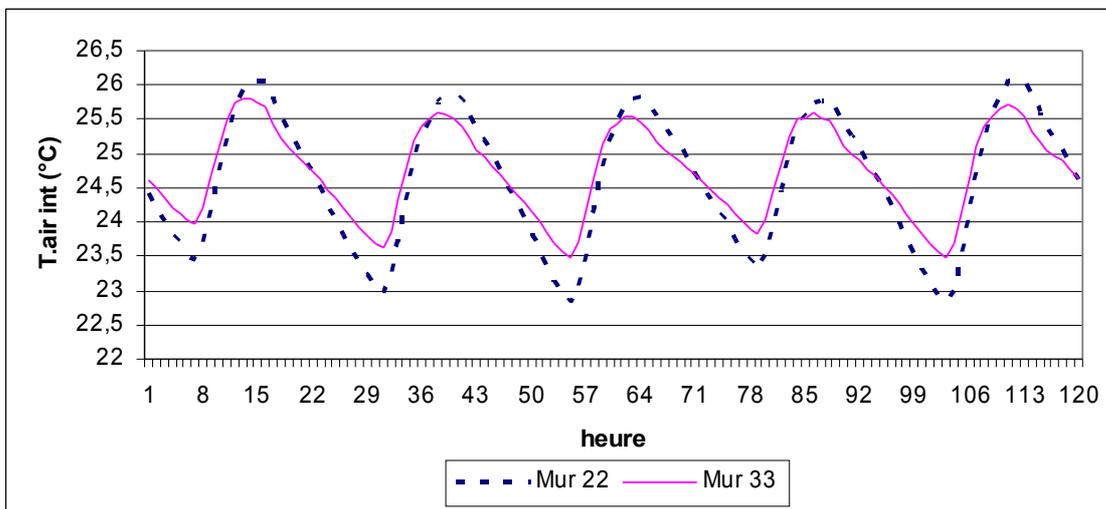


Figure 3.17 : Influence de l'épaisseur du mur

Remarquons que le fait d'augmenter l'épaisseur de brique ne diminue qu'en moyenne de 0.5°C . Donc c'est n'est pas nécessaire d'utiliser un mur 33.

La figure suivante montre la comparaison de la température de l'air intérieur du bâtiment entre le placoplâtre et l'enduit ciment.

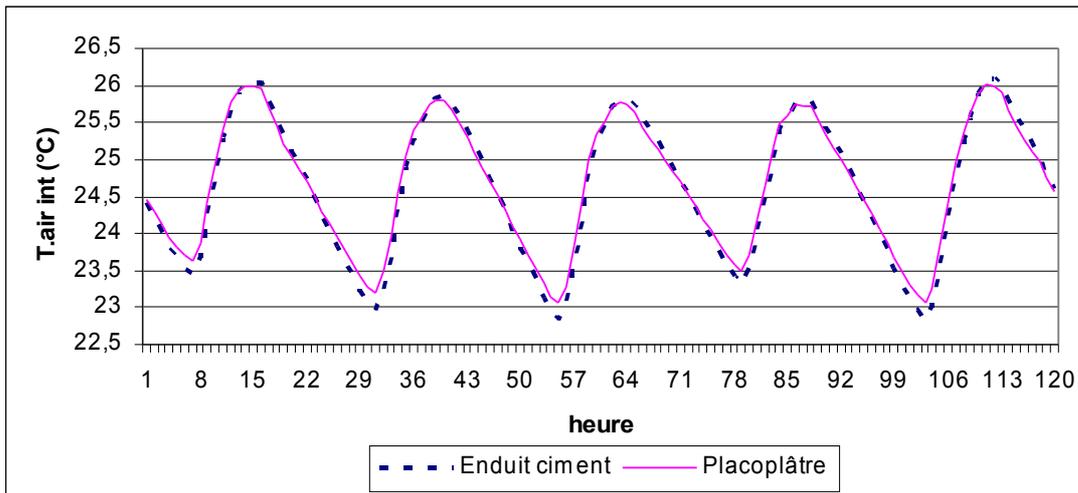


Figure 3.18 : Evolution de la température selon le revêtement de la paroi

Le fait de remplacer l'enduit ciment par l'isolant placoplâtre n'a aucun effet thermique.

En tenant compte de tout ces résultats, nous avons imaginé une nouvelle description de bâtiment.

La géométrie de ce nouveau bâtiment est 8m x 6m x 2.7m (Largeur x Longueur x Hauteur).

Ce bâtiment comporte deux vitrages sur la face Sud de 6m² chacun, un autre vitrage de 6m² placé sur la face Nord et une porte de 4.10m² sur la face Nord.

On a placé un masque solaire dans le vitrage sur la façade Nord et on a utilisé un isolant d'épaisseur 6cm sur la toiture.

Eléments : (Description de l'intérieur vers l'extérieur) .	Epaisseur $e(m)$	Conductivité thermique $\lambda (W.m^{-1}.K^{-1})$	Masse volumique $\rho (kg.m^{-3})$	Chaleur massique $C_p (J.kg^{-1}.K^{-1})$
Parois verticales :				
Placoplâtre	0.02	0.16	950	840
Brique	0.22	0.894	1922	795
Enduit ciment	0.015	1.15	2000	880
Plancher :				
Béton cellulaire	0.08	0.16	2100	653
PVC	1.007	0.16	1379	1004
Béton lourd	0.12	1.75	2100	653
Toit :				
Placoplâtre	0.012	0.16	950	840
Polyuréthane	0.08	0.0237	30	1380
Tôle	0.001	50	7800	502

Porte :

Bois dur

0.02

0.16

800

2095

Tableau 3.5 : Propriétés thermophysiques des parois de l'enveloppe du bâtiment final.

Volume du bâtiment	8m x 6m x 2.7m
Façade	
• Sud	9.50m ²
• Ouest	16.20m ²
• Est	16.20m ²
• Nord	11.40m ²
• Plancher	48m ²
• Toit	48m ²
Porte sur la façade Nord	4.10m ²
Vitrage sur la façade Sud	12m ²
Vitrage sur la façade Nord	12m ²

Tableau 3.6 : Dimensions du bâtiment final

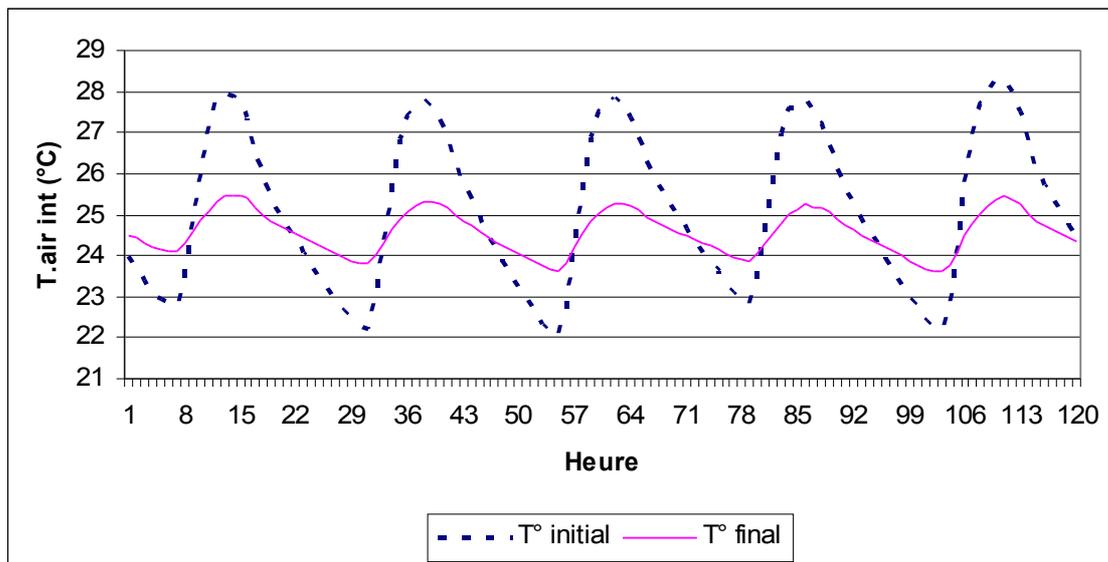


Figure 3.19 : Comparaison température de l'air intérieur du bâtiment initial et final

Il apparaît que la différence de température de l'air intérieur entre la description du bâtiment initial (cas où l'on ne tient pas compte de l'isolant) et la description finale est de l'ordre de 2.5°C.

Ces résultats ont permis donc de définir une première approche de proposition d'une recommandation de bâtiment type à Madagascar.

III.8 Proposition de recommandation d'un bâtiment type à Madagascar

Les paragraphes précédents nous ont permis de donner une première approche de description de la structure de Bâtiment Type Malagasy. Ce bâtiment répond au respect la normalisation.

1. **orientation du bâtiment** : Dans le haut plateau de Madagascar où la température est relativement élevée et le vent assure une ventilation naturelle, il est recommandé d'orienter le bâtiment face au vent dominant pour accroître la climatisation naturelle.
2. **Vitrage et masque solaire** : Afin d'améliorer les performances thermiques de la fenêtre, il faudrait intervenir sur les vitrages.
 - *Vitrage sur la façade Nord* : Une orientation au Nord est conseillée. Le vitrage installé sur cette façade assure l'éclairage du bâtiment pendant la période chaude et favorise l'apport solaire pendant l'hiver austral. L'utilisation du masque solaire réduit ainsi le gain solaire pendant cette période. (**Proposition : l'utilisation du masque solaire qui réduit les apports solaires est bénéfique en Été et pénalisant en Hiver**).
 - *Vitrage sur la façade Ouest et Est* : Le vitrage sur la façade Ouest ou sur la façade Est induit deux effets opposés sur le confort thermique des occupants. Il est donc souhaitable d'installer un masque solaire réglable.
 - *Vitrage sur la façade Sud* : Le vitrage sur la façade Sud n'a pas besoin d'un masque solaire.
3. **Matériaux isolants** : L'utilisation d'un matériau isolant dans la constitution de l'enveloppe est recommandée pour la toiture et le plancher sauf pour la région très chaude. Ainsi, une étude supplémentaire sur le transfert hydrique à travers les parois des enveloppes s'impose avant de définir le type des matériaux isolants utilisés.
4. **L'éclairage naturel** : Maîtriser l'éclairage naturel est primordial dès la conception du bâtiment pour garantir un éclairage suffisant adapté aux besoins des occupants, en particulier la vision sur l'extérieur et éviter des inconvénients comme les apports thermiques du rayonnement. La lumière naturelle participe de manière importante au

confort visuel et il est nécessaire de se fixer un objectif pour l'éclairage naturel dès l'élaboration du projet de conception du bâtiment. La qualité de la lumière naturelle est, en effet, souvent meilleur que celle de la lumière artificielle. Elle permet également de conserver un contact avec l'extérieur ce qui, tout en permettant de diminuer les contraintes physiques et psychologiques, présente un intérêt pour les économies d'énergie. Un éclairage naturel mal conçu a, cependant, des conséquences négatives en termes de confort comme il peut accroître la chaleur, en été, à l'intérieur des locaux par effet de serre.

5. *Ventilation naturelle* : il est recommandé d'utiliser des ouvertures sur le bâtiment au moins deux façades opposées. En vue d'une amélioration de la santé, il est conseillé de concevoir des portes et des fenêtres assez larges pour aérer et éclairer la maison.

Conclusion

La structure et type de l'habitat existant à Madagascar, présentées dans le premier chapitre de ce travail, nous ont permis d'en déduire que la totalité des constructions de l'habitat à Madagascar sont totalement inadaptée au climat. Elles ne respectent pas la conformité de l'habitat.

Dans cette étude, nous avons, au travers de différents cas, analysé et quantifié l'impact de différents éléments. Ainsi, les sollicitations climatiques auxquelles le bâtiment est soumis ont été analysées. Il en ressort une bonne protection solaire des vitrages (utilisation du masque solaire), qui est indépendant de l'orientation du bâtiment et une protection de l'enveloppe du bâtiment (utilisation isolant).

Nous avons eu une diminution de température en moyenne de 2.5°C. En plus, les résultats des simulations du bâtiment initial et du bâtiment final nous donne l'écart entre la température maximale (le jour) et la température minimale (la nuit) est de l'ordre de 1.5°C. Ce qui est acceptable pour respecter la norme d'un bâtiment. Ces résultats des simulations nous ont permis de donner une proposition de recommandation d'un bâtiment type.

En ce qui concerne l'étape application, il faut faire les simulations en tenant compte du module aéraulique et du système de ventilation mécanique, ce qui n'est pas encore fait, car actuellement le module aéraulique n'est pas encore passé au validation.

L'intérêt de ce travail est d'avoir pu passer à la phase de réalisation, par exemple construction d'un hôpital qui respect le confort thermique.

Références Bibliographiques

- [Baronnet 85] Frédéric Baronnet : « Etude thermique de l'habitat individuel à la Réunion » Thèse de doctorat 3^e cycle, Université Paris 7, 1985.
- [Bomberg 93] M.T. Bomberg et M.K. Kumaran : « L'enveloppe du bâtiment et le contrôle de l'environnement : Estimation de la performance en service de l'isolant thermique. » revue n° 35 « Construction Canada », Institut de recherche en construction (IRC),1993.
- [Bonneaud 98] Frédéric Bonneaud : « Ventilation naturelle des bâtiments collectifs dans les départements d'Outre-mer : influences de la forme et de la composition de l'habitat. » DEA : CSTB de Nantes. Rapport interne du CERMA, 1998.
- [Bonneaud 01] Frédéric Bonneaud : « Ventilation naturelle de l'habitat en climat tropical humide. » Thèse : Centre de thermique de l'INSA de Lyon, 2001.
- [Boyer 93] H. Boyer : « Conception thermo-aéraulique de bâtiments multizones. Proposition d'un outil au choix multiple des modèles. » Thèse : Sci, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, France, 1993.
- [CANDAS] Victor CANDAS : « Confort Thermique » Technique de l'Ingénieur, Traité de Génie Energétique, Strasbourg.
- [Certu 03] Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques : « Les façades » Mémento technique du bâtiment, France, 2003.
- [Clément 02] ALIX Clément : « L'habitat à Orléans à la fin du Moyen Age. » DEA : Centre d'Etudes Supérieures de la Renaissance, Université François Rabelais, 2002.
- [DECARY 58] Raymond DECARY : « L'habitat à Madagascar » Imprimerie Marrimpouey jeune, 1958.
- [Garde 96] F. Garde, H. Boyer, L. Adelard, J.C. Gatina : « Rapport Label Ecodom, Validation des prescriptions du document du label. Application à des logements types à l'Ile de la Réunion. » Convention EDF-Université de la Réunion 1996.
- [INSTAT 03] Ministère de l'Economie, des Finances et du Budget Secrétariat Général. Enquête auprès des ménages 2002. Rapport principal. Novembre 2003.
- [JUDKOFF 95] Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method.

- [Poyet 97] J.L. Monceyron et P. Poyet : « Méthodes et outils d'intégration des données techniques : exemples d'applications au contrôle du règlement de construction. » Cahiers 2951 du CSTB, 1997.
- [Rajaonarivelo 02] J.A. Rajaonarivelo : « Réalisation d'un code de calcul de simulation thermique, aéraulique et hydrique de l'habitat à Madagascar. » Thèse de doctorat 3è cycle, Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo, 2002.
- [Rakoto Joseph 04] O. RAKOTO JOSEPH : « Contribution à la validation et application du code de calcul de simulation thermique de l'habitat (CODYMA) : proposition des recommandations dans la construction à Madagascar. » Thèse de doctorat 3è cycle, Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo, 2004.
- [Rexcoop 85] Rexcoop / Coopération Français : « Production de l'habitat à Antananarivo. » Rapport phodes 1985.
- [Terrier 99] Cristian Terrier et B. Vandevyver : « L'éclairage naturel. » fiche pratique de sécurité ED 82, Travail et Sécurité, 1999.

ANNEXES

Annexe 1 : L'habitat à Madagascar

A.1 Maisons traditionnelles

A.1.1 Architecture des Hautes Terres



Figure A.1.1 : Toit de tuiles dans les faubourgs d'Antananarivo.

C'est en **1831**, que fut introduite à Madagascar par **Jean Laborde**, la technique de cuisson des briques et des tuiles.

Dès le **XIX^{ème} siècle**, l'utilisation de cette technique se généralise dans l'**architecture des Hautes Terres**, répondant ainsi à une **demande urbaine**.

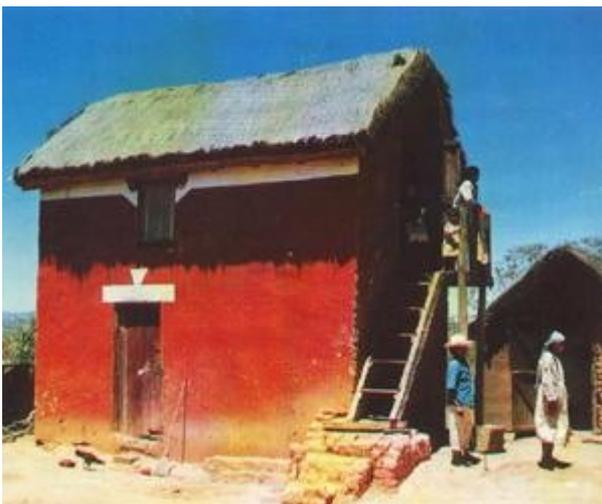


Figure A.1.2 : Maison à deux niveaux avec escalier extérieur (Hautes Terres).

La maison à deux niveaux :

C'est l'archétype de la maison rurale des Hautes Terres. Un enduit de boue latéritique assurant l'étanchéité, couvre les murs extérieurs et intérieurs de l'habitation.

La maison à trois niveaux :

Cette construction peut atteindre 12m de hauteur, accentuant ainsi la forme trapézoïdale des murs.

Tout comme la maison à deux étages, elle est recouverte d'un enduit de boue latéritique et comporte plusieurs pièces à chaque étage.

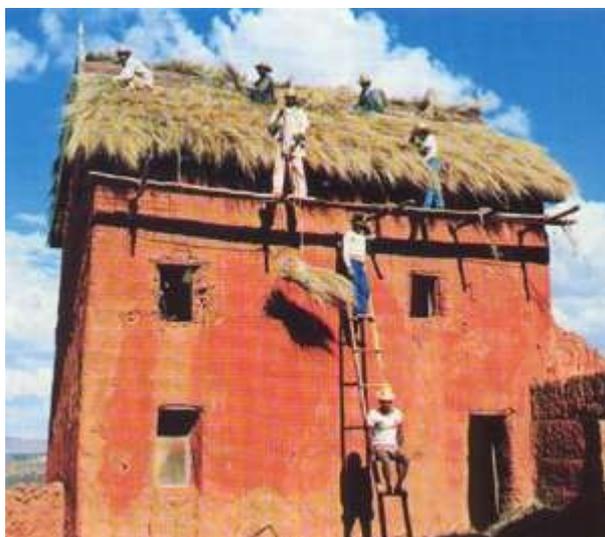


Figure A.1.3 : Maison à trois niveaux

Maison construite suivant la technique du pisé.

Il s'agit d'une **construction en terre**. La boue malaxée est étendue par couches successives entrecoupées de périodes de séchage, afin de consolider l'ensemble.

Les **façades** des maisons en pisé ont une **forme de trapèze**.

Après séchage complet, les planchers sont posés et la charpente assemblée.

Mur d'adobe (Imerina).

L'**adobe** est un mot d'origine d'espagnole qui désigne la fabrication de **briques en terre crue élaborées et moulées** à partir de **pâte d'argile**.

Les **briques séchées** sont utilisées comme des parpaings, et assemblées

A.1.2 Architecture dans les côtes

A.1.2.1 Région Est



Figure A.1.4 : Construction en ravinala en raphia

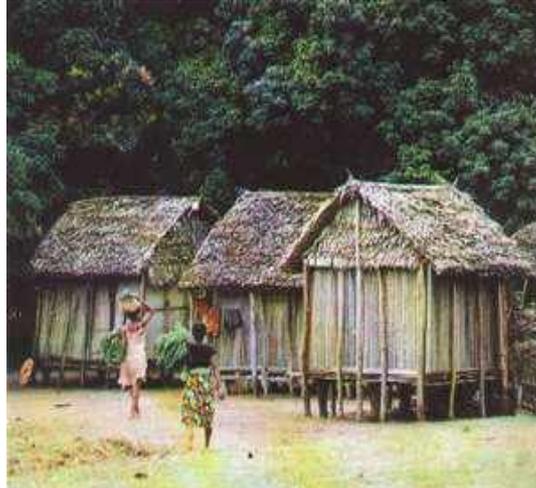


Figure A.1.5 : Construction en ravinala en raphia

- Le **Ravinala**, arbre mi-bananier, mi-palmier, emblème de la Grande Ile, est très utilisé à Madagascar.
- Les feuilles mortes sur pied ou **raty** servent pour la **couverture** de l'habitation.
- Le tronc lisse donne les **planchers** constitués de planches légères et souples appelées **rapaka**.
- Quant aux **murs**, ils sont constitués de **pétioles** de **Ravinala sec** appelées **falafa**.

Le **raphia** provient de la nervure des palmes d'un grand palmier (15 à 20m de haut) à tronc court, qui pousse en abondance au-dessous de 800m d'altitude à Madagascar.

Une fois débitées, les **nervures** sont mises à sécher puis utilisées pour la fabrication des **murs**, du **toit** et du **plancher**.

C'est dans les plus grandes nervures que sont creusés à l'aide de ciseaux à bois, les **éléments de la charpente**.

A.1.2.2 Extrême Sud



Figure A.1.6 : Maison en planches

Pilotis dans l'Androy.

Les Antandroy, dans l'extrême sud de Madagascar ont su préserver les plus belles traditions architecturales avec leurs maisons **en planches**.

Les planches verticales des murs sont en **raotse** (bois léger et tendre).

L'assemblage de l'habitation est réalisé **sans aucun clou, sans aucune cheville**, mais uniquement par emboîtements.

Le toit est le plus souvent fait de **chaume**, quoique l'utilisation du bois ou raotse soit de plus en plus répandue, surtout dans le Sud du pays d'Androy.

Les portes en bois, à un ou deux battants s'ouvrent vers l'**intérieur**.

A.1.2.3 Région des Zafimaniry.



Figure A.1.7 : Maison en bois

Les **Zafimaniry** ou **gens de la forêt** sont considérés comme les **architectes - sculpteurs de Madagascar**.

De taille relativement importante, la **maison Zafimaniry** est essentiellement réalisée **en bois simple** ou **sculpté**.

A.2 Maison évoluée

Il s'agit d'une évolution de l'architecture malgache, dans un premier temps :

- Du modèle architectural urbain,
- Puis diffusion de ce modèle dans les zones rurales.

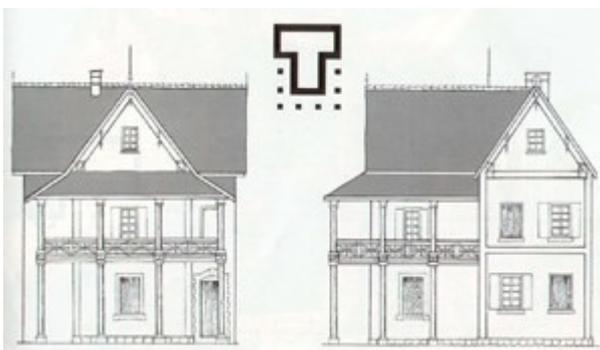


Figure A.1.8 : Maison traditionnelle évoluée

Annexe 2 : Caractéristiques thermo-physiques du bâtiment

<i>Eléments :</i> <i>(Description de l'intérieur vers l'extérieur) .</i>	<i>Epaisseur</i> $e(m)$	<i>Conductivité thermique</i> $\lambda (W.m^{-1}.K^{-1})$	<i>Masse volumique</i> $\rho (kg.m^{-3})$	<i>Chaleur massique</i> $C_p(J.kg^{-1}.K^{-1})$
Parois verticales :				
Enduit ciment	0.015	1.15	2000	880
Brique	0.22	0.894	1922	795
Enduit ciment	0.015	1.15	2000	880
Plancher :				
Béton cellulaire	0.08	0.16	2100	653
PVC	1.007	0.16	1379	1004
Béton lourd	0.12	1.75	2100	653
Toit :				
Placoplâtre	0.012	0.16	950	840
Polyuréthane	0.02	0.0237	30	1380
Tôle	0.001	50	7800	502
Porte :				
Bois dur	0.02	0.16	800	2095

Tableau A.2.1 : Propriétés thermo-physiques du bâtiment.

Volume du bâtiment	8m x 6m x 2.7 m
Façade	
• Sud	15.50 m ²
• Ouest	16.20 m ²
• Est	16.20 m ²
• Nord	21.60 m ²
• Plancher	48 m ²
• Toit	48 m ²
• Porte	4.10 m ²
Vitrage sur la façade Sud	6 m ²

Tableau A.2.2 : Dimensions du bâtiment

<i>Elément</i>	<i>Epaisseur</i> $e(m)$	<i>Conductivité thermique</i> $\lambda (W.m^{-1}.K^{-1})$	<i>Masse volumique</i> $\rho (kg.m^{-3})$	<i>Chaleur massique</i> $C_p (J.kg^{-1}.K^{-1})$
Parpaing	0.17	0.68	1200	920

Tableau A.2.3 : Propriétés thermo-physiques du parpaing

<i>Type de l'ouverture</i>	<i>Surface (m²)</i>
Grande ouverture	2 x 2.5
Petite ouverture	2 x 3

Tableau A.2.4 : Caractéristique des ouvertures

<i>Type du climat</i>	<i>Hiver froid et dégagé</i> <i>Eté chaud et sec</i>
Latitude	43°14'
Longitude	50°27'
Altitude	1320
Albédo du sol	0.2

Tableau A.2.5 : Paramètres de l'environnement géographique

Nom : ANDRIANABELA
Prénoms : Oninainasoa Tantelinirina
Titre du mémoire : Conception numérique du bâtiment type à Madagascar :
application code de calcul CODYMA.

Résumé

L'objet de ce travail est de proposer des recommandations type de bâtiment dans la construction à Madagascar. Il s'agit de continuer et améliorer le travail antérieur au niveau de confort thermique de l'habitat en terme de protection du vitrage contre le rayonnement solaire, choix des matériaux et des protections des parois opaques.

En ce qui concerne ce travail, le moyen le plus rapide et le plus approprié pour mener à bien cet objectif est de faire des simulations thermique. Comme outils de simulation, nous avons utilisé le code CODYMA.

La typologie des bâtiments existants et l'environnement climatique permettent de mieux cerner le problématique de l'habitat d'une part, et de mieux orienter tout travail de conception d'autre part, ces deux parties sont traités différemment.

Mots-Clés : Comportement thermique, confort thermique, norme du bâtiment, climat.

Title : Numerical design of the standard building in Madagascar : code application
CODYMA.

Abstract

The object of this work is to propose recommendations type of building in the construction in Madagascar. It is a question of keeping and improving work former at the thermal level's comfort of the habitat on the terms of protection of the glazing against the solar radiation, choice of materials and protections of the opaque walls.

With regard to this work, the fastest means and more adapted to conclude this objective is to make simulations thermics. Like tools for simulation, we used code CODYMA.

The typology of the existing buildings and the climatic environment make it possible to better encircle its problematic of the habitat on the one hand, and to better direct any work of design of other shares, these two parts are treated differently.

Key Words : Thermal behavior, thermal comfort, normalizes building, climat.

Encadreur : M. Bruno ANDRIANANTENAINA

Nom : ANDRIANABELA
Prénoms : Oninainasoa Tantelinirina
Titre du mémoire : Conception numérique du bâtiment type à Madagascar :
application code de calcul CODYMA.

Résumé

L'objet de ce travail est de proposer des recommandations type de bâtiment dans la construction à Madagascar. Il s'agit de continuer et améliorer le travail antérieur au niveau de confort thermique de l'habitat en terme de protection du vitrage contre le rayonnement solaire, choix des matériaux et des protections des parois opaques.

En ce qui concerne ce travail, le moyen le plus rapide et le plus approprié pour mener à bien cet objectif est de faire des simulations thermique. Comme outils de simulation, nous avons utilisé le code CODYMA.

La typologie des bâtiments existants et l'environnement climatique permettent de mieux cerner le problématique de l'habitat d'une part, et de mieux orienter tout travail de conception d'autre part, ces deux parties sont traités différemment.

Mots-Clés : Comportement thermique, confort thermique, norme du bâtiment, climat.

Title : Numerical design of the standard building in Madagascar : code application
CODYMA.

Abstract

The object of this work is to propose recommendations type of building in the construction in Madagascar. It is a question of keeping and improving work former at the thermal level's comfort of the habitat on the terms of protection of the glazing against the solar radiation, choice of materials and protections of the opaque walls.

With regard to this work, the fastest means and more adapted to conclude this objective is to make simulations thermics. Like tools for simulation, we used code CODYMA.

The typology of the existing buildings and the climatic environment make it possible to better encircle its problematic of the habitat on the one hand, and to better direct any work of design of other shares, these two parts are treated differently.

Key Words : Thermal behavior, thermal comfort, normalizes building, climat.

Encadreur : M. Bruno ANDRIANANTENAINA