



(BDC - 820)

5740

AGENCE FRANÇAISE POUR LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE

**GUIDE D'AIDE A LA CONCEPTION
CLIMATIQUE DU BATIMENT
AUX ANTILLES**

septembre 1989

Réalisation: M. ABDESELAM, AIRAB Consultant





SOMMAIRE

INTRODUCTION

9, rue Ambroise Paré
75010 PARIS

Tél. : 16 (1) 45 26 16 68
ou 21 98 68 82

1. METHODOLOGIE

1.1 - Problématique

1.2 - Présentation des outils d'aide à la conception

- 1.2.1 - Analyse thermique : le logiciel CASAMO-CLIM
- 1.2.2 - Analyse aéraulique : le logiciel DEBIT

1.3 - Les données climatiques

- 1.3.1 - Le climat antillais
- 1.3.2 - Les journées types
- 1.3.3 - Les sources d'inconfort

1.4 - Critères de comparaison

- 1.4.1 - Bâtiments climatisés
- 1.4.2 - Climatisation naturelle des locaux

2. LES ELEMENTS DE L'ENVELOPPE

2.1 - Objet

2.2 - Procédure

2.3 - Murs verticaux

- 2.3.1 - Matériaux-Isolation
- 2.3.2 - Couleur des murs
- 2.3.3 - Masques intégrés
- 2.3.4 - Interactions de paramètres

2.4 - Les ouvertures

2.5 - La toiture

- 2.5.1 - L'inertie
- 2.5.2 - Couleur/Isolation
- 2.5.3 - Emissivité extérieur du toit
- 2.5.4 - Aménager un comble
- 2.5.5 - Position d'un isolant dans le comble
- 2.5.6 - Comparaison de quelques variantes de toiture

3. APPROCHE CLIMATIQUE DE L'HABITAT

3.1 - La démarche climatique

- 3.1.1 - Des objectifs réalistes
- 3.1.2 - Concevoir avec le climat

3.2 - La protection solaire du bâtiment

- 3.2.1 - La composition des murs
- 3.2.2 - L'orientation du bâtiment
- 3.2.3 - Importance de l'orientation du vitrage
- 3.2.4 - Protection des vitrages - masques intégrés et ombrage
- 3.2.5 - Conception de la toiture
- 3.2.6 - Les paramètres couleurs et isolation de l'enveloppe

3.3 - La ventilation naturelle

- 3.3.1 - Les différents régimes de ventilation
- 3.3.2 - Utilisation du vent et des courants traversants
- 3.3.3 - Notions d'aérodynamique du bâtiment
- 3.3.4 - Dimensionnement des baies
- 3.3.5 - Potentiel du site et contrainte de l'environnement

3.4 - Synthèse des résultats

- 3.4.1 - Récapitulatif sur les recommandations
- 3.4.2 - Le cumul des recommandations
- 3.4.3 - Choix de l'inertie du local

4. LA CLIMATISATION MECANIQUE

4.1 - Objectif

4.2 - Orientation et construction du bâtiment

- 4.2.1 - Orientation du bâtiment
- 4.2.2 - Les ouvertures
- 4.2.3 - Les matériaux
- 4.2.4 - Constructions lourdes et légères : l'importance de la toiture

4.3 - Fonctionnement de la climatisation

4.4 - La ventilation

4.5 - Protection contre l'ensoleillement

- 4.5.1 - Couleur et isolation
- 4.5.2 - Masques intégrés - ombrage

4.6 - Synthèse des résultats

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

- 1. Caractéristiques du local "structure légère"**
- 2. Caractéristiques du local "structures lourdes"**
- 3. Caractéristiques physiques de divers matériaux**
- 4. Caractéristiques des vents / Données aérodynamiques**

REMERCIEMENTS

Je remercie vivement:

- M. François GREAUME
- M. Marc FRAGER
- M. Hubert FRAYSSE

pour les critiques pertinentes formulées au cours des différentes relectures. Ces remarques, intégrées dans le texte ont permis d'en améliorer considérablement la qualité.

CLE DE LECTURE DES FIGURES

Chaque figure représente l'influence sur la thermique du bâtiment d'un ou plusieurs paramètres lorsqu'on les fait varier.

Toutes choses étant égales par ailleurs, les autres paramètres qui déterminent les caractéristiques thermiques du local conservent des valeurs constantes décrites en annexes 1 et 2.

INTRODUCTION

La diffusion des principes de base de la conception climatique du bâtiment en climat tropical humide ne suffit pas à enrayer l'évolution de la construction dans le sens d'une uniformisation progressive . Cette uniformisation se traduit à la fois par :

- l'utilisation de techniques et matériaux modernes où le béton ,le verre et la tôle jouent un rôle prépondérant,
- et le recours à des systèmes de conditionnement d'air, et gros consommateur d'énergie pour compenser l'inadaptation de ces structures au climat tropical

La construction dans les Départements et Territoires d'Outre- Mer n'échappe pas à cette évolution, notamment aux Antilles . Ces régions aux climats relativement cléments, constituent pourtant un champs d'application idéal des règles de l'art de la conception climatique où il s'agit d'utiliser avec bon sens les éléments naturels (le soleil , le vent ,la température et l'humidité de l'air) et l'environnement .

Au delà des phénomènes de modes (et peut-être de l'affirmation d'une appartenance à un rang social par l'acquisition d'un climatiseur), cette situation traduit une insuffisance dans l'information divulguée, limitée jusqu'à présent à des études purement qualitatives.

L'architecture climatique, pour susciter plus qu'un intérêt formel et occuper la place qui doit être la sienne dans l'amélioration du confort de la vie de l'usager, dans la maîtrise des charges énergétiques pour l'économie régionale, doit désormais s'exprimer en termes d'efficacité et reposer sur une évaluation chiffrée des solutions constructives proposées . L'évolution des techniques rend aujourd'hui cette entreprise de quantification possible.

L'utilisation de logiciels d'aide à la conception thermique performants implantés sur micro-ordinateurs (compatible PC) permet dorénavant :

- la comparaison aisée de solutions constructives issues des modèles architecturaux traditionnels,
- La hiérarchisation et l'optimisation de dispositifs architecturaux traditionnels issus du développement actuel de la construction urbaine .

Notre démarche a consisté à mettre à profit ces outils pour établir une évaluation chiffrée du savoir-faire existant dans le domaine de la conception climatique. Dans un souci de clarté, nous avons procédé par étape :

1. Etude préliminaire des éléments d'enveloppe

Les mécanismes de transferts thermiques liés aux éléments constitutifs de l'habitat (toit, murs verticaux, ouvertures) sont décrits en détail.

2. Approche climatique de l'habitat

Par l'analyse globale d'un local et la quantification des paramètres influant sur le confort thermique, une méthode de conception reposant sur la hiérarchisation des priorités d'action est esquissée.

3. La climatisation artificielle

Le rappel des contraintes d'usage de la climatisation mécanique et l'étude de recommandations minimisant la charge frigorifique sont l'objet de ce chapitre.

1. METHODOLOGIE

1.1. Problématique

L'objectif visé est d'établir des recommandations quantifiées permettant d'améliorer le confort thermique de l'habitat dans les DOM-TOM et d'éviter ainsi le recours aux systèmes de conditionnement d'air coûteux ,pour l'utilisateur comme pour la collectivité. Pour les locaux climatisés, neufs et anciens, tertiaires ou résidentiels, nous avons cherché néanmoins à définir les contraintes qu'implique l'utilisation d'une climatisation et, les possibilités de diminuer notablement la charge frigorifique par l'application de quelques règles .

Pour arriver à ces fins, le moyen le plus rapide et le plus approprié est sans conteste la simulation thermique de bâtiment à partir de logiciels élaborés.Deux outils d'aide à la conception thermique nous sont apparus les plus adaptés pour cette étude:

- CASAMO-CLIM pour l'analyse thermique des solutions constructives
- DEBIT pour l'évaluation des performances aéraulique des locaux

La démarche adoptée consiste donc à appliquer ces logiciels aux climats des DOM-TOM et à déduire de la comparaison de différentes variantes d'habitat largement répandues, les recommandations constructives recherchées.

Compte tenu des points communs observés dans les conditions climatiques dans les DOM-TOM (forte humidité, température tempérée de 20 à 35°C, présence des alizés), l'étude a été centrée sur des données météorologiques réelles relatives aux ANTILLES . L'ensemble des recommandations prescrites pour ce Territoire, sont en grande partie applicables, à quelques adaptations près, à l'ensemble des DOM-TOM (humidité plus ou moins forte, plans d'insolation différents, etc....).

Les données météorologiques ont été retenues selon le critère de représentativité de la période la plus inconfortable aux Antilles.

Le grand nombre de paramètres étudiés nous a conduit, afin d'éviter un nombre de simulations excessivement élevé, à effectuer une étude préliminaire des éléments de l'enveloppe. Ainsi, nous avons pu définir les limites d'efficacité de certains paramètres (ventilation, épaisseur d'isolant, couleur, ...) et d'écartier d'emblée les combinaisons non judicieuses entre certains de ces paramètres.

Cette phase préparatoire achevée, nous avons procédé à l'étude séparée des climatisations artificielle et naturelle de l'habitat sur des cas réels,en effectuant pour chacune :

- des analyses paramétriques systématiques,
- l'étude de solutions combinant divers paramètres, afin d'aboutir à des recommandations chiffrées en matière de construction et de modes de fonctionnement.

1.2. Présentation des outils d'aide à la conception

1.2.1. Analyse thermique : le logiciel CASAMO-CLIM

La méthode de calcul intégrée au logiciel repose sur un modèle de simulation en régime dynamique, du comportement de l'enveloppe (2). Les phénomènes physiques sont modélisés à l'aide d'hypothèses et d'algorithmes inspirés de modèles de simulation détaillés et validés sur une cellule-test. La structure modulaire du logiciel offre à l'utilisateur un très grand nombre de résultats dont les principaux sont :

- les courbes journalières d'évolution des principales variables climatiques (flux solaire, température...),
- les "courses" du soleil repérées dans le diagramme solaire (azimut, hauteur angulaire),
- l'évolution heure par heure, des variables caractéristiques du confort à l'intérieur du bâtiment (température d'air, température résultante sèche, humidité relative) et la charge de climatisation pour maintenir une certaine température. Les résultats sont exploités sous forme de tableau de valeurs, de courbes d'évolution quotidienne ou sur un diagramme de confort.

Le logiciel n'effectue pas le calcul des débits de renouvellement d'air d'un local (l'évaluation du potentiel du site est traitée par le logiciel DEBIT § 1.2.2). Mais le paramètre ventilation est pris en compte sous la forme de débits moyens jour/nuit. Ces débits moyens sont préalablement calculés par le logiciel DEBIT. Cette façon de procéder suppose un découplage thermique-ventilation. Cette hypothèse est justifiée du fait de la prédominance de la ventilation sur les mouvements purement convectifs dans l'habitat (11).

1.2.2. Analyse aéraulique : le logiciel DEBIT

Sur la base d'une description "multizones" du bâtiment, le logiciel effectue le calcul des débits de renouvellement d'air échangés entre les zones et l'extérieur, sous l'effet du vent et du tirage thermique (3). La modélisation prend en compte des données générales concernant le site et l'environnement, la géométrie du local, et les valeurs en direction et en vitesse du vent. Ce logiciel (en attente de validation, donc pas tout à fait opérationnel) sera surtout utile pour la comparaison des performances aérauliques de différentes configurations géométriques de locaux. L'aspect relatif de ces études n'enlève rien de la véracité des conclusions générales, des tendances mises en évidences, néanmoins le crédit accordé en valeur absolue aux taux de renouvellement d'air calculés devra être modulé compte tenu qu'il s'agit seulement d'une approximation.

1.3. Les données climatiques

1.3.1. le climat antillais

La Martinique et la Guadeloupe ont des caractéristiques climatiques assez voisines qui se rattachent au type " tropical humide ". C'est à dire :

- des saisons peu marquées,
- des températures maximales peu élevées (30 à 31 °C en moyenne pour le mois le plus chaud) ,
- de faibles écarts diurnes (4 à 8 °C) ,
- une forte humidité (18 à 20 g/Kg d'air sec) ,
- une assez forte nébulosité (trouble de link: 5 à 6) .

Ce niveau de nébulosité ,notamment en saison chaude (juin juillet, août) a pour effet :

- un rayonnement diffus assez élevé,
- une température de ciel peu différente de la température atmosphérique .

Les îles ,situées dans la zone intertropicale (entre 14 et 16° de latitude nord) sont soumises aux alizés ,vents permanents de secteur EST et de vitesses moyennes . Les alizés sont renforcés le jour par le vent solaire de la mer et affaiblis la nuit par le vent de la terre . Les Antilles sont de plus confrontées au passage de cyclones .

Nota Bene sur les régions d'altitude

Ce tableau de caractéristique climatique doit être nuancer pour les régions d'altitude aux Antilles :

- l'hygrométrie y est moindre
- la température décroît de 0.7 à 1°C pour 100 mètres .

Par conséquent, le problème du confort thermique se pose avec moins d'acuité en altitude (par exemple à 500 m d'altitude à MORNE DES CADET la température pour le mois le plus chaud varie entre 20 et 27 °C).

1.3.2. les journées types

Les séquences météorologiques de référence empruntent les données connues des sites de Fort De France (station météorologique Le Lamentin) et de Pointe-A-Pitre (station météorologique du Raizet) villes les plus importantes pour les densité de population . Ces sites ont été choisi pour être représentatifs (à quelques particularités mineures près) de l'ensemble de la région . Les recommandations tirées de cette étude sont généralisables à l'ensemble des Antilles .

DONNEES METEOROLOGIQUES
EN SAISON CHAUTE ET HUMIDE

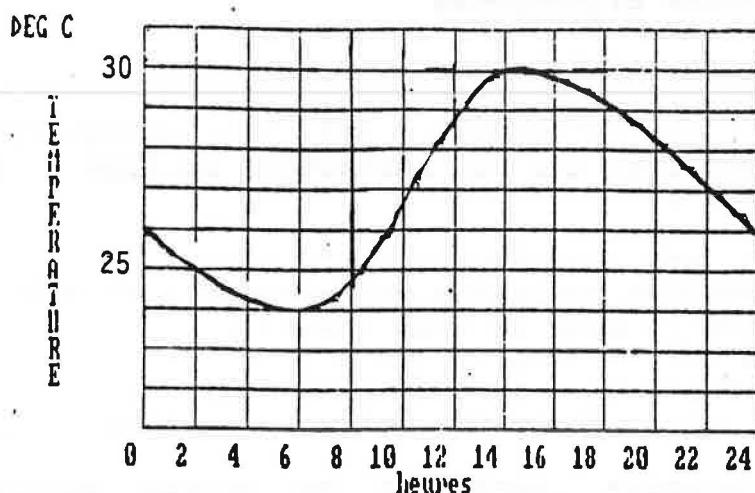


FIG 1:
TEMPERATURE

FIG 2:
HUMIDITE RELATIVE

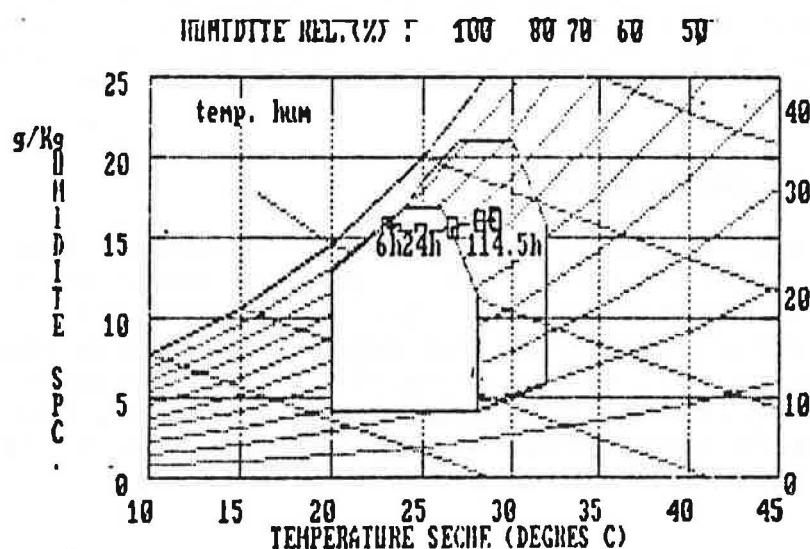
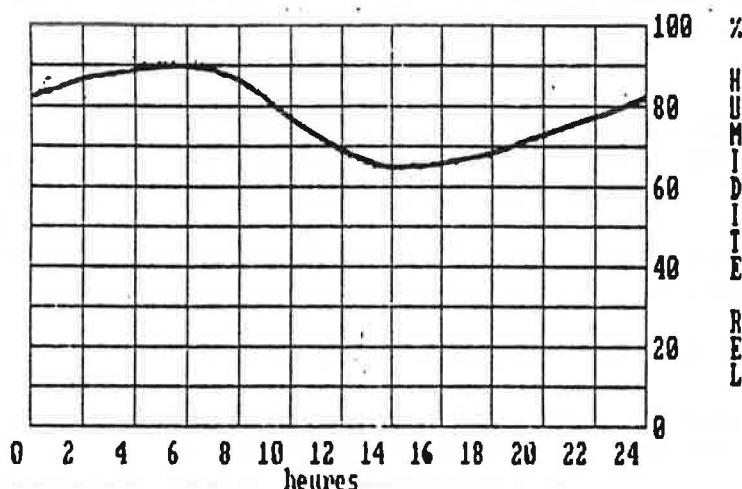


FIG 3: DIAGRAMME DES CONDITIONS DE CONFORT

DONNEES METEOROLOGIQUES
INSOLATION

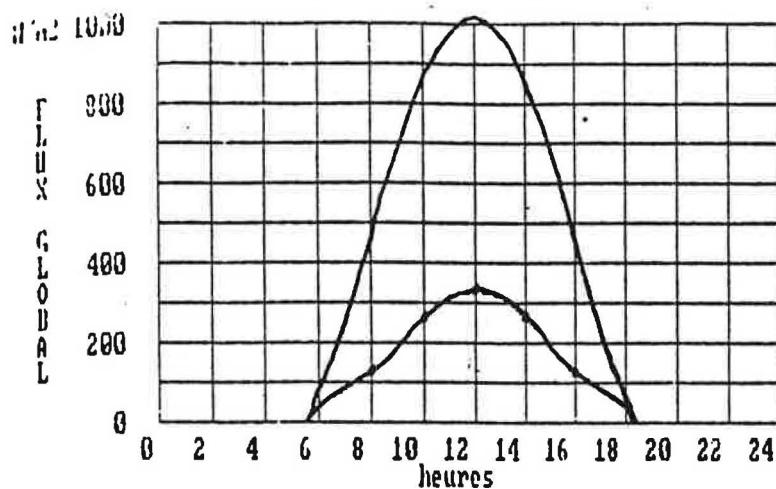


FIG 4:
— PLAN HORIZONTAL
-·- PLAN SUD

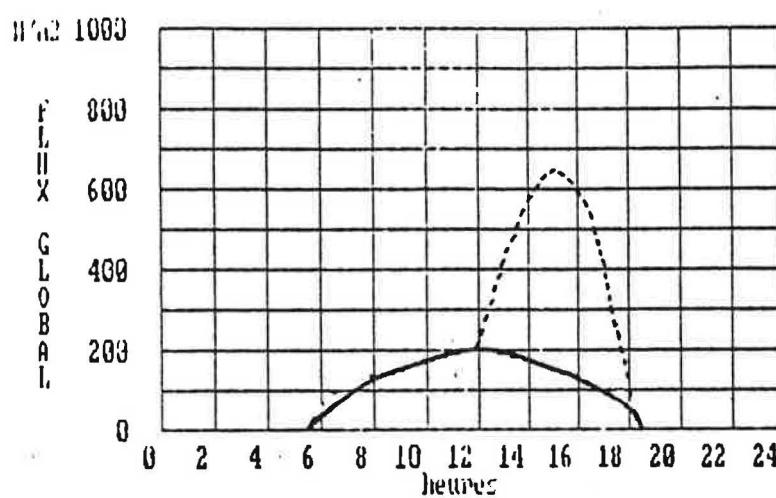


FIG 5:
- - PLAN OUEST
— PLAN NORD

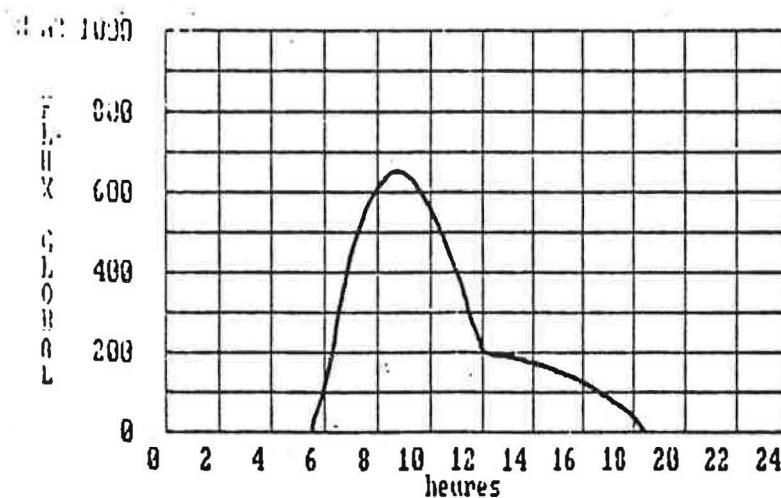
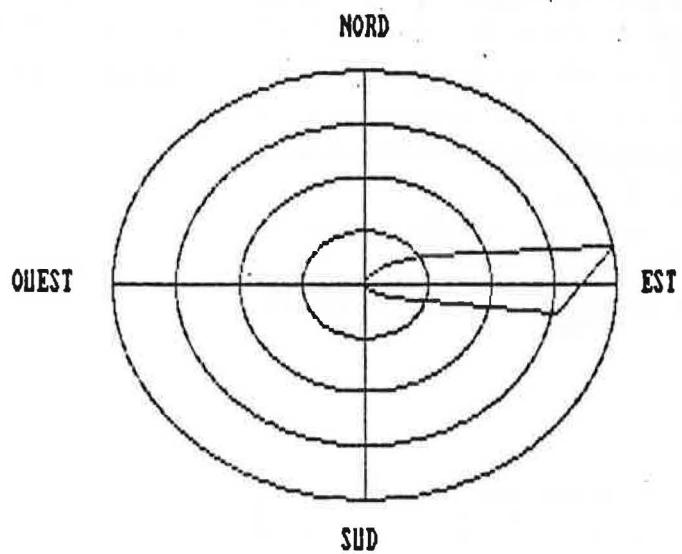


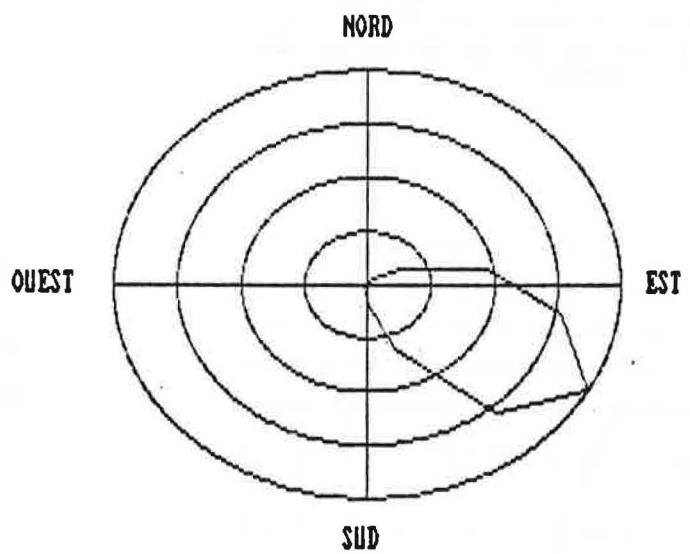
FIG 6:
— PLAN EST

FIG 7 ROSES DES VENTS

LE LAMENDIN : FREQUENCE DES ORIENTATIONS DU VENT



LE RAIZET : FREQUENCE DES ORIENTATIONS DU VENT



Les journées types ont été sélectionnées pendant la période la moins confortable de l'année. La combinaison la moins favorable des paramètres physiques qui déterminent le confort thermique se situe en saison chaude et humide (juin à septembre) :

- forte insolation : environ 5 kWh/m²/jour sur plan horizontal,
- températures les plus élevées (minimum: 24-25 °C maximum: 30-31 °C)
- forte humidité (humidité absolue moyenne : 19 g/kg - HR 65 à 90 %).

Les données climatiques considérées figurent sur les schémas :

- 1 température extérieure,
- 2 et 3 humidité relative,
- 4,5 et 6 irradiation solaire,
- 7 vitesse et direction du vent.

La température du ciel est prise en compte sous forme de différentiel avec la température atmosphérique. Compte tenu de la nébulosité, ce différentiel (temp. ext - temp. ciel) a été fixé à 5° C.

1.3.3. Les sources d'inconfort

a) Rappel sur les climats chauds et humides :

La sensation d'inconfort dans les climats chauds et humides, est due à la combinaison simultanée d'une température élevée et d'une humidité forte.

En effet, la chaleur est ressentie désagréablement d'autant plus que l'air est humide (toute augmentation de l'hygrométrie est assimilée dans ce type de climat à une augmentation de chaleur). Plus précisément, l'humidité est un facteur d'appréciation du confort lorsque la température d'air dépasse le palier 28/29°C :

- en dessous, c'est un paramètre mineur,
- au dessus, c'est le tandem température/hygrométrie qui détermine le niveau de confort.

Un autre aspect des désagréments occasionnés par une forte humidité concerne les niveaux d'humidité relatives proches de la saturation (> 90 %). En effet des valeurs extrêmes (supérieures à 90 % HR) sont à éviter, même lorsque les températures sont relativement modérées (23-24° C), car elles créent une sensation d'oppression sur les voies respiratoires.

b) Le facteur prépondérant d'inconfort aux Antilles

Selon des études statistiques, le couple limite température-humidité relative de l'agrément acceptable (en air calme) apparaît pour 29° C-70 %HR. Le climat antillais dépasse quelque fois cette limite. Néanmoins, à l'extérieur et à l'ombre, l'homme est en général dans une situation de confort. A l'intérieur des locaux sous l'effet de l'insolation, les surchauffes en température (l'humidité absolue est la même qu'à l'extérieur) et l'absence de ventilation sont les véritables sources d'inconfort. Les températures de l'air et des murs et les vitesses d'air sont les facteurs prépondérants pour appréhender les problèmes du confort thermique.

c) Les sources de surchauffes des locaux

Pour classer, les différentes sources de surchauffes thermiques des locaux, nous avons établi le bilan des apports sur une journée, d'un local standard (mur en parpaing, dalle béton, 2 ouvertures Nord et Sud), climatisé à 25° C.

Pour la majorité des habitations, l'origine des apports par les parois se décompose comme suit (en référence à une température intérieure de 25° C) :

-apports solaires	: 80-90 %
-apports dus à la température extérieure	: 20-10 %

Ce simple calcul préliminaire souligne l'énorme importance du rayonnement solaire pour le confort thermique de l'habitat. Il est indirectement par son action sur l'enveloppe la principale source d'inconfort (températures radiatives élevées des parois, surchauffe de l'air intérieur). Il agit d'ailleurs inégalement sur les éléments de l'enveloppe : la moitié des apports thermiques se concentrant sur la toiture !

1.4. Critères de comparaison

1.4.1. Bâtiments climatisés

Les comparaisons de bâtiments climatisés (partie 4) ne posent pas de problème de définition d'indice de confort, puisque les conditions de confort thermique sont supposées être réalisées par la climatisation mécanique. Les impératifs d'économie d'énergie imposent un critère de comparaison purement énergétique : il s'agit de comparer les performances thermiques de différentes variantes d'habitat. Dans ce but nous avons retenu la consommation frigorifique journalière du local.

1.4.2. Climatisation naturelle des locaux

La comparaison des locaux climatisés naturellement (partie 3) nécessite la définition de critères d'évaluation du degré de confort thermique fiables. A notre connaissance, il existe deux façons d'appréhender le confort :

- par l'observation de paramètres d'ambiance comme la température, l'humidité, les vitesses d'air...
- ou par la modélisation biophysique basée sur le bilan thermique d'un individu standard.

Cette seconde démarche reste pour le moment hors de portée du logiciel. Nous avons donc opté pour la première solution en privilégiant les paramètres température d'air, températures de surfaces des parois (radiation), pour les différentes périodes d'occupation des locaux.

L'humidité relative est observée pour veiller à ne pas approcher la saturation (HR supérieur à 90 %). La pression hygrométrique est ignorée dans la mesure où en climatisation passive, il n'est guère possible d'agir sur ce paramètre. Le paragraphe 1.3.3. montre :

- d'une part qu'il est possible aux Antilles d'obtenir des conditions de confort acceptables en n'agissant que sur les températures (d'air, radiatives) malgré le niveau relativement élevé de la pression hygrométrique.
- d'autre part la ventilation permet de contrecarrer le principal effet négatif d'une humidité absolue élevée, en augmentant le pouvoir évaporateur de l'ambiance. Donc température et vitesse d'air compensent très largement notre incapacité à agir sur ce paramètre.

Le calcul des débits de renouvellement d'air (effectué par le logiciel DEBIT) n'est pas un critère de confort, mais permet d'apprécier les performances aérauliques de l'habitat. Les performances thermiques de l'enveloppe de l'habitat, objet principal de ce rapport, exigent la définition d'un indice synthétique regroupant :

- la température d'air,
- les températures radiatives des parois sur les différentes périodes d'occupation

L'indice de confort retenu est une combinaison de ces deux paramètres ($T_R = 1/2 T_{air} + 1/2 T_{murs}$ (*)) appelé aussi température

(*) T_{murs} : moyenne des températures radiatives pondérées selon leur surface, des différentes parois du local.
envoi (suite)

résultante. Pour tenir compte des différentes utilisations des locaux (repos la nuit, activité le jour), la température résultante est calculée en moyenne sur ces deux périodes :

- la nuit (21 h - 8 h)
- le jour (8 h - 21 h).

La fatigue ressentie en climat chaud et humide est due en grande partie à un sommeil médiocre (7). Assurer une bonne qualité de sommeil est donc un impératif incontournable .C'est pourquoi notre stratégie repose sur deux éléments essentiels :

- réaliser de bonnes conditions thermiques la nuit pour le repos,
- atténuer (et annuler si possible) l'effet des contraintes thermiques le jour.

En résumé, notre critère principal de comparaison des performances thermiques des enveloppes est la température résultante (calculée le jour et la nuit), puisque la principale source d'inconfort dans l'habitat est due aux surchauffes de température (air, radiative).

Pour la comparaison de solutions d'habitat (§ 3.7.2.), des données complémentaires comme l'humidité relative maximale (elle ne doit impérativement pas dépasser 90% H.R) , le taux de renouvellement d'air, les vitesses d'air (calculées ou évaluées) sont prises en compte pour compléter notre jugement.

2. LES ELEMENTS DE L'ENVELOPPE

2.1. Objet

La connaissance du comportement thermique de chaque élément de l'enveloppe de l'habitat, c'est à dire :

- le toit,
- les murs verticaux (avec des masques intégrés éventuellement),
- les ouvertures (avec des pare-soleil éventuellement),

sous l'effet des différentes sollicitations climatiques est une étape nécessaire pour la suite de l'étude.

Par ce travail préliminaire nous visons notamment à répondre définitivement à certaines questions que l'on se pose "à priori" :

- quelles sont les limites d'efficacité pour le confort thermique d'une maison, de l'épaisseur d'un matériau ou d'un isolant ? de l'avancée de l'arête d'un masque ? de la couleur des murs ?
- quelles sont les meilleures configurations à adopter pour une toiture ?
- quel est l'intérêt de la ventilation des combles ?, etc ...

De surcroît, la visualisation des effets étudiés (allure des tracés de courbes) revêt un aspect pédagogique certain et donne des renseignements utiles pour l'extrapolation éventuelle de l'effet des paramètres (nature linéaire, asymptotique...).

Le problème du cumul de plusieurs effets (par exemple, revêtement blanc + isolation du mur) est abordé. L'étude de ces interactions est effectuée dans le but d'éviter la redondance des actions à mener pour améliorer le confort thermique.

2.2. Procédure

Le cadre général de cette étude s'appuie sur les données générales d'un local de base, décrit en Annexe 1 . La procédure consiste à étudier un seul élément de l'enveloppe sans le découpler du reste du local. Pour n'observer que les phénomènes physiques inhérents à cet élément, le reste de l'enveloppe est neutralisé par la présence d'une épaisseur importante d'isolant (1m) placé à l'extérieur. De cette façon, les parois non-étudiées n'influent pratiquement pas le bilan thermique de l'élément.

Dans tous les tests qui concernent cette partie, l'ambiance intérieure du local est supposée maintenue à 25° C. Les flux thermiques en W/m² sont observés sur la surface interne de la paroi pour des conditions météorologiques définies en § 1.3.

2.3. Murs Verticaux

La charge thermique qui traverse les murs verticaux dépend fortement de leur orientation et de la saison.

PLAN	
EST OUEST	FORTEMENT INSOLE TOUTE L'ANNEE
SUD (*)	FORTEMENT INSOLE EN SAISON FRAICHE DEC - FEV FAIBLEMENT INSOLE EN SAISON CHAUME MAI - SEPT
NORD (*)	FAIBLEMENT INSOLE TOUTE L'ANNEE

(*) données en hémisphère nord

Par symétrie, la charge journalière d'un mur EST est identique à celui d'un mur OUEST. Ces considérations nous autorisent à réduire notre étude à deux orientations :

- OUEST (EST)
- SUD (plus exposée que le NORD)

2.3.1. Matériau-Isolation

La comparaison de deux matériaux courants dans les DOM-TOM :

- bois (matériau léger)
- aggloméré (matériau lourd)

met en évidence deux facteurs de différenciation :

- la résistance thermique (schéma 8) ; 20 cm d'aggloméré donne la même charge que 3,2 cm de bois.
- l'inertie thermique ; à résistance thermique égale (bois 3,2 cm, aggloméré 20 cm), le matériau lourd présente la particularité d'un meilleur étalement, dans le temps, de la charge thermique (Schéma 9).

L'effet de résistance thermique peut être amplifié par l'isolation de la paroi. L'allure asymptotique de la courbe -flux thermique en fonction de l'épaisseur d'isolant (schéma 10) - concentre l'essentiel de l'effet thermique aux premiers cm d'isolant. Au-delà de 5 cm d'épaisseur, la diminution supplémentaire de la charge thermique est très restreinte. Ainsi 5 cm

UN MUR EN BOIS ET UN MUR EN AGGLOMERE
(orientation nord)

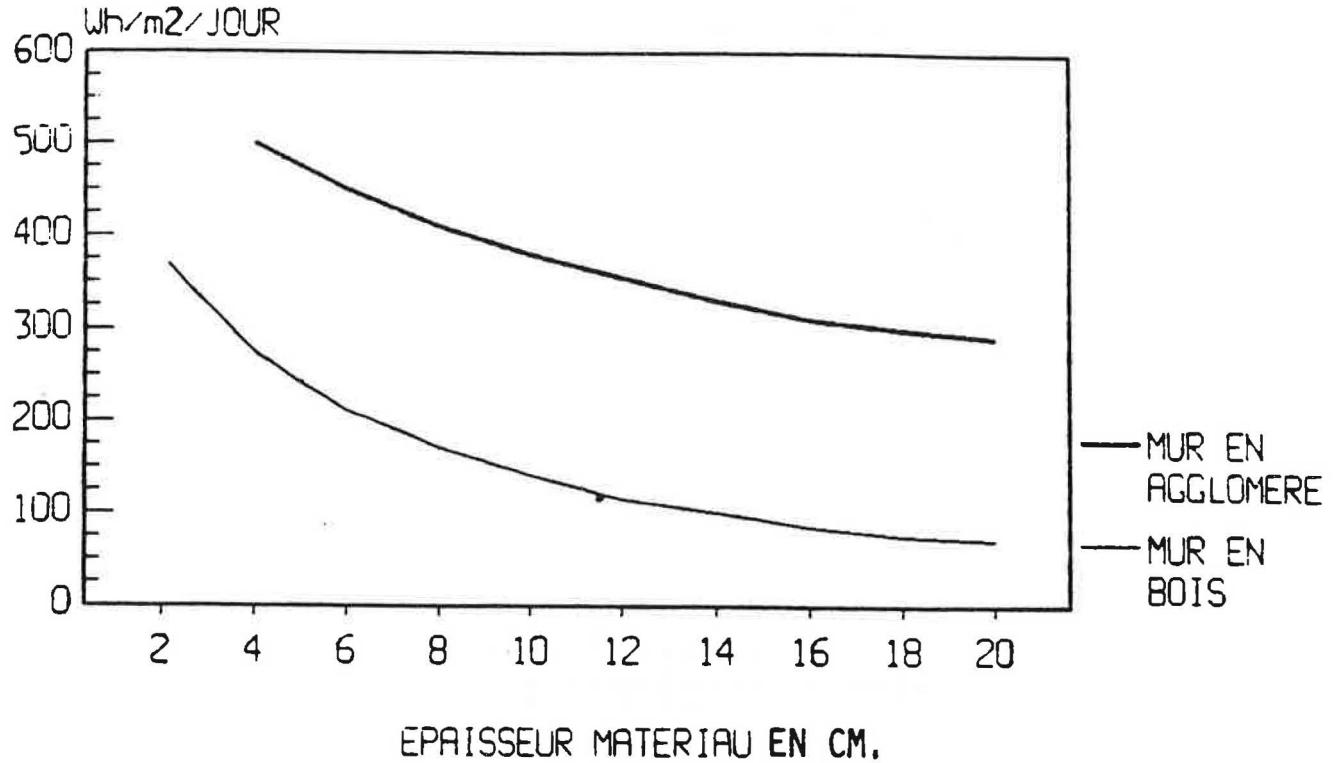
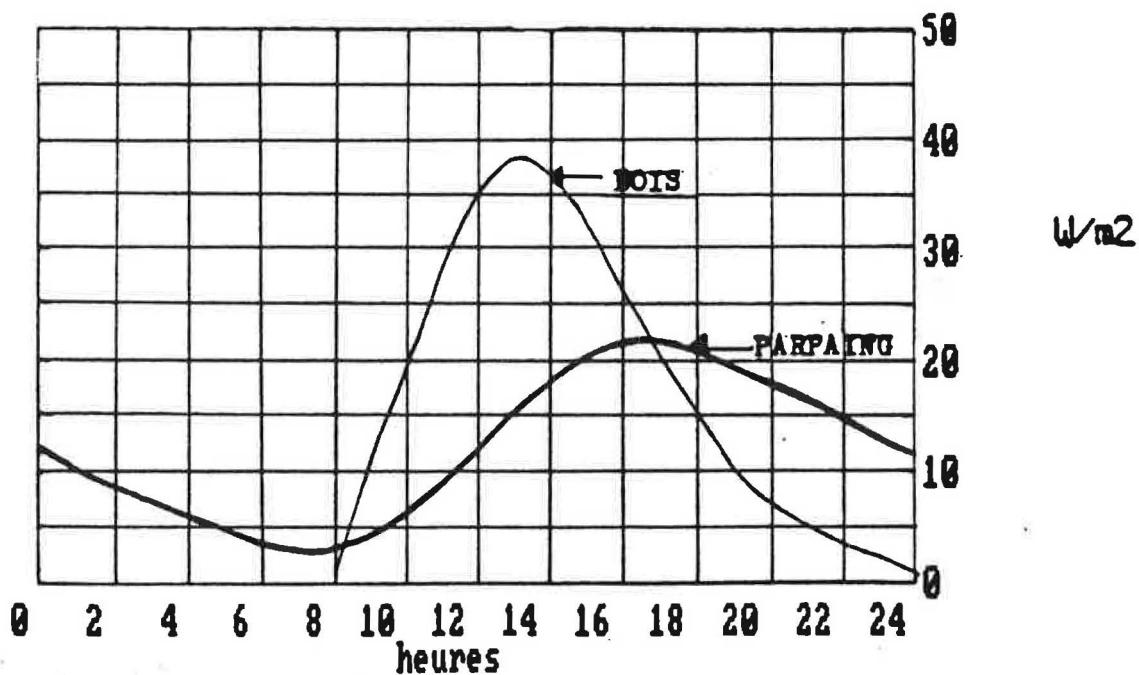
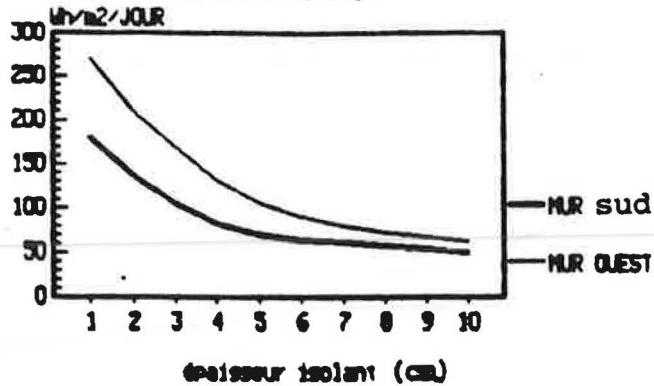


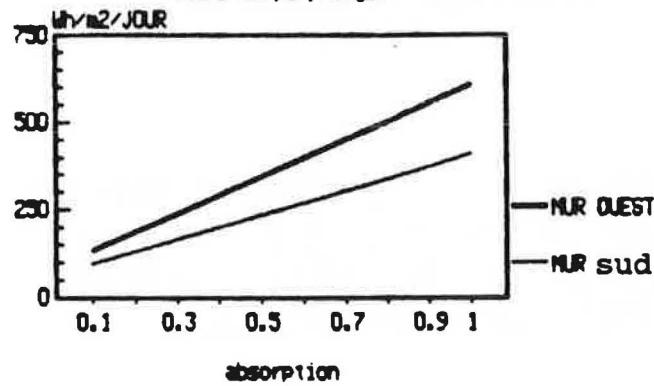
FIG 9: COMPARAISON DU FLUX THERMIQUE JOURNALIER TRAVERSANT UN MUR EN BOIS ET UN MUR EN AGGLOMERE DE MEME RESISTANCE THERMIQUE (BOIS 3.2cm, PARPAING 20cm)



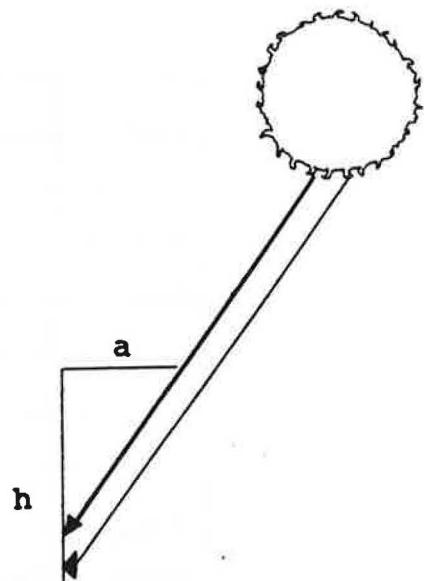
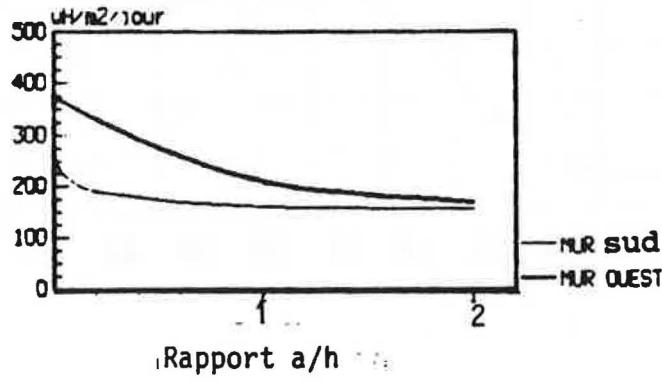
**FIG 10: INFLUENCE DE L'ISOLATION DES MURS SUR
LE FLUX THERMIQUE
(murs en parpaings)**



**FIG 11: INFLUENCE DE L'ABSORPTION DES MURS SUR
LE FLUX THERMIQUE
(murs en parpaings)**



**FIG 12: INFLUENCE D'UN MASQUE HORIZONTAL
SUR LE FLUX THERMIQUE TRAVERSANT UN MUR
(en fonction de l'avancée de l'arête)**



d'isolation apparaît donc comme un bon optimum économique et réduit déjà de 3/4 la charge thermique.

En toute rigueur, la nature de l'isolant utilisé influe sensiblement sur les performances thermiques. Mais, en réalité l'efficacité d'un isolant dépend en grande partie de sa mise en œuvre, sa tenue au temps et aux intempéries. Aussi, pour cette étude, les caractéristiques thermiques de l'isolant retenu sont moyennes : conductivité de l'ordre de $0.04 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Ce qui correspond grossièrement à des isolants comme la laine de verre ou le polystyrène expansé. Les mousse de polyméthane (conductivité: $0.03 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$) sont légèrement plus performantes.

Dans le cas d'une isolation sélective des murs, il est évident qu'il faut privilégier les murs, les plus exposés (EST et OUEST).

2.3.2. Couleur des murs

L'influence de l'absorption des murs sur le flux thermique est de nature linéaire (schéma 11). La charge résiduelle, lorsque l'absorption est nulle, est due à la température extérieure. Mais, cette charge est faible et souligne l'importance des apports solaires.

Ainsi, entre un mur de couleur foncé (gris foncé, absorption = 0.7) et un mur clair (blanc éclatant = 0.25), la charge thermique est diminuée de plus des 2/3. Un revêtement extérieur clair approche les performances de l'isolation avec l'avantage d'un coût économique moins élevé.

2.3.3. Masques intégrés

Les masques intégrés (débords de toiture, par exemple) agissent essentiellement sur la composante directe du rayonnement solaire. Le niveau de protection, assuré par un masque dépend principalement de son avancée et des débords gauche et droit.

Cette forme de protection contre les apports solaires directs rencontre une limite asymptotique, fonction de l'avancée (Schéma 12).

Dans la pratique, il n'est guère possible d'envisager des avancées d'arête de plus de 2, 3 m.

Pour les murs EST et OUEST, une arête horizontale ne permet jamais d'éliminer la composante directe de l'ensoleillement (courbe basse du soleil). La protection assurée par ce type de masques est relativement faible (1 m d'avancée pour un mur d'une hauteur de 2.8 m, protège de 15 % la composante solaire directe).

Pour les orientations EST/OUEST, il faut préférer les masques verticaux (écran végétal, lames orientables etc...).

L'orientation SUD est peu exposée durant la saison chaude (le NORD ne l'est pratiquement pas). Néanmoins, les masques de type arête horizontale sont d'une grande efficacité : une avancée de

1m protège presque en totalité de la composante directe de l'ensoleillement.

Cette propriété peut être mise à profit, notamment pour les ouvertures NORD/SUD qui drainent une quantité d'énergie non négligeable.

2.3.4. Interactions de paramètres

Est-il avantageux de cumuler plusieurs moyens d'action pour limiter le flux thermique ? La réponse est à nuancer selon les paramètres considérés.

Cumul isolation - couleur

L'utilisation séparée de fortes épaisseurs d'isolant (5cm ou plus) et de revêtements extérieurs extrêmement clairs (blanc éclatant) est en principe suffisante pour limiter de façon satisfaisante le flux thermique à travers les parois. Le cumul de ces deux moyens d'action n'a d'intérêt que si l'on recherche de hautes performances énergétiques pour le local (Schéma 13).

Dans ce but, des motivations économiques peuvent guider vers certains choix : par exemple, 5 cm d'isolant + un revêtement extérieur clair (absorption=0.3) ont une efficacité supérieure à 10 cm d'isolant et un revêtement extérieur foncé (par exemple gris foncé, absorption = 0,7) !

Cumul couleur - masques intégrés

Les masques intégrés (arête horizontale) ne peuvent assurer, notamment en plein EST/OUEST, une protection suffisante. Utilisés comme moyen d'action complémentaire à un revêtement extérieur clair, les masques intégrés peuvent se révéler très utiles (schéma 14). Par exemple, dans les régions où la poussière nuit à la qualité de réflexion des murs, on retiendra l'action équivalente d'un mur blanc très clair (absorption = 0,25) et d'un mur blanc peu clair (absorption = 0,4) avec une avancée de 2 m !

2.4. Les ouvertures

Le flux thermique traversant un vitrage simple, est comparativement 4 à 5 fois plus important que celui traversant un mur (en parpaing 20 cm ou bois 3.2 cm) pour une même exposition . Les expositions EST/OUEST captent, en Janvier et Février, deux fois plus d'énergie solaire que le plan SUD (le plan NORD ne reçoit que des irradiations solaires diffuses).

En climatisation naturelle, le choix de l'orientation des vitrages doit par conséquent chercher à réaliser un compromis entre la direction dominante des vents (pour profiter du potentiel de

INFLUENCE COMBINEE DE L'ISOLATION ET DE
LA COULEUR SUR LE FLUX THERMIQUE
TRAVERSANT UN MUR
(mur en parpaings)

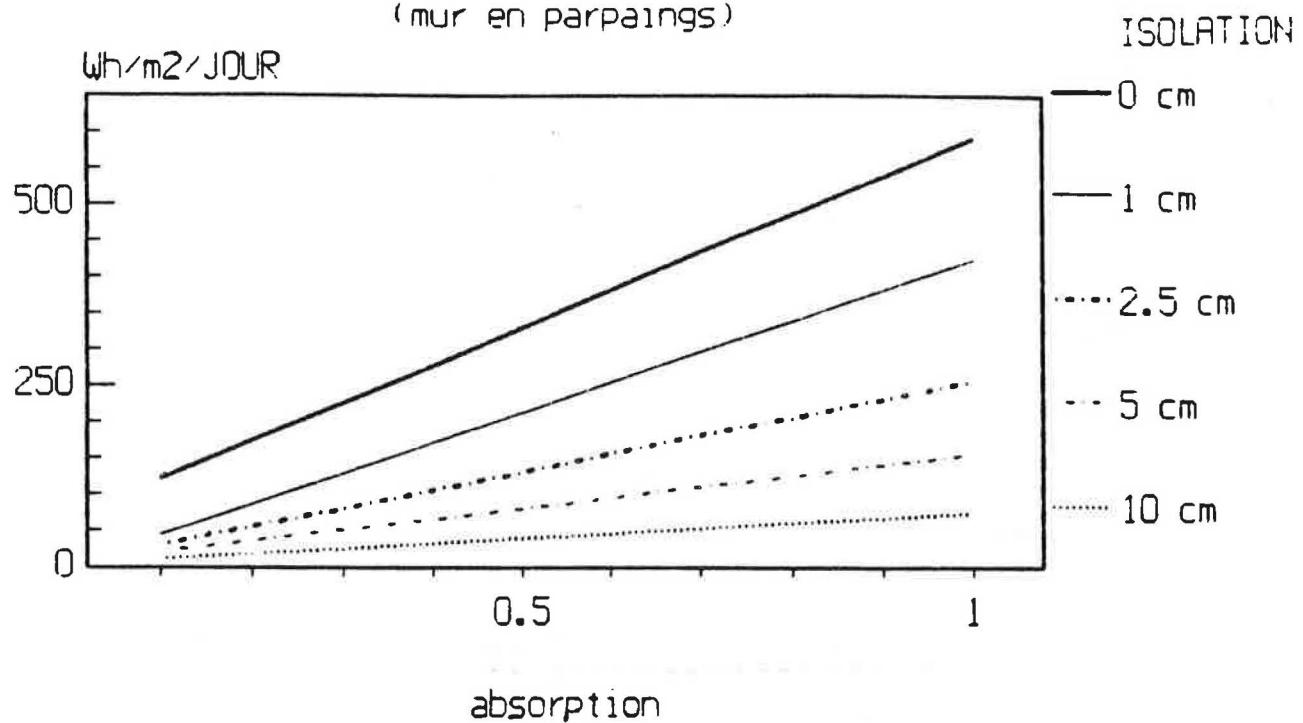
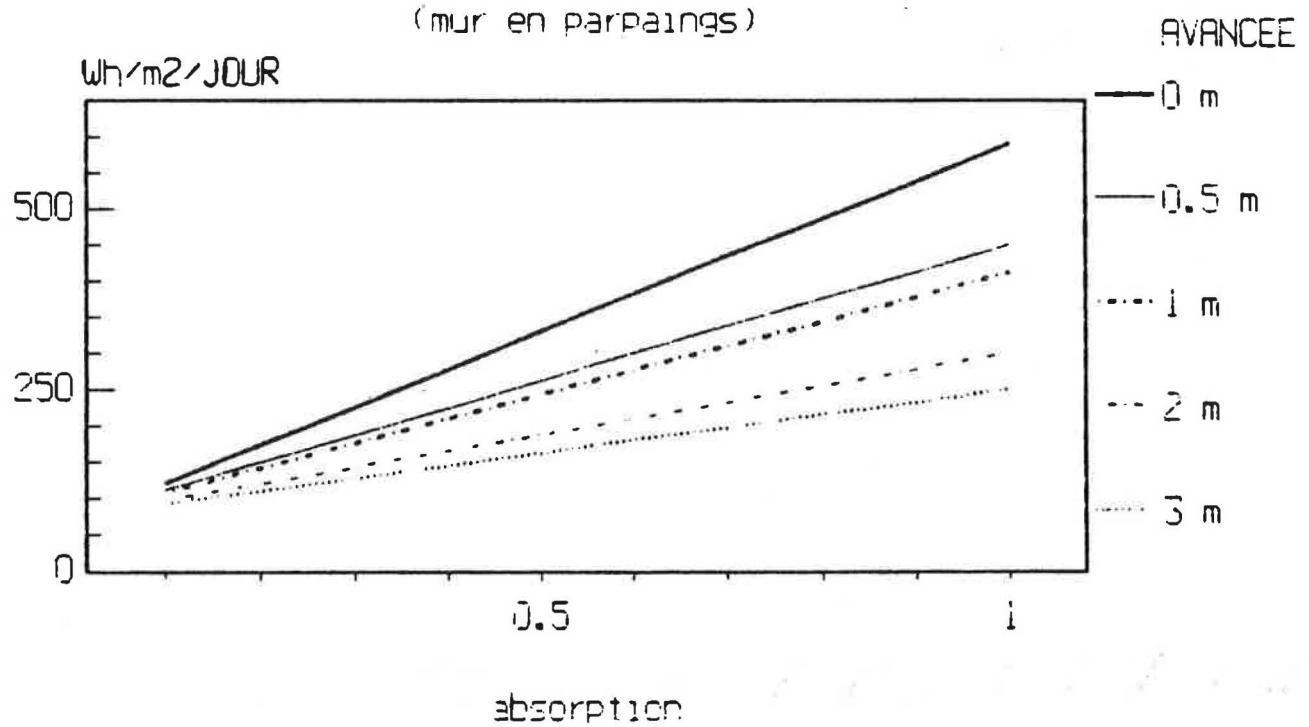


FIG 14: INFLUENCE COMBINEE DE LA COULEUR ET D'UN
MASQUE HORIZONTAL SUR LE FLUX THERMIQUE
TRAVERSANT UN MUR
(mur en parpaings)



ventilation) et l'exposition des plans au soleil (pour réduire au maximum l'irradiation). Ce problème est abordé dans le Chapitre 3.

En climatisation artificielle, une règle simple de conception est de minimiser l'exposition des ouvertures au rayonnement solaire, par exemple:

- en privilégiant les orientations NORD/SUD
- en dimensionnant au plus juste les surfaces d'exposition (éviter de trop grandes surfaces de vitrages sans nuire toutefois à l'éclairage naturel des locaux).

Il existe une multitude de moyens d'action pour réduire le flux thermique, dû au rayonnement solaire traversant un vitrage :

- * LE VOILAGE des ouvertures (par exemple, stores extérieurs) l'effet est proportionnel au taux d'opacité
- * L'UTILISATION de VERRE à faible coefficient de transmission (Schéma 16).
- * la présence de PARE-SOLEIL (Schéma 18)
Ces derniers sont nettement les plus efficaces en orientation SUD et NORD. 1 m d'avancée d'arête horizontale limite en totalité la composante directe du rayonnement solaire. En orientation EST/OUEST, il est pratiquement impossible d'éliminer par un masque horizontal complètement la composante directe du rayonnement solaire (schéma 15).

La nature du plancher a-t-elle une influence sur la charge thermique en provenance des ouvertures ?

A résistance thermique égale, la composition du plancher influe sur l'étalement de la charge : plus le plancher est lourd et plus la charge est étalée dans le temps (Schéma 17 : comparaison plancher bois/plancher béton).

2.5. La Toiture

50 % des apports transitent par la toiture (habitat à un niveau). Ce chiffre nous rappelle le soin qui doit être apporté dans la conception du toit. Aussi, compte tenu de la place prépondérante du toit dans l'équilibre thermique d'un bâtiment, une étude exhaustive des phénomènes qui régissent les transferts thermiques en toiture s'impose .

2.5.1. L'inertie de la toiture

On peut distinguer deux types de toitures qui englobent "grossièrement" toutes les configurations. Ce sont les toitures

FIG 15: INFLUENCE D'UN PARE-SOLEIL SUR LE FLUX THERMIQUE TRAVERSANT UN VITRAGE
(en fonction de l'avancée de l'arête)

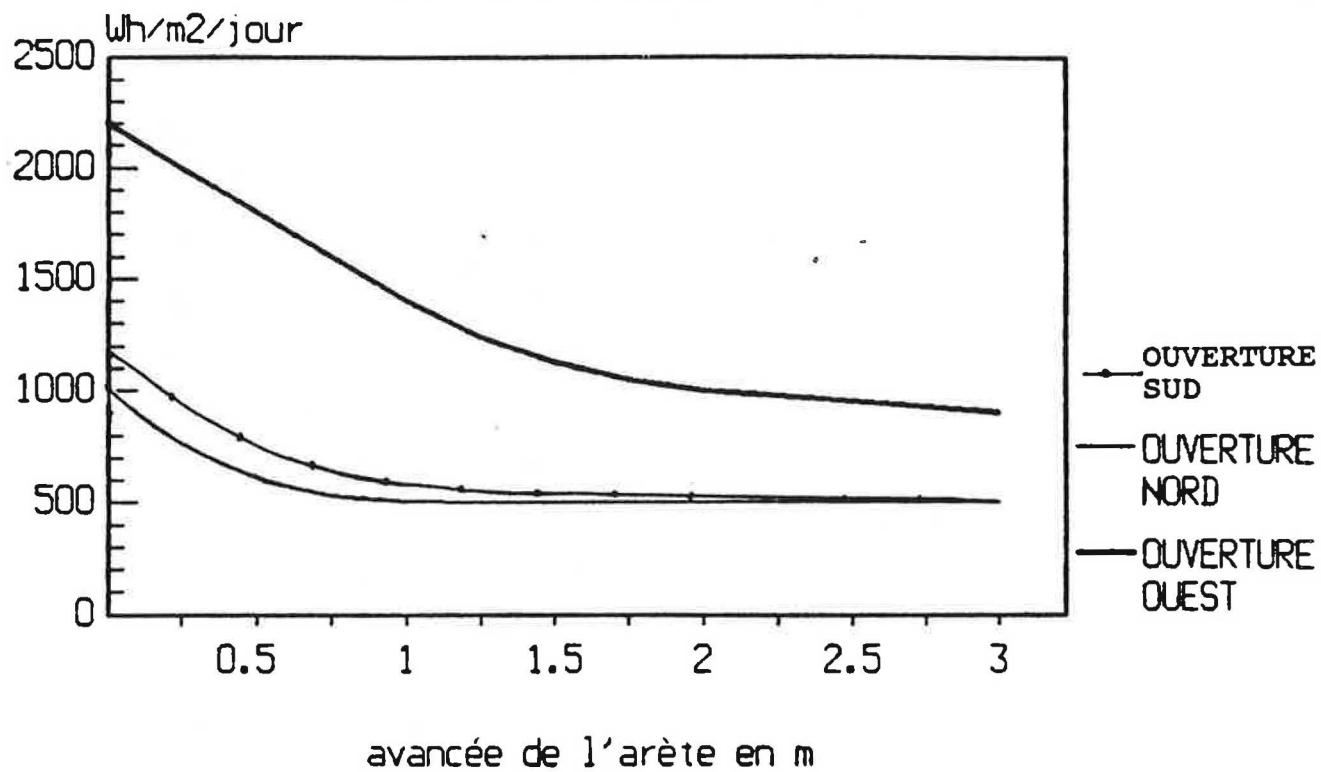
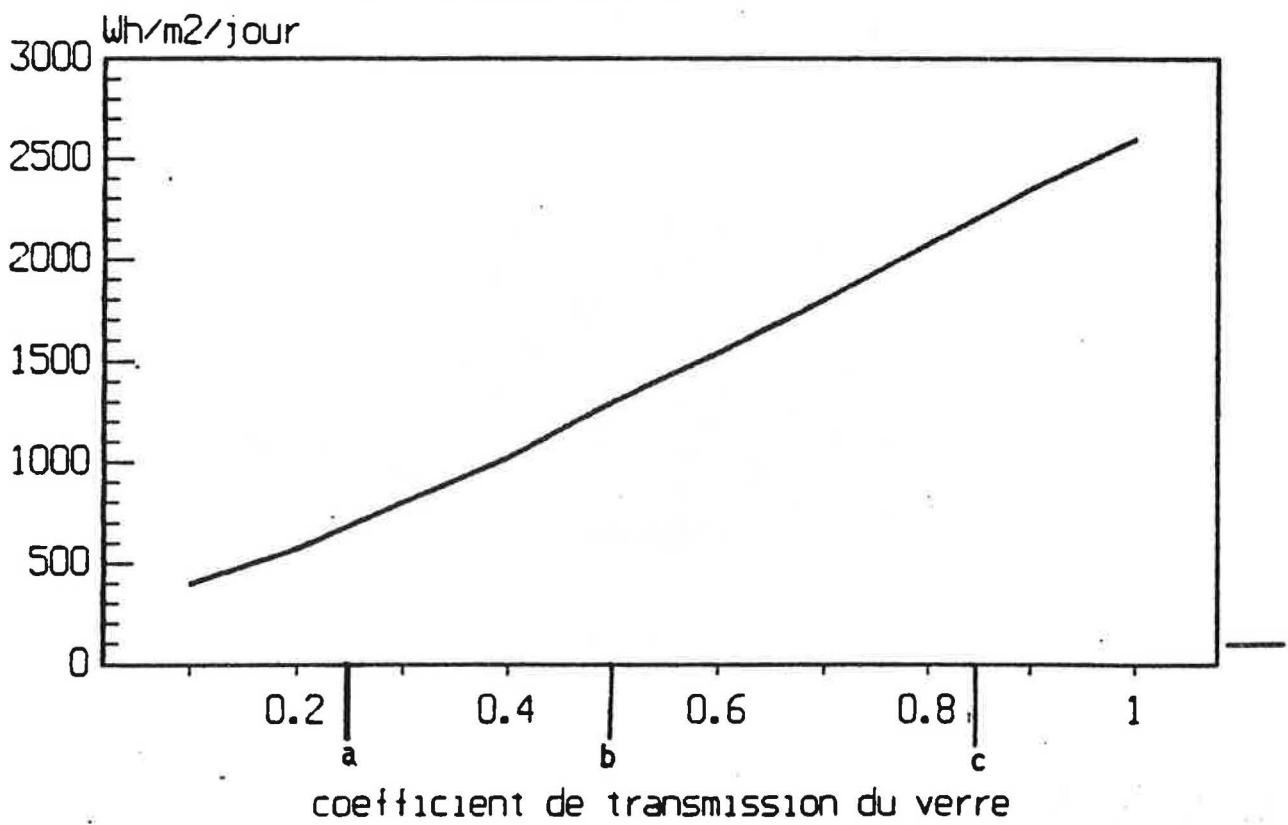


FIG 16: INFLUENCE DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION DU VITRAGE SUR LE FLUX THERMIQUE



a. verre très performant (St Gobain - Parélio - Vert 24)

b. verre St Gobain Corail

c. verre usuel

FIG 17: INFLUENCE DE L'INERTIE DU PLANCHER SUR LA REPARTITION JOURNALIERE DES APPORTS PAR M² DE VITRAGE

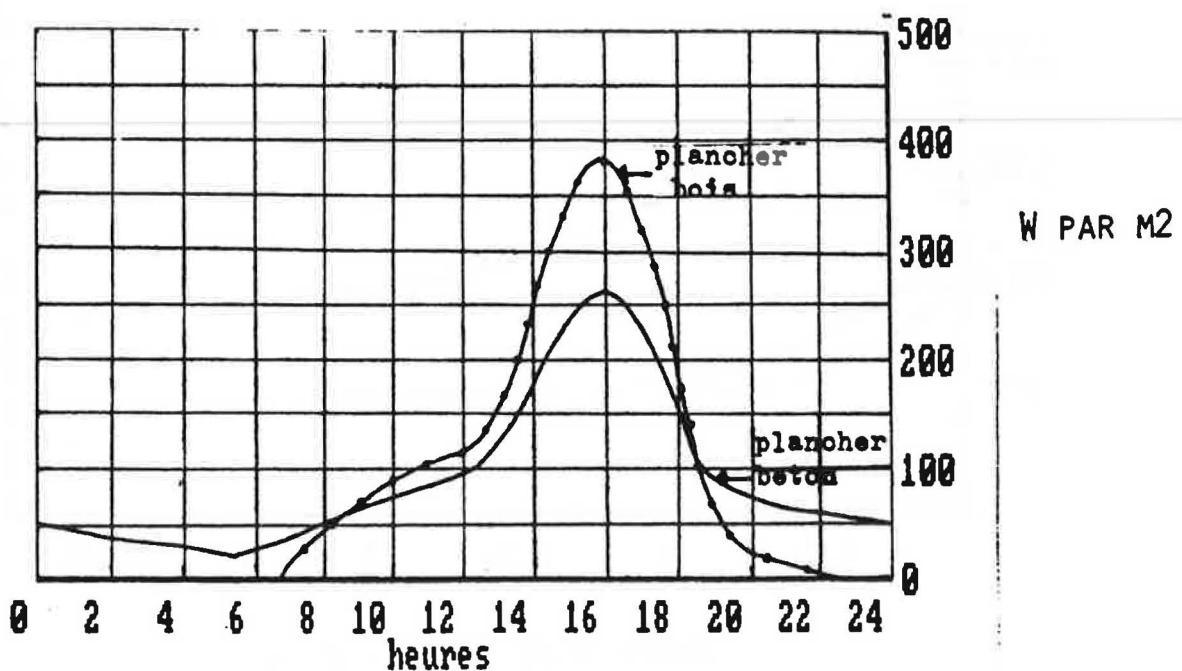
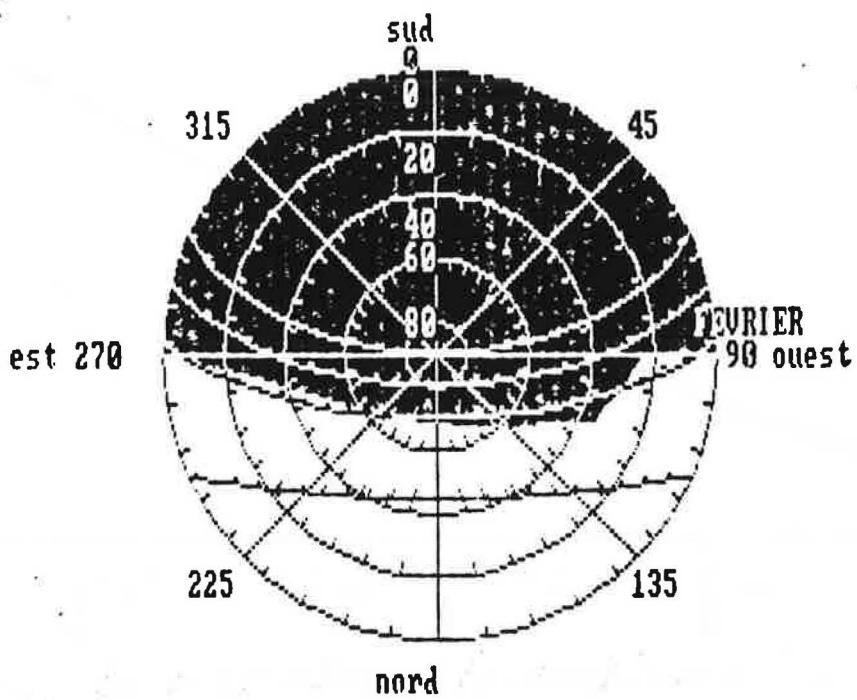


FIG 18: DIAGRAMME SOLAIRE D'UN PARE-SOLEIL SUR UN VITRAGE EXPOSE AU NORD

(Avancée 1m, débord gauche 1,6m, débord droit 5m)



"lourdes" (par exemple, dalle de béton de 10 cm) et "légères" (par exemple, tôle galvanisée de faible épaisseur).

Les qualités et les défauts de ces toitures se résument à ce que leur confèrent leurs inerties respectives, c'est à dire :

- DALLE DE BETON (10 cm) : bonne répartition de la charge sur la journée, relativement inconfortable la nuit (effet du stockage thermique).
- TOLE : insupportable le jour, confortable la nuit (pas d'effet de compensation).

Le Schéma 19 compare ces deux types de toit. Notons que la dalle béton (10 cm) a une résistance thermique plus élevée que la tôle c'est pourquoi , la charge journalière est sensiblement moins élevée (1090 Wh/m².jour à comparer avec 1350 Wh/m².jour)

2.5.2. Couleur/Isolation

On retrouve les mêmes types de courbes que pour les murs verticaux (Schémas 20,21). A la différence des murs, il est difficile à cause des intempéries (pluies fréquentes, poussières, forte insolation), de fixer à la toiture , et de façon durable des revêtements de couleur claire. L'isolation, utilisée dans des épaisseurs raisonnables (5 cm), s'avère être alors, un recours très efficace.

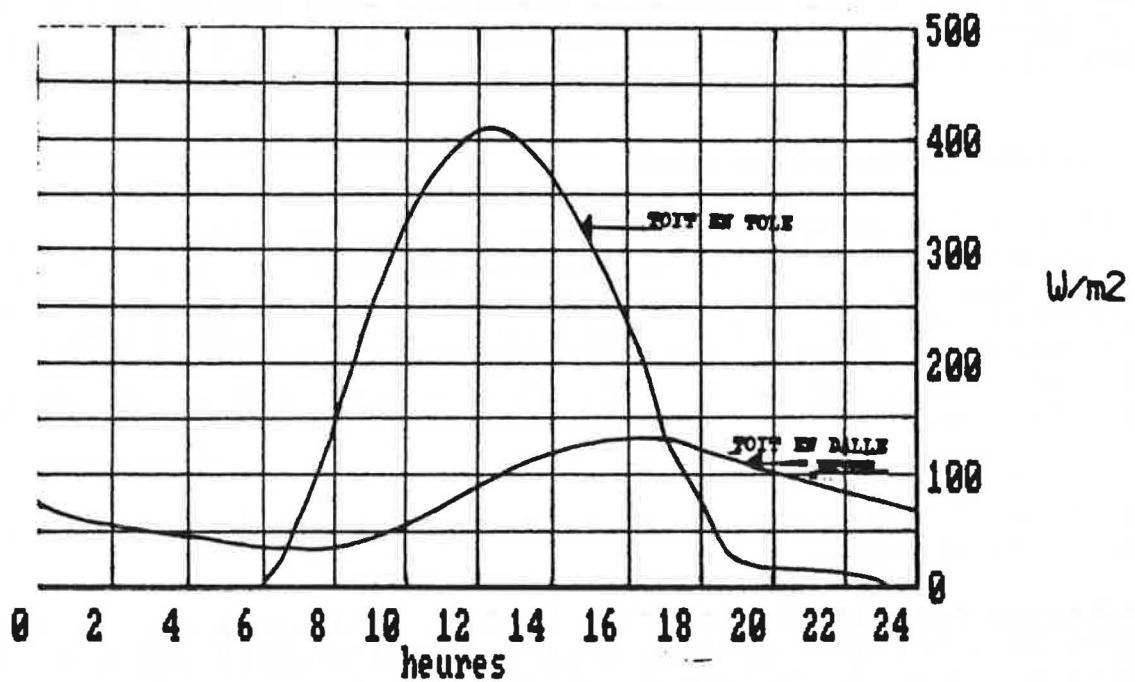
Mais comment isoler ?

Dans le cas d'une dalle de béton, faut-il isoler par l'intérieur ou par l'extérieur ?

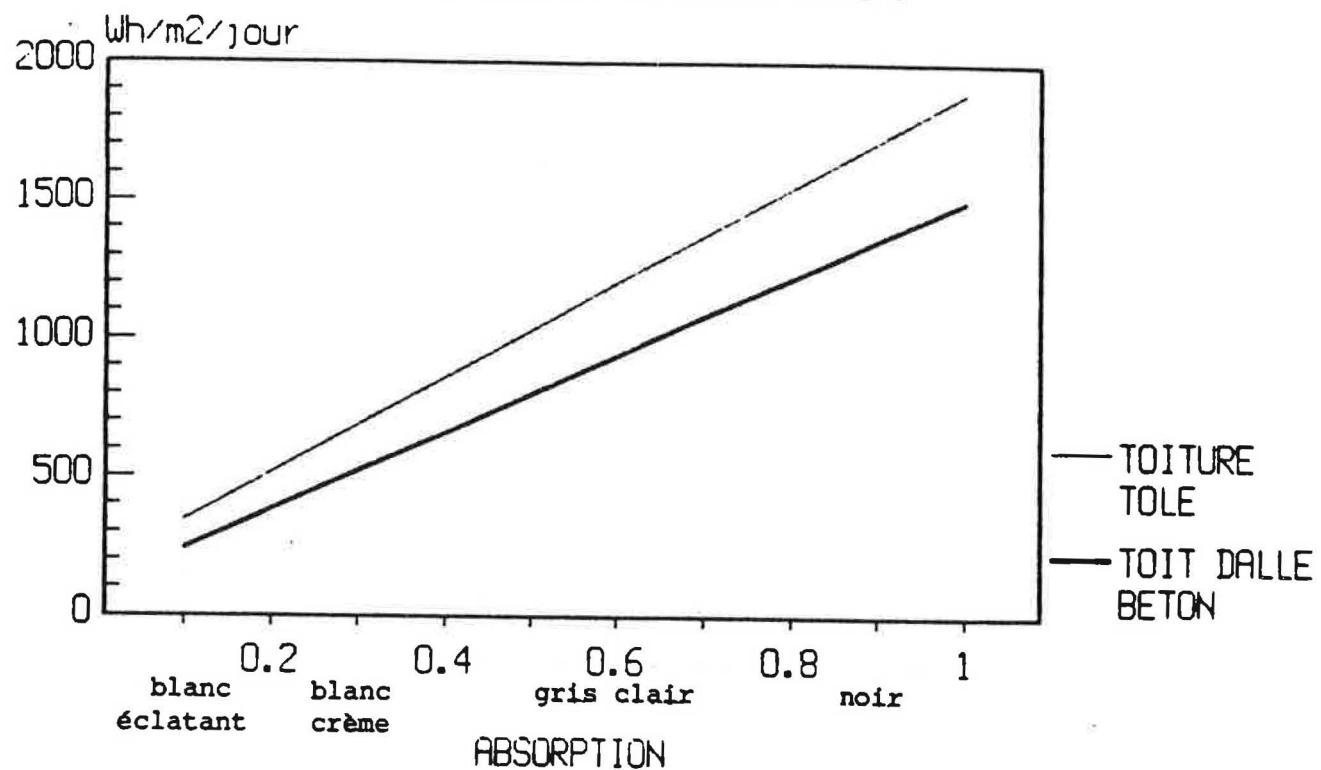
L'isolation extérieure accentue l'effet d'inertie de la dalle (Schéma 22). L'emplacement de l'isolation s'établit selon l'usage destiné du local et le type de climatisation , comme le montre le tableau ci-dessous :

DALLE BETON : POSITION ISOL.	CLIMATISATION MECANIQUE	CLIMATISATION NATURELLE
ISOLATION EXTERIEURE	locaux climatisés en permanence	local utilisé le jour
ISOLATION INTERIEURE	fonctionnement intermittent de la climatisation	local utilisé la nuit

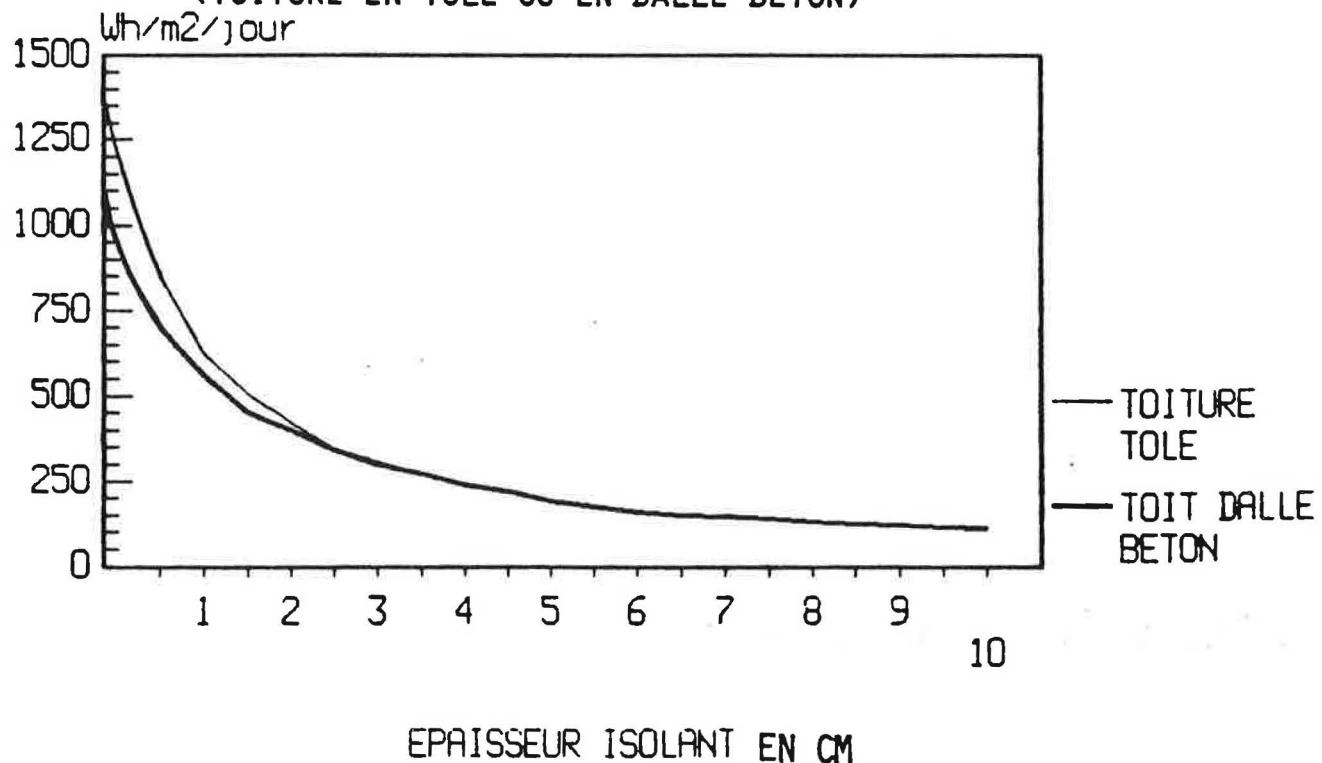
FIG 19: COMPARAISON DU FLUX THERMIQUE TRAVERSANT
UN TOIT EN TOLE ET UN TOIT EN DALLE DE
BETON (10 cm)



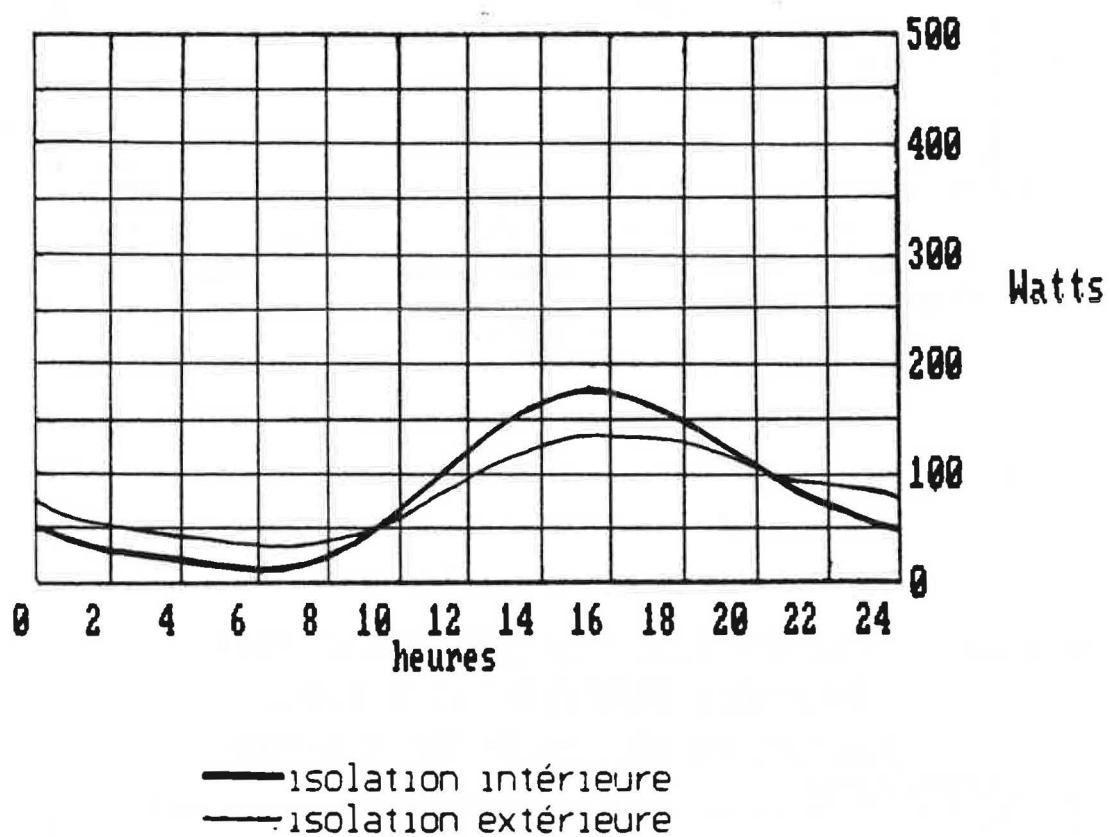
**FIG 20: INFLUENCE DE LA COULEUR SUR LE FLUX THERMIQUE TRAVERSANT LA TOITURE
(toiture en tole et en dalle béton)**



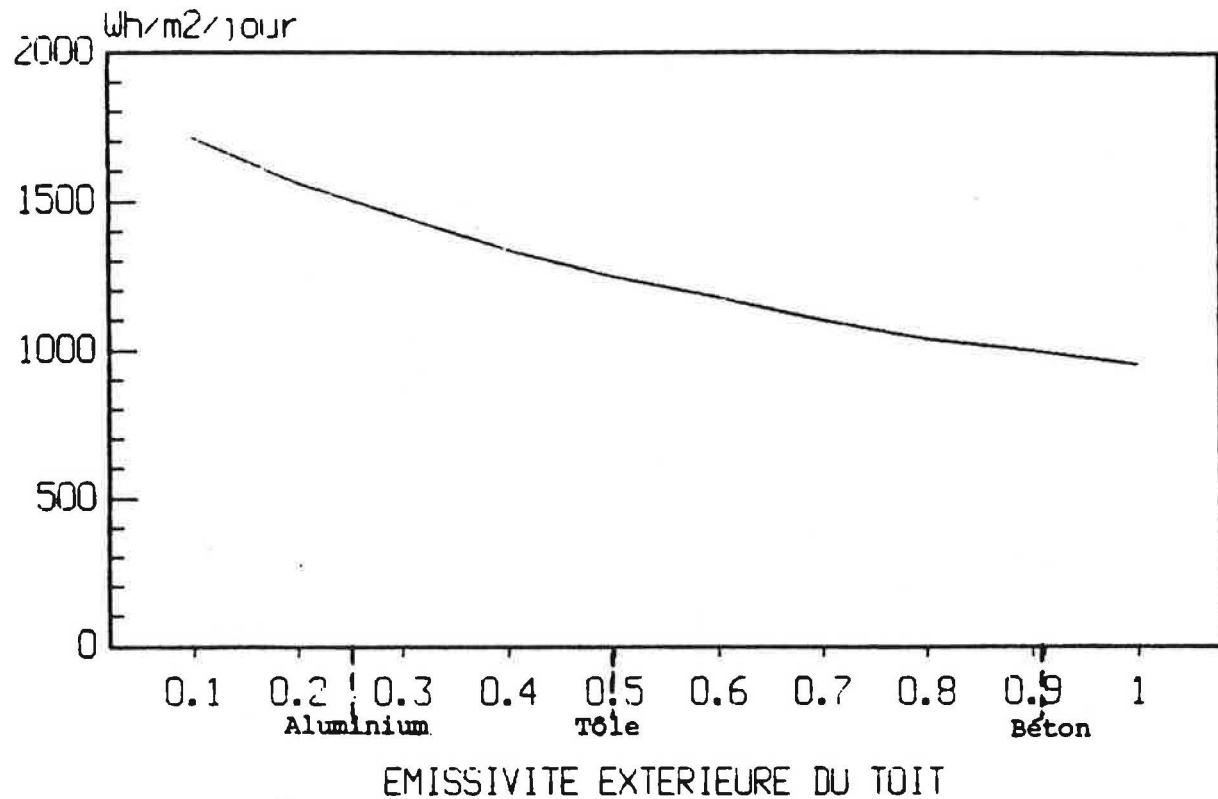
**FIG 21: INFLUENCE DE L'ISOLATION SUR LE FLUX THERMIQUE TRAVERSANT LA TOITURE
(TOITURE EN TOLE OU EN DALLE BÉTON)**



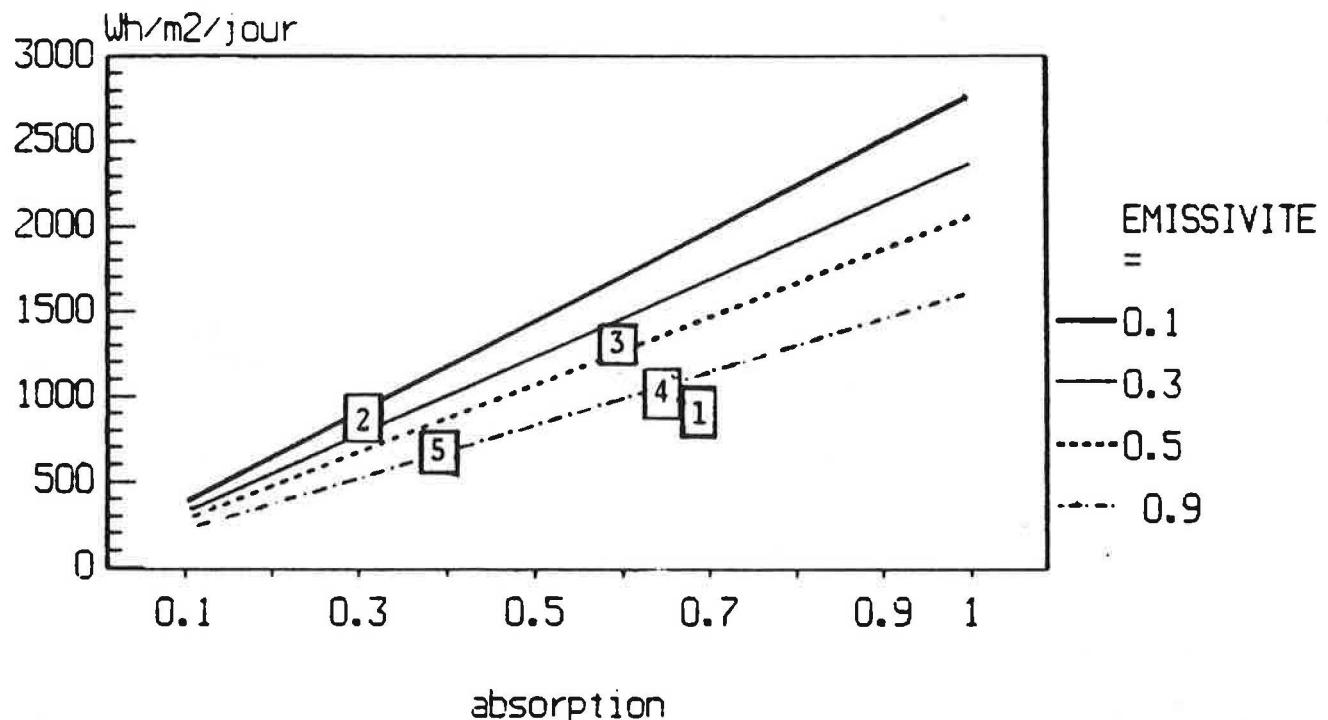
**FIG 22: INFLUENCE DE LA POSITION DE L'ISOLATION
(5 cm) POUR UNE TOITURE EN DALLE DE
BETON (10 cm) SUR LE FLUX THERMIQUE**



**FIG 23: INFLUENCE DE L'EMISSIVITE EXTERIEURE
DU TOIT SUR LE FLUX THERMIQUE**



**FIG 24: INFLUENCE DE EMISSIVITE ET DE LA COULEUR
EXTERIEURES DE LA TOITURE SUR LE FLUX
THERMIQUE**



2.5.3. Emissivité extérieure du toit

Les critères thermiques qui commandent le choix d'un type de couverture font intervenir non seulement la résistance thermique du matériau, mais aussi les facteurs de surface. On peut estimer la qualité d'un matériau à partir du rapport d'énergie solaire absorbée (liée à l'absorption du matériau) et l'énergie émise par le rayonnement grande longueur d'onde vers la voûte céleste (lié à l'Emissivité du matériau). Ce dernier paramètre, contrairement à l'effet couleur, n'agit pas de façon linéaire (Schéma 23).

Le schéma 24 compare les qualités intrinsèques de surface des différents matériaux :

COUVERTURE	ABSORPTION	EMISSIVITE
1 BETON BRUT	0,7	0,92
2 ALUMINIUM	0,3	0,26
3 TOLE GALVANISEE	0,6	0,5
4 FIBRO CIMENT 1 (Teinte rouge ou gris foncé)	0,65	0,9
5 FIBRO CIMENT 2 (Teinte gris-crème)	0,4	0,9

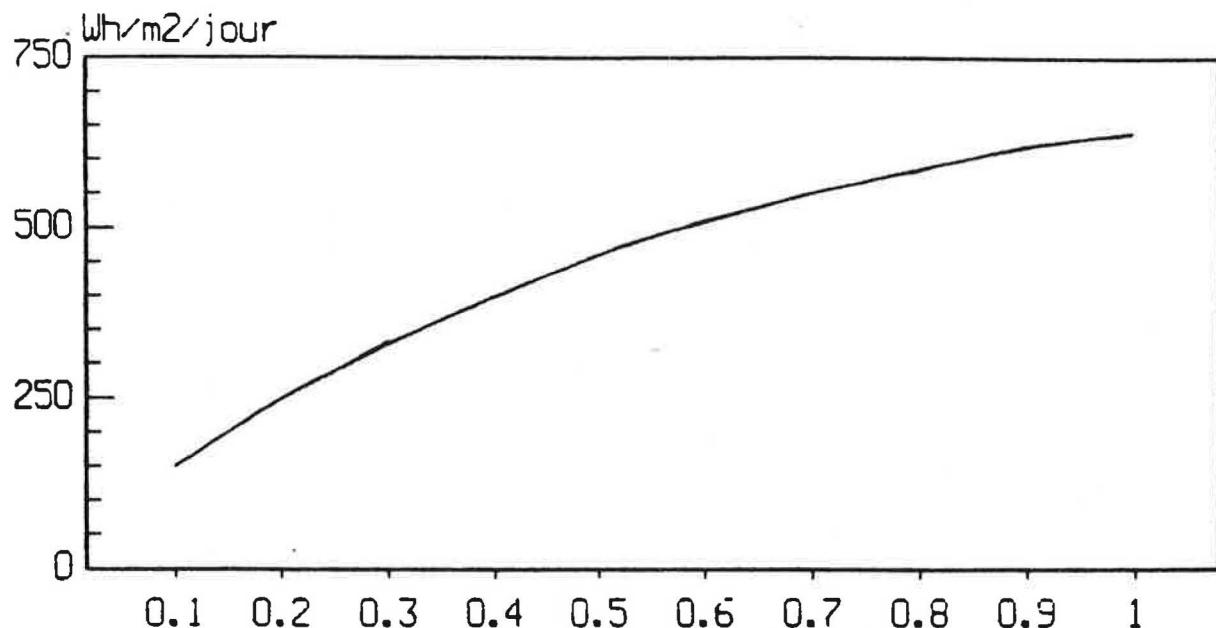
Le meilleur matériau est celui qui allie la plus faible absorption et la plus grande émission.

2.5.4. Aménager un comble

* Intérêt du faux-plafond et des écrans thermiques

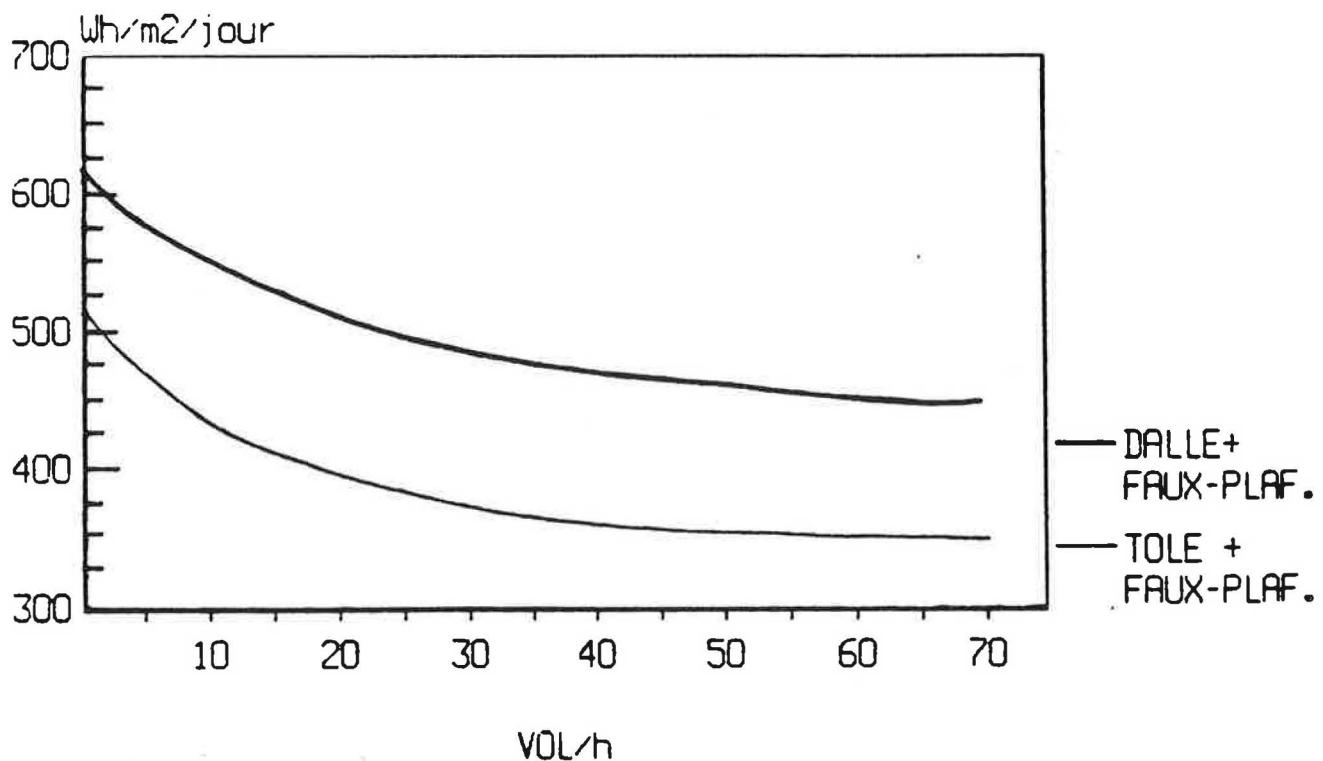
La présence d'un faux-plafond constitue un écran au rayonnement grande longueur d'onde (G.L.O) de la toiture sur-chauffée. Un faux-plafond en matériaux courants (bois, carton, contre-plaquée) divise par deux le flux thermique du fait même de sa présence. Les apports convectifs (drainés par l'air du comble) sont insignifiants car, l'essentiel du flux thermique transite par le rayonnement G.L.O. Il y a donc intérêt à multiplier les écrans thermiques (qui divisent en autant de fois le flux) ou à utiliser des matériaux peu émissifs entre le faux-plafond et le toit (schéma 25). Ainsi la pose d'une feuille d'aluminium, sur un faux-plafond, divise encore de moitié les apports toiture.

FIG 25: INFLUENCE DES EMISSIVITES TOIT/FLUX-
PLAFOND SUR LES ECHANGES THERMIQUES PAR
RAYONNEMENT GRANDE LONGUEUR D'ONDE



émissivité int. du toit
=émissivité ext. du faux-plafond

FIG 26: INFLUENCE DE LA VENTILATION DU COMBLE
SUR LE FLUX THERMIQUE TRAVERSANT UNE
TOITURE



* La ventilation du comble

La ventilation du comble est un moyen classique pour refroidir le toit sur-chauffé par le rayonnement solaire. Un comble bien ventilé (50 Vol/h) améliore de 30 % les performances de la toiture (Schéma 26).

L'intérêt de la ventilation du comble s'efface avec le taux de protection contre le rayonnement G.L.O de la toiture (Schéma 27).

Dès lors que l'on emploie des matériaux peu émissifs (émissivité <0,25 comme l'aluminium), la ventilation du comble n'a plus d'action thermique sensible (sur un plan purement théorique, la ventilation peut même avoir un effet négatif pour des émissivités très faibles, inférieures à 0.08. L'explication est simple : les apports par rayonnements G.L.O, sont pratiquement neutralisés et la température de surface du faux-plafond est alors inférieure à la température extérieure. La ventilation devient alors une source d'apport).

2.5.5. Position d'un isolant dans le comble

La position de l'isolant dans le comble a-t-elle une influence sur les performances thermiques de la toiture ? Pour répondre à cette question, nous avons testé l'effet de trois positions, en fonction de l'épaisseur d'isolant et de la ventilation :

- 1/ Isolant situé immédiatement sous le toit (en tôle)
- 2/ Isolant posé sur le faux-plafond
- 3/ Isolant réparti équitablement sous le toit et sur le faux-plafond

La ventilation du comble trouve son intérêt quelque soit l'épaisseur de l'isolant pour les configurations 2 et 3 (Schémas 29 et 30). A l'opposé, dans le cas 1, la ventilation du comble perd son intérêt pour des épaisseurs supérieures à 5 cm : l'isolant protège alors efficacement contre les apports par rayonnement G.L.O mais, n'a aucune action contre les apports convectifs de l'air du comble ventilé (schéma 28).

La comparaison des trois positions -pour un renouvellement d'air moyen de 20 vol/h (schéma 31)- établit le classement suivant :

FIG 27: INFLUENCE COMBINEE DES EMISSIVITES
TOIT/FAUX-PLAFOND ET DE LA VENTILATION
DU COMBLE SUR LE FLUX THERMIQUE
TRAVERSANT LA TOITURE

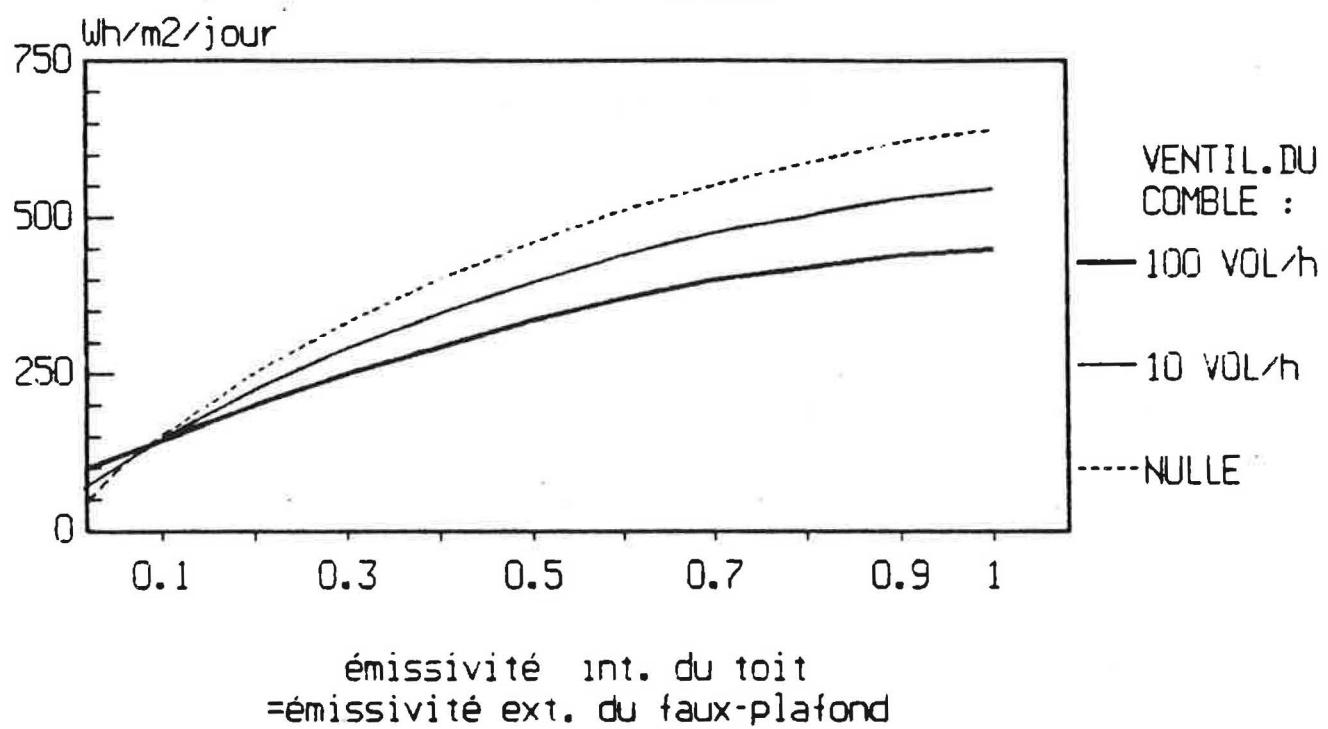


FIG 28: -ISOLANT PLACE SOUS LA TOITURE-
En fonction de l'épaisseur isolant et de
la ventilation du comble

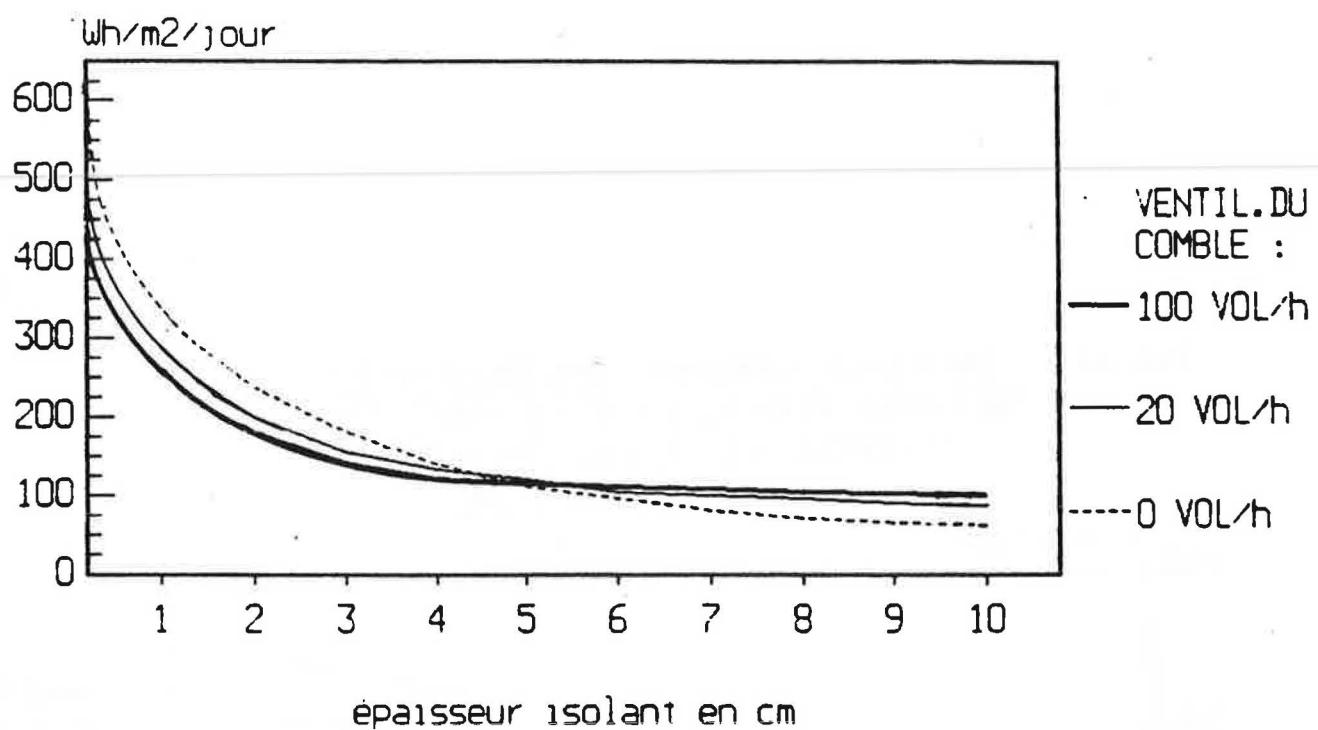
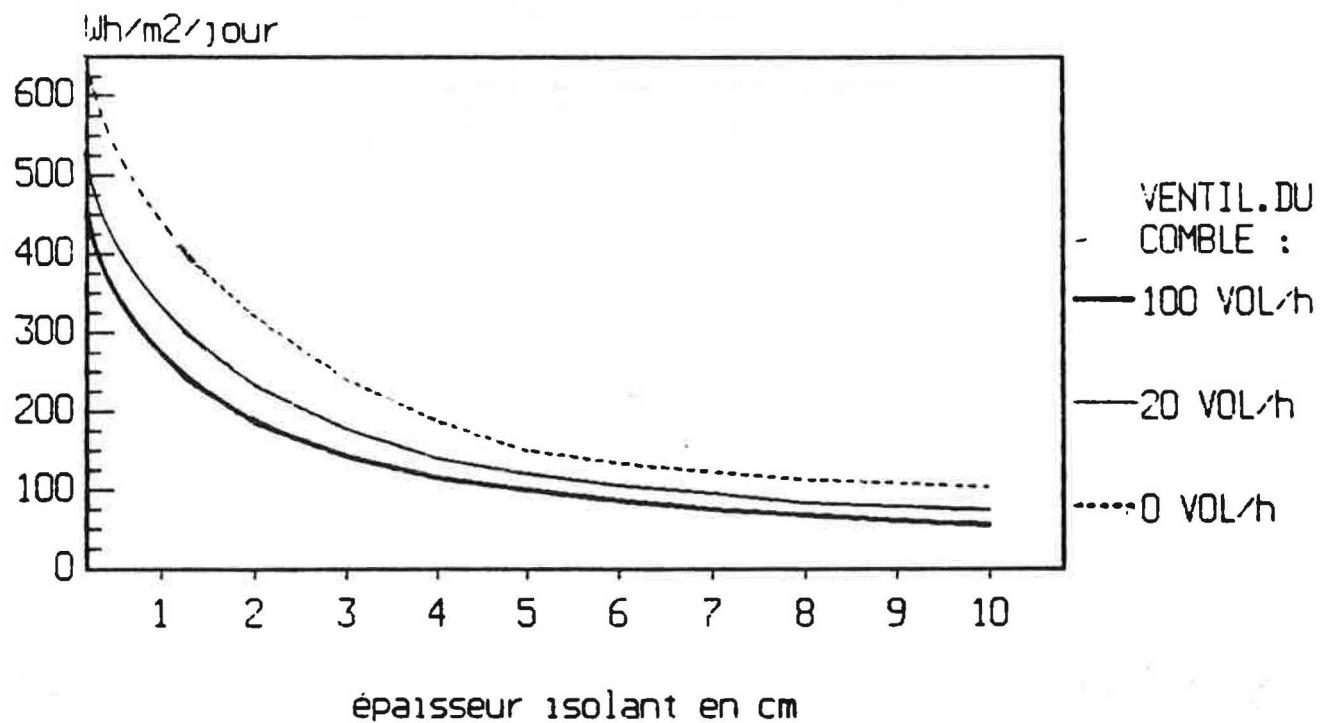


FIG 29: -ISOLANT PLACE SUR LE FAUX-PLAFOND-
Etude des paramètres ventilation et
épaisseur isolant



ET LA TOITURE-

En fonction des paramètres ventilation
du comble et épaisseur isolant

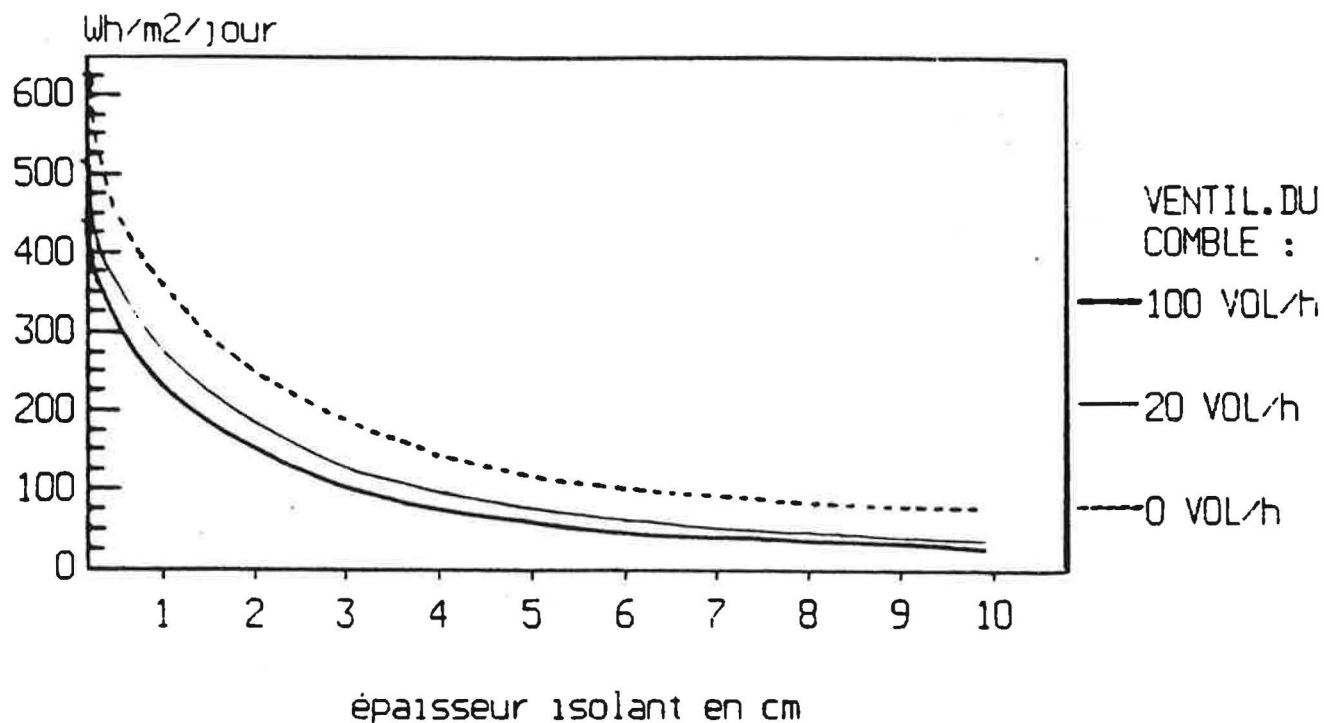
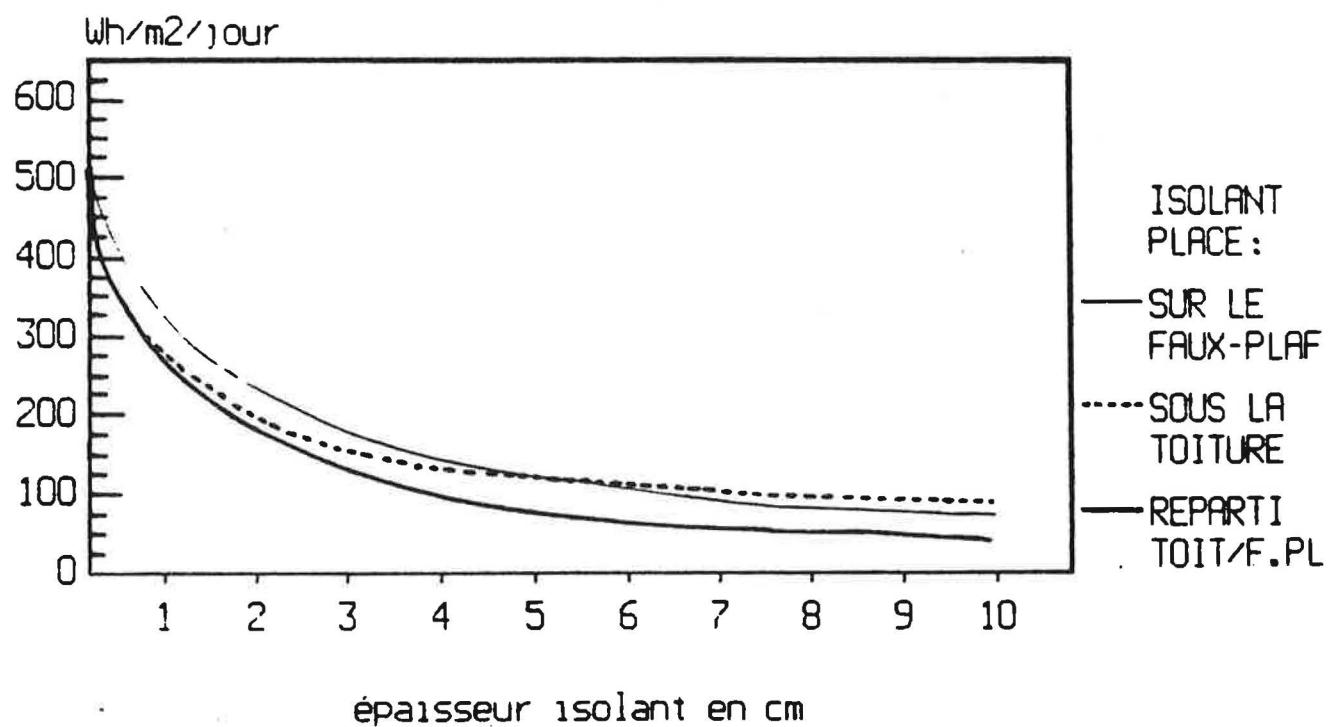


FIG 31: INFLUENCE DE LA POSITION DE L'ISOLANT
DANS LE COMBLE ET DE L'EPAISSEUR ISOLANT
(pour une ventilation moyenne du comble
de 20 vol/h)



- 3 est toujours meilleur ,quelque soit l'épaisseur d'isolant
- 1 semble meilleur que 2 pour des épaisseurs d'isolant inférieur à 5 cm

Pour résumer, nous retiendrons deux résultats :

- * l'action la plus efficace contre le rayonnement G.L.O est de placer l'isolant immédiatement sous la couverture.
- * pour des épaisseurs d'isolant $e > 2\text{cm}$: les apports convectifs par l'air du comble ventilé deviennent non négligeables : il faut en tenir compte.

La configuration 3 réunit ces deux conditions. Au-delà de l'intérêt théorique de cette étude, on peut dégager quelques résultats pratiques :

- s'il n'est pas possible de ventiler le comble, la configuration 1 est la meilleure .
- pour un comble ventilé, la configuration 3 est la plus efficace (pour $e = 5\text{ cm}$, pour obtenir le même résultat, avec la configuration 2, il faut 10 cm d'isolant !).

2.5.6. Comparaison de quelques variantes de toitures

Plusieurs variantes en toitures légères et lourdes sont testées :

- isolation simple
- aménagement d'un comble (ventilé, feuille d'aluminium, isolation)
- toiture blanche

Bien entendu, les meilleures solutions sont celles qui cumulent plusieurs effets. Mais on peut tirer de ces comparaisons quelques conclusions intéressantes (Schémas 32,33) :

- * lorsque la toiture est isolée, il est peu utile sur le plan thermique de créer un comble.
- * un comble ventilé et protégé contre le rayonnement GLO (feuille aluminium, écrans thermiques) donne des résultats équivalent à une isolation simple (5 cm).

FIG 32: COMPARAISON DES PERFORMANCES ENERGETIQUES DE VARIANTES TOITURES A STRUCTURES LEGERES

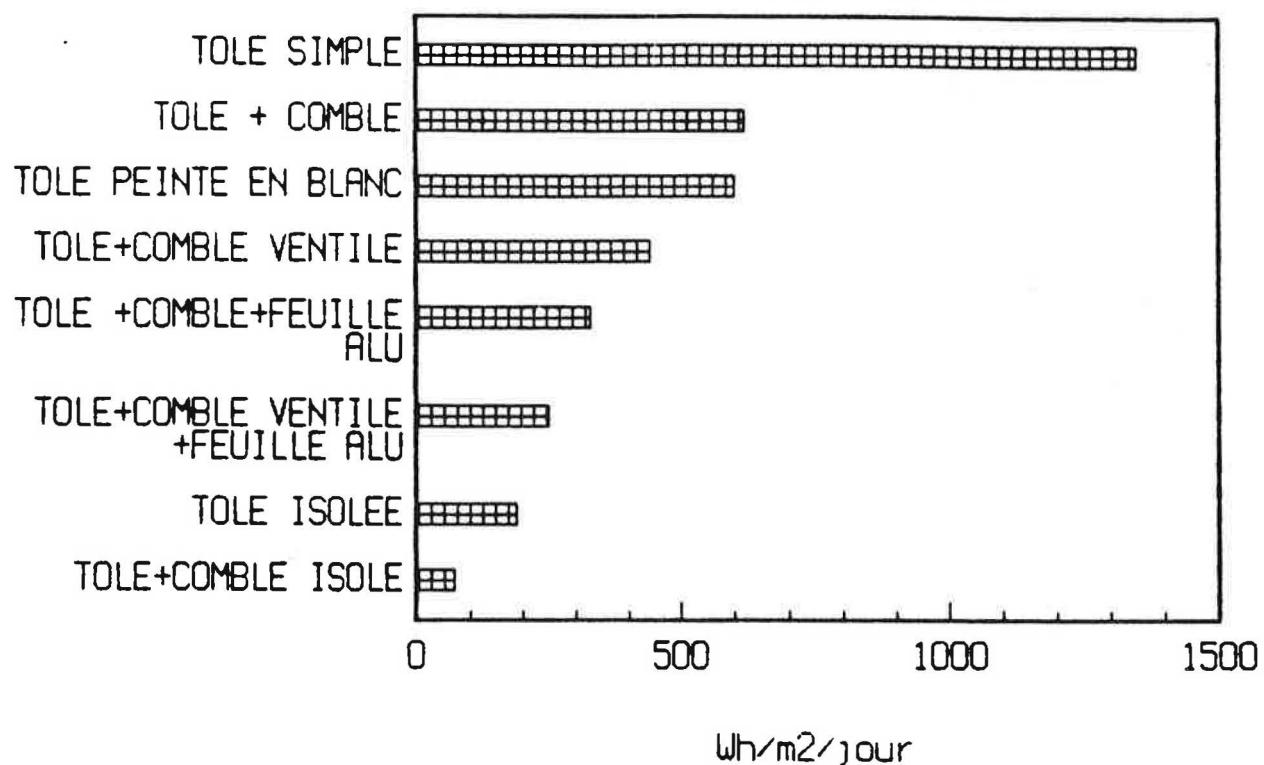
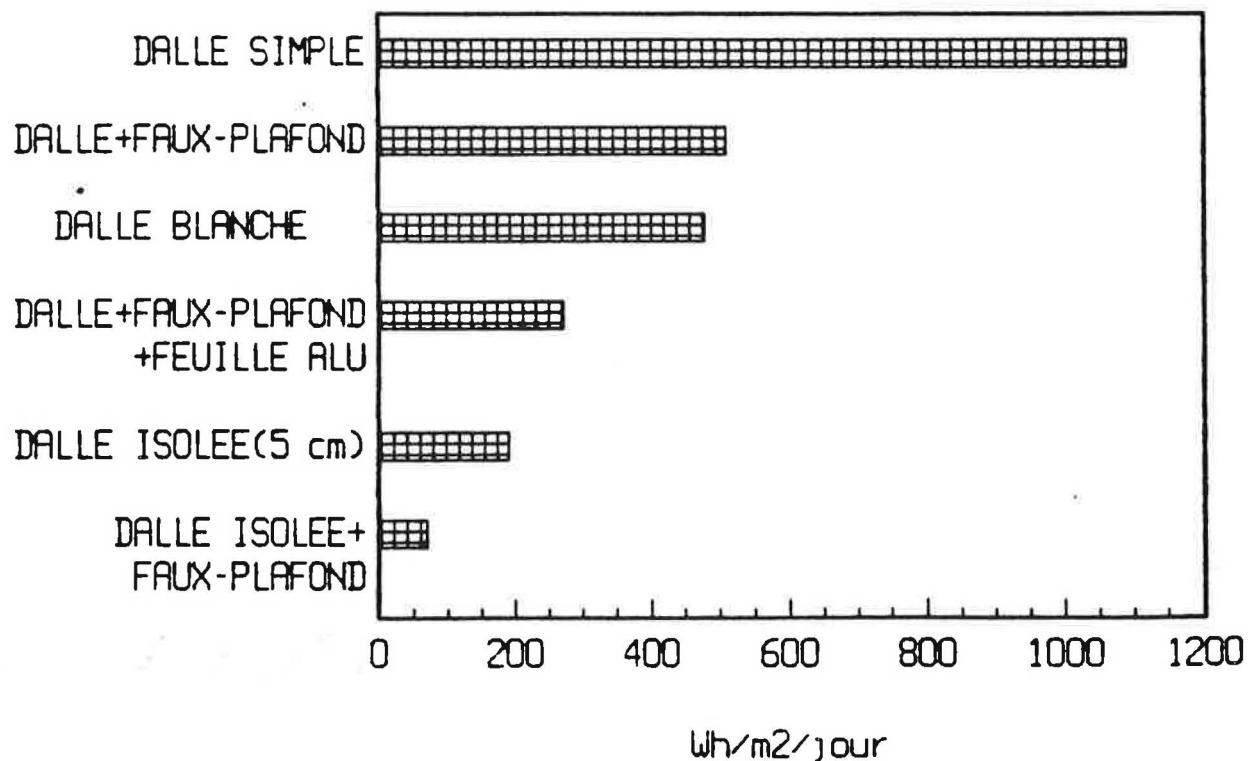


FIG 33: COMPARAISON DES PERFORMANCES ENERGETIQUES DE VARIANTES TOITURES A STRUCTURES LOURDES



3. APPROCHE CLIMATIQUE DE L'HABITAT

3.1. La démarche climatique

3.1.1. Des objectifs réalistes

Sur les trois principales variables de confort, pression hygrométrique, vitesse d'air, température, on ne peut agir en climatisation naturelle que sur les deux dernières (l'humidité relative varie en sens inverse de la température d'air si l'on suppose que l'humidité absolue est à peu près constante au cours d'une journée).

Ces deux degrés de liberté suffisent largement à instaurer des conditions de confort agréables (§ 1.3.3). La variable vitesse d'air ne contribue d'ailleurs au confort thermique qu'à partir de 28-29° C (températures à partir de laquelle l'organisme fait appel à la sudation).

La variable température dépend de l'équilibre thermique du bâtiment. Notre objectif premier est de chercher des recommandations sur les paramètres constructifs de l'enveloppe de façon à rapprocher les conditions intérieures des conditions extérieures. C'est-à-dire pour les Antilles une température moyenne le jour de 28-30° C, la nuit de 25° C.

La vitesse d'air est liée aux performances aérauliques du bâtiment. Des études ont montré que si la température d'ambiance dépasse 32° C, des vitesses d'air avoisinant 1 m/s (*). Une vitesse plus élevée est inutile et même source d'inconfort.

Compte tenu de nos objectifs en température, ne pas dépasser 30-32° C à l'intérieur des locaux, la recherche de vitesses élevées (de l'ordre de 1 m/s), par de forts débits de renouvellement d'air par exemple, ne sera pas toujours nécessaire en des heures de pointes durant la journée .

La bonne conception thermique de l'enveloppe réduit de fait l'importance de la conception aéraulique du local (répartition et valeurs moyennes des vitesses d'air).

3.1.2. Concevoir avec le climat

Dans l'habitat, les sources d'inconfort sont les surchauffes, dues à l'insolation et une humidité assez élevée en permanence. Mais le climat ne manque pas d'atouts :

- des températures plutôt modérées (mini 24-25° C, maxi 30-31° C),

- un potentiel de ventilation (les alizés, le vent solaire de la mer, le vent de la terre),
- une différence de température ciel - atmosphère de 5 à 10° C.

L'écart journalier (6° C) est faible : il est donc difficile de compter sur les différences jour/nuit (par exemple sur la ventilation nocturne). Dans le cas des Antilles, la climatisation naturelle de l'habitat consiste à éliminer ou réduire les aspects indésirables du climat (les effets de l'insolation) et à favoriser les sources potentielles de fraîcheur (la ventilation).

Il existe différentes analyses du climat tropical humide. D'après le diagramme bioclimatique mis au point par GIVONI et MILNE (5), le principal moyen d'action à mettre en oeuvre est la ventilation, complétée d'une protection solaire. Les conditions de confort pour la saison la plus chaude se situent dans la zone d'influence de la ventilation (elles sont légèrement au dessus du polygone de confort, voir schéma 3).

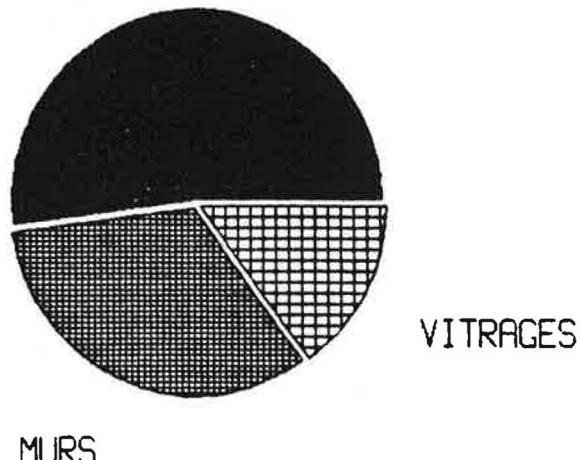
Une autre méthode mise au point par Carl Mahoney (6) souligne l'importance de la protection solaire de la structure, des ouvertures (en particulier contre l'ensoleillement direct) et la circulation permanente de l'air. Elle préconise aussi des constructions légères, une toiture bien isolée, des ouvertures en façade Nord et Sud assez grandes.

Voilà donc défini le cadre général des actions à mener, notre originalité étant d'une part, d'apporter une argumentation chiffrée de toutes ces recommandations et d'autre part élargir l'éventail des solutions constructives (le grand nombre de paramètres permet de compenser par la mise œuvre en des uns, l'impossibilité d'agir sur d'autres (à cause des contraintes de l'environnement, du site, de la pollution etc...). Par ailleurs, les moyens d'actions préconisés ne relèvent pas tous de la même importance. Aussi est-il important d'en établir une classification.

Par exemple, les éléments d'enveloppes sont soumis inégalement au flux solaire. La répartition des apports solaires - qui dépend notamment de l'orientation des vitrages - s'établit pour un bâtiment d'habitation courant, approximativement comme suit- (schéma 34) :

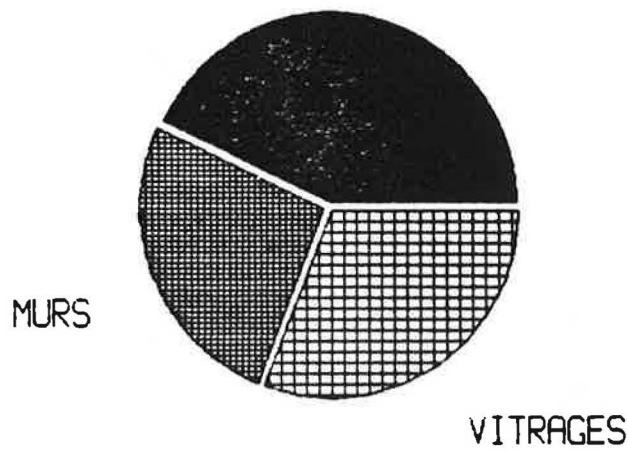
DANS L'HABITAT
(1 seul niveau, couverture en dalle béton
murs en parpaings, vitrages 40% façades)

TOIT



ORIENTATION NORD/SUD DES VITRAGES

TOIT



ORIENTATION EST/OUEST DES VITRAGES

REPARTITION DES APPORTS EN %

	vitrages N/S	vitrages E/O
1 Toit	52 %	45%
2 Murs verticaux	33 %	25%
3 Ouvertures (40 %)	15 %	30%
	100 %	100%

Ce diagnostic thermique rapide indique clairement les points d'interventions prioritaires à traiter, pour améliorer la thermique de ce type d'habitat .Agir sans discernement, expose à deux écueils :

- l'essentiel risque de ne pas être traité,
- moindre rentabilité des moyens d'action envisagés.

3.2. PROTECTION SOLAIRE DE L'ENVELOPPE

3.2.1 La composition des murs

Sur la base du local 1, la toiture étant isolée (tôle + 5 cm d'isolant), divers matériaux et plusieurs épaisseurs ont été examinées (des parois les plus légères aux plus lourdes) :

- 1) bois 0,025 m,
- 2) bois 0,16 + lame d'air 0,05 + bois 0,16
- 3) bois 0,16 + lame d'air 0,05 + bois 0,25
- 4) parpaing 0,10 m
- 5) parpaing 0,20 m
- 6) terre 0,35 m.

Le facteur dominant qui permet de classer ces parois, n'est pas leur résistance thermique respective, mais leur inertie (schéma 35) .Les parois lourdes tendent à égaliser la température résultante jour et la température résultante nuit (valeur limite : 29° C) : le jour est plus frais, la nuit est plus chaude. Par l'effet d'inertie, les degrés gagnés le jour sont perdus la nuit.

A l'inverse, avec les matériaux légers, la charge journalière est subie, sans atténuation : la TRJ (Température résultante moyenne jour) est plus élevée d'environ 2° C (comparaison paroi 1 et 5). En compensation, les nuits sont nettement plus fraîches que dans le cas de parois lourdes ; la TRN (température moyenne résultante nuit) varient dans la fourchette 26,5° C à 27° C.

La sensibilité des températures, aux différences de résistances thermiques des parois courantes est relativement faible : pour un rapport de résistance de l'ordre 2 entre les parois 1 et 3, on enregistre + 0,4 °C d'écart sur TRJ et 0,5 °C sur TRN. Pour obtenir un effet plus substantiel de la résistance thermique, il faut procéder à l'isolation des murs.

Nous retiendrons de cette première analyse deux classes de locaux, au comportement thermique bien distinct (schéma 36) :

- les locaux à parois lourdes (forte inertie),
- les locaux à parois légères (faible inertie).

Ces deux types de locaux seront donc systématiquement étudiés, les locaux légers sur la base du local 1 (toiture tôle, murs en bois : cf. annexe 1), les locaux lourds sur la base du local 2 (toit dalle béton, murs en parpaings : cf. annexe 2).

3.2.1. L'orientation du bâtiment

A partir du cas léger (toiture isolée), nous avons comparé une même pièce doublement exposée :

- 1 à l'Est et à l'Ouest
- 2 au Nord et Sud

Cas	1	2
TRJ en °C	34	31,5
TRN en °C	28	27,2

A surfaces égales d'exposition (murs, ouvertures), les plans E/O produisent des surchauffes pouvant aller jusqu'à 2,5° C (par TRJ) par rapport aux plans N/S. Il est donc important de minimiser les surfaces d'expositions à l'Est et à l'Ouest.

Dans la mesure où il n'obéit pas une bonne ventilation des locaux, le plan de masse du bâtiment doit être orienté de préférence suivant l'axe E/O afin de diminuer l'exposition au soleil.

Quelque soit l'orientation du plan de masse, les pièces d'une maison présentent-elles des différences sur le plan thermique ? Pour répondre à cette question, nous avons simulé les pièces d'une maison ayant la configuration simplifiée suivante :

SUR LE CONFORT THERMIQUE
(toiture tole isolée)

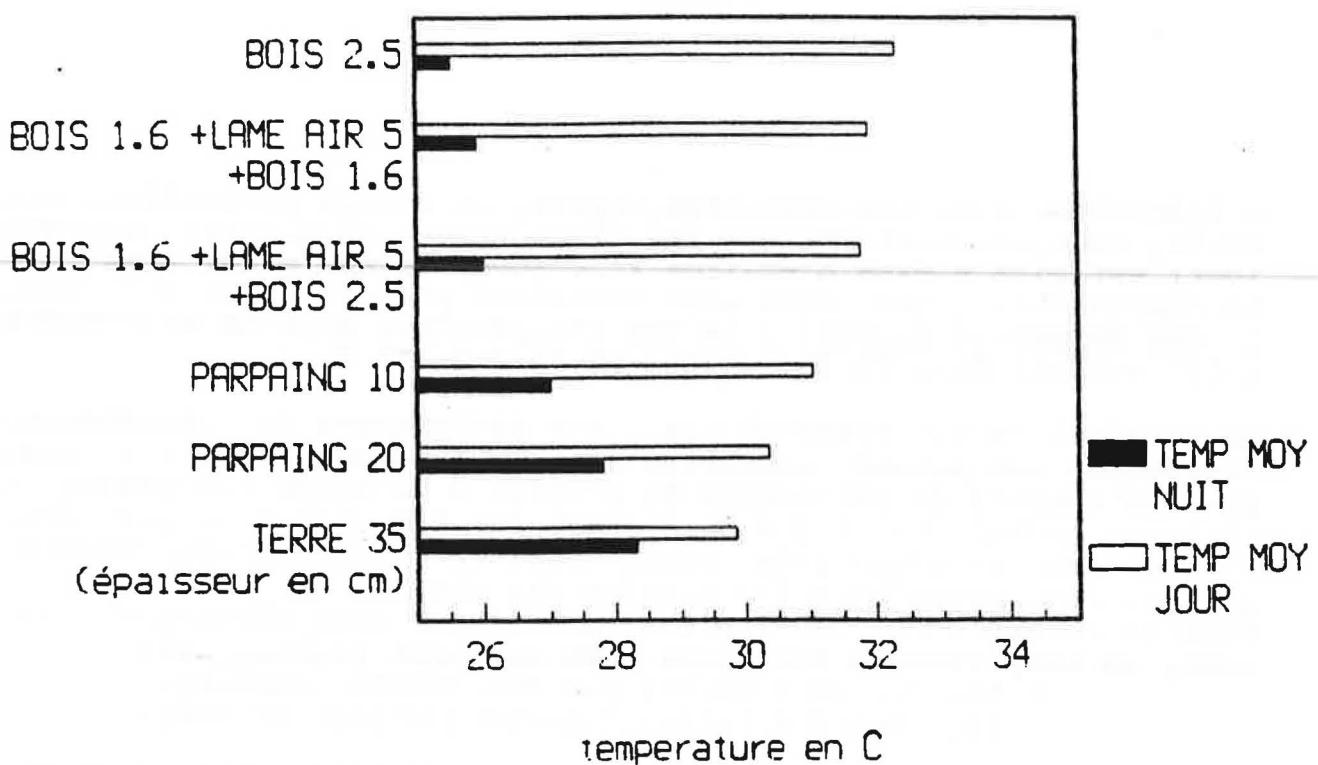


FIG 36: EVOLUTION COMPARATIVE DES TEMPERATURES DANS UNE STRUCTURE LEGERE (toit tole, murs bois) ET DANS UNE STRUCTURE LOURDE (toit béton, murs parpaings)

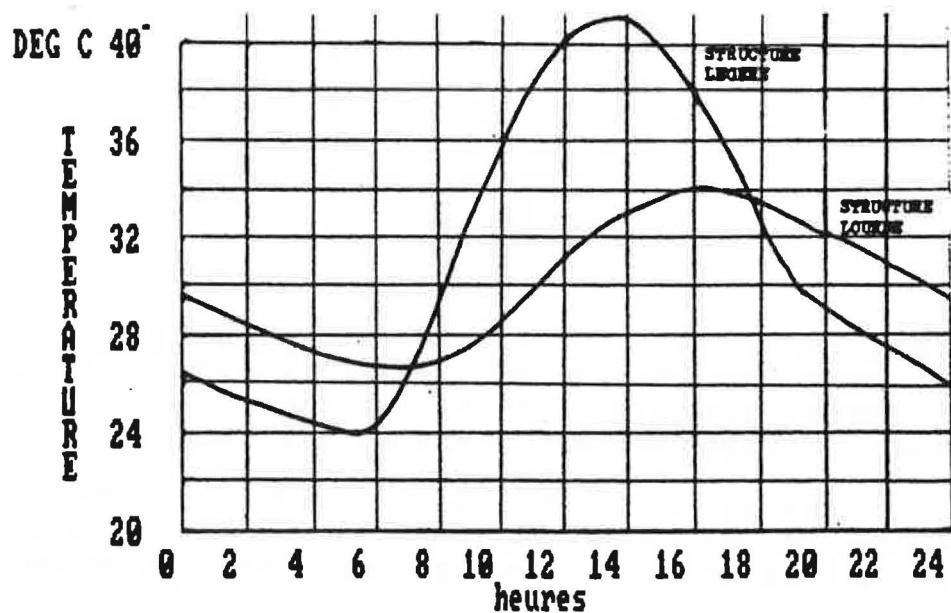


FIG 37:

AUX APPORTS TOTAUX
RECUS DANS UN LOCAL
en fonction du % vitrage

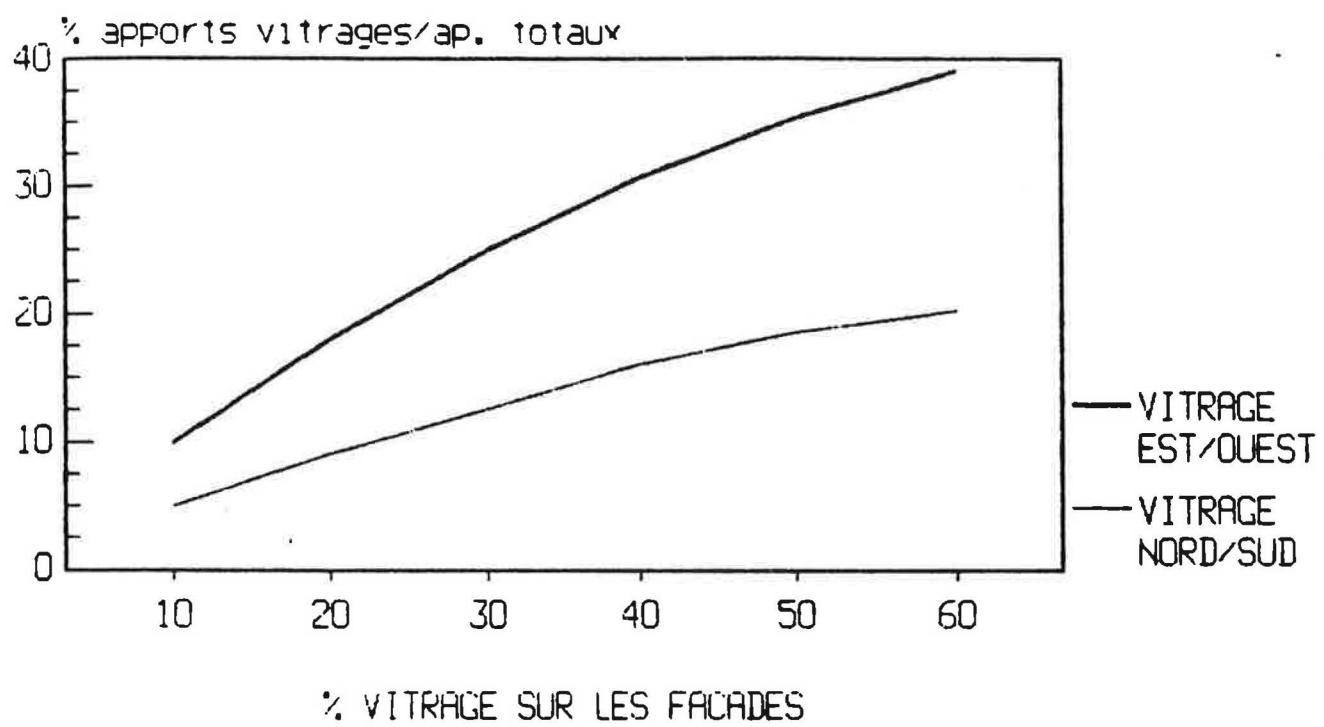
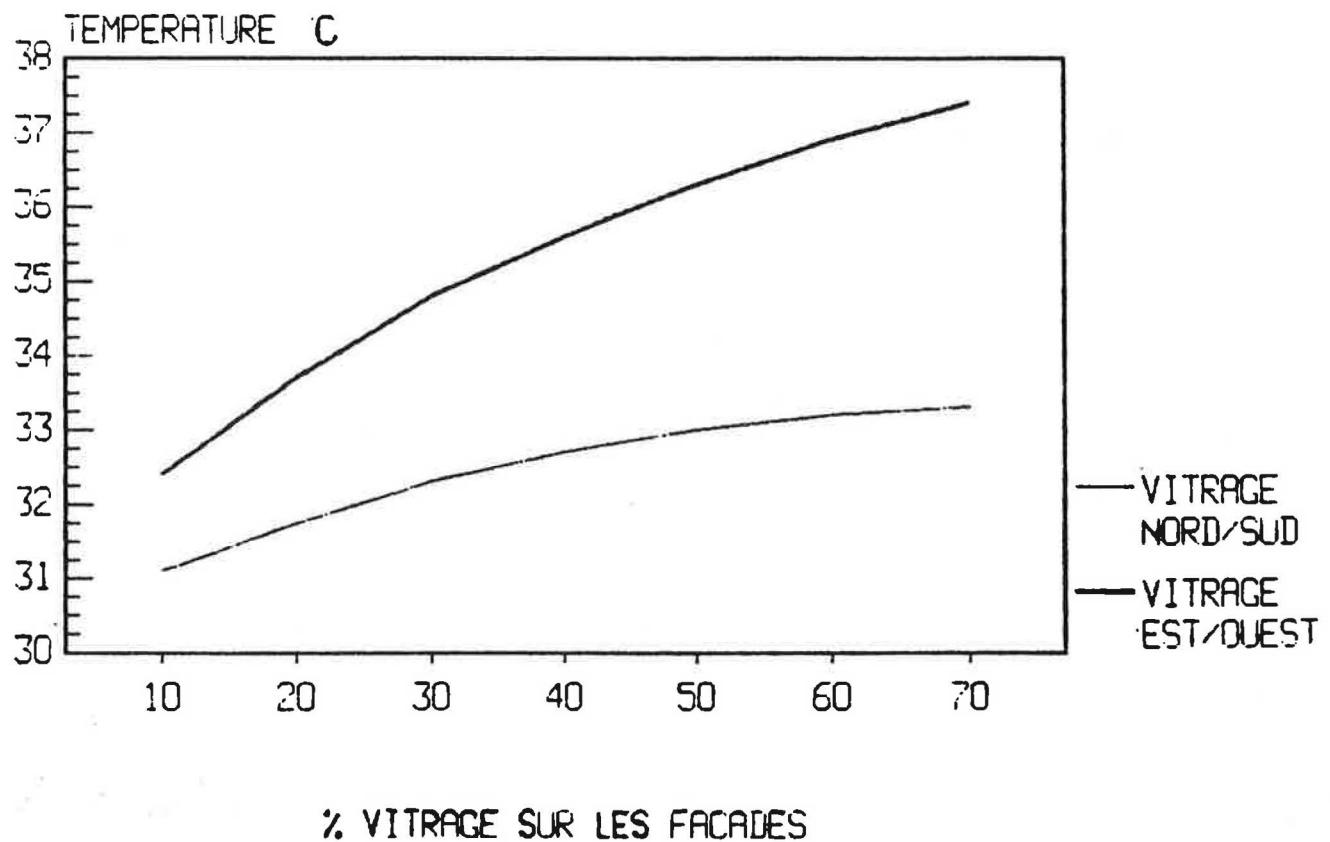
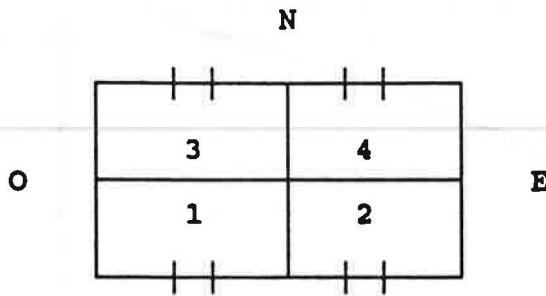


FIG 38: SURCHAUFFES DUES A L'ENSOLEILLEMENT
DES VITRAGES





S
 Les pièces 1, 2, 3, 4 sont identiques, de même structure que le local 1. Nous avons obtenu les résultats suivants :

Pièces	1	2	3	4
TRJ en °C	32,0	32,0	32,0	31,9
TRN en °C	27,6	27,5	27,3	27,2

Pendant la journée, les différentes pièces présentent les mêmes conditions thermiques. En ce qui concerne les conditions nocturnes, les pièces 3 et 4 sont de par leur plan d'exposition (S.E et S.O) légèrement plus privilégiées que les 2 autres. Il est donc plus avantageux d'orienter les chambres à couver au Sud.

3.2.2. Importance de l'orientation du vitrage

Le vitrage peut être une source importante d'apports par ensoleillement qui se traduisent en climatisation naturelle, par des surchauffes à l'intérieur des locaux. L'orientation des vitrages est un facteur déterminant dans la conception de l'habitat :

- * à surface égale, un vitrage E/O transmet 3 fois plus d'énergie solaire qu'un vitrage N/S (schéma 37).
- * la surchauffe engendrée par les ouvertures est 2 fois plus importante en orientation O/E qu'en orientation N/S (schéma 38).
- * en orientation O/E, un très fort vitrage des façades (plus de 40 %), représente la source la plus importante d'apports lorsque aucune précaution est prévue (schéma 37).

Cependant, certains concepteurs privilégiennent l'orientation E/O des baies pour optimiser la ventilation de l'habitat sous

l'effet du vent (rappelons que les Alizés sont des vents de secteurs EST à + ou - 30°). Cette façon de procéder ne doit pas être considéré comme la panacée au problème du confort en climat tropical humide. Elle doit être appliquée uniquement dans les sites venteux sans que la protection solaire des baies ne soit négligée. En effet miser entièrement sur la ventilation et des vitesses d'air importantes (1 m/s) pour établir le confort thermique peut mener à une impasse.

Pour illustrer cela ,la simulation du local (1) avec 60 % d'ouvertures en façades E/O (toit isolé), donc fortement ventilé (250 Vol/h) est un exemple édifiant. En effet la température résultante moyenne s'établit à 33 °C avec une pointe à 36 °C. Le refroidissement du local par ventilation n'est donc que partiel quelle qu'en soit son intensité. L'irradiation du plancher et des murs qui accumulent l'énergie solaire transmise par les ouvertures constitue une source de surchauffe irréductible par ventilation. Pour éviter que les avantages attendus d'une bonne ventilation ne soit ruinés par une surchauffe du local, il faut:

- dimensionner au plus juste les baies (60 % d'ouvertures en façades E/O est excessif ;voir § 3.3.5)
- protéger nécessairement les baies contre le soleil

3.2.4 Protection des ouvertures - masques intégrés et ombrage

La protection des ouvertures N/S est aisée car la course du soleil est haute . Les masque horizontaux sont particulièrement efficaces : - 1 m de débord toiture (pour une hauteur de mur de 3m) par exemple, suffit à protéger la face Nord qui est faiblement exposée

- en façade Sud 1.5 m (pour un mur de 3 m) sont nécessaire (cf schéma n=18).

De plus, Ils gênent peu l'éclairement de la pièce.
La protection des ouvertures E/O est plus difficile car le soleil a une course plus basse (hauteur 35-40 °).Des masques horizontaux comme de simples débords de toitures ne suffisent pas. Même des vérandas de 3 - 4 m qui pourtant diminue les apports solaires par les ouvertures de 50 % sont insuffisantes.

Les masques verticaux comme des barrières végétales sont plus efficaces mais ils ont l'inconvénient d'entraver la ventilation du local. Ce sont les lames opaques orientables réfléchissantes et placées à l'extérieures (à cause de l'effet de serre) qui arrêtent le mieux les rayons du soleil. On peut aussi utiliser des dispositifs à peu près similaires comme les persiennes, les martiniquaises, les stores extérieures , les jalousies ...

Effet global du débord de toiture (SCHEMA 39)

Quelle est en terme d'efficacité l'effet global (murs et ouvertures) d'un débord de toiture?

Pour donner un ordre d'idée, nous avons testé l'effet cumulatif d'un débord de toiture de 1 m sur les plans EST, OUEST et NORD, et 1.5 m pour le plan Sud. Le local de base choisi est de faible inertie (local 1, annexe 1), vitré sur les façade N/S, la toiture étant isolé.

L'effet cumulé de ces simples ombrages provoque pour ce local (vitré à 20% en Façades N/S) une baisse de température résultante moyenne de 1,5°C, le jour. Ils n'influent pas sur le confort de nuit.

L'abaissement de température est plus important pour ce même local vitré à 60% en façade N/S, - 2.5°C - grâce à l'ombrage porté sur les baies.

3.3. Conception de la toiture

Les différentes configurations de toiture ont été analysées en terme de flux thermique au chapitre 2. Mais quelles sont en terme de température résultante - notre critère de confort - les améliorations possibles à apporter par la protection de la toiture ?

Constructions légères

- * La configuration de la toiture influe peu sur les conditions de confort nocturne (schéma 40).
- * la journée, en partant d'une configuration toiture très défavorable (toiture en tôle), il est possible de diminuer jusqu'à 4,5°C la température résultante jour. La toiture en tôle, employée sans protection solaire est à éviter impérativement. C'est pourtant le type de couverture le plus fréquemment installée aux Antilles (rappelons que 50 % des apports dans l'habitat proviennent de la couverture).

Plusieurs solutions satisfaisantes existent pour améliorer ce type de couverture :

- installation d'un faux-plafond avec comble ventilé,
- protection contre le rayonnement G.L.O. : feuille d'aluminium ou multiplication des écrans thermiques,
- isolation (5 cm).

Les couvertures végétales en fortes épaisseurs (15 cm) sont également très efficaces.

**FIG 39: EFFET DE MASQUES INTEGRES HORIZONTAUX
(AVANCEE 1 m) SUR UN LOCAL
(structure légère toit isolé)**

Effets cumulés des masques

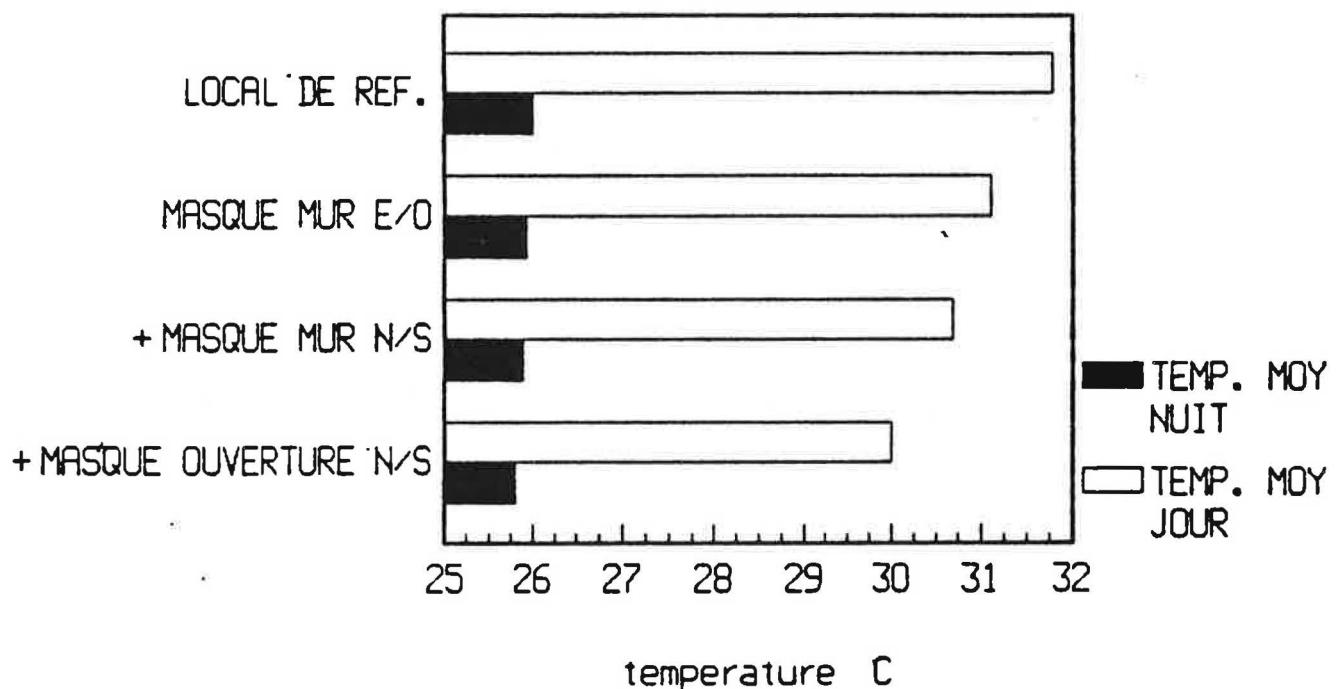


FIG 40: VARIANTES TOITURES POUR UN LOCAL A STRUCTURE LEGERE

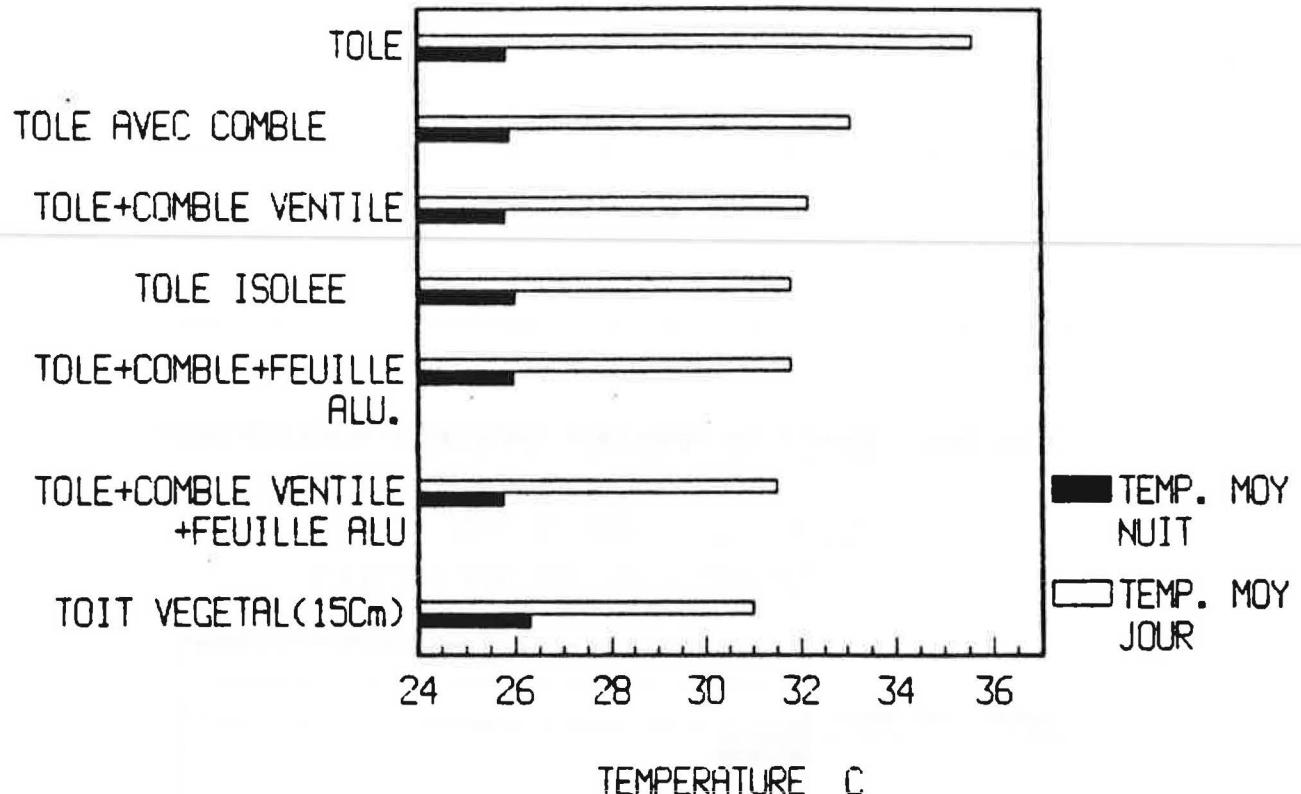
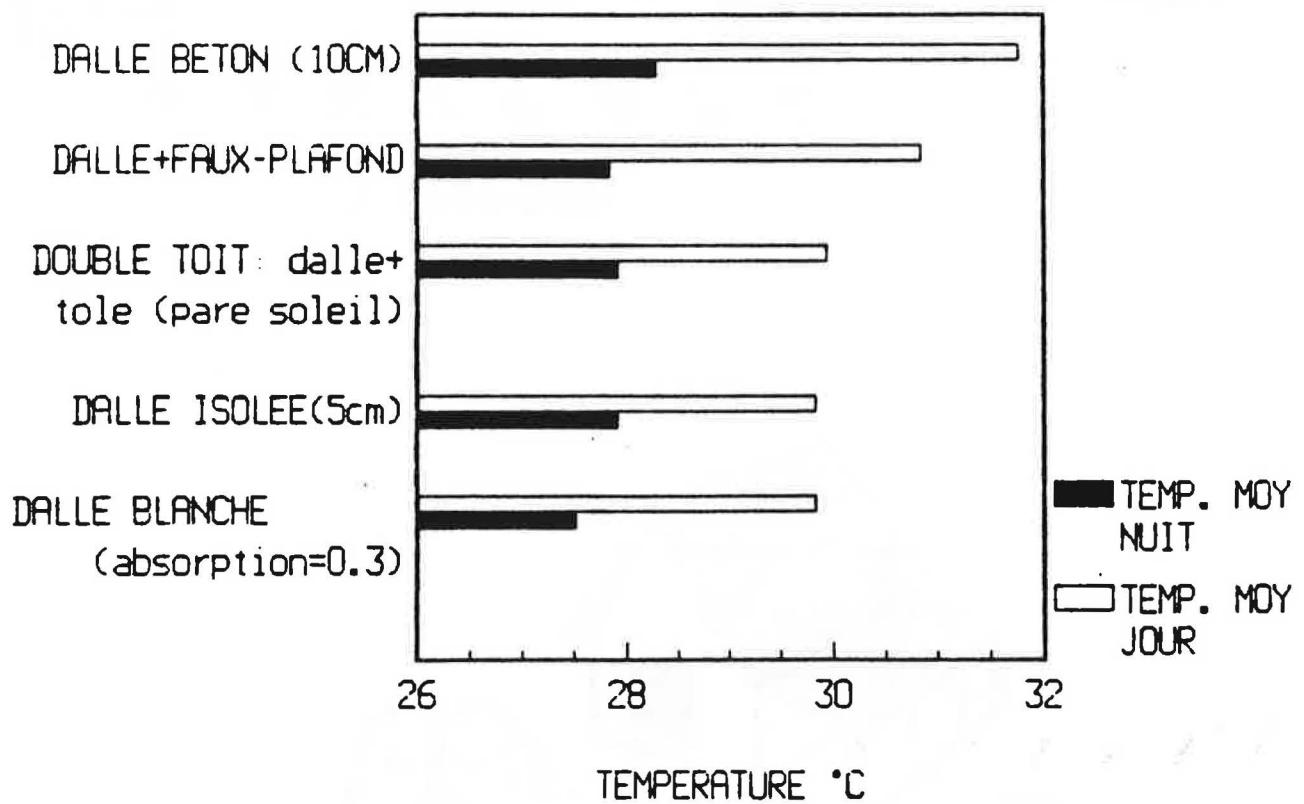


FIG 41: VARIANTES TOITURES POUR UN LOCAL A STRUCTURE LOURDE



Constructions lourdes (dalle béton 10 cm, murs parpaings 20).

La diminution diurne de température résultante, que l'on est en droit d'attendre d'une bonne protection de la toiture, est ici de l'ordre de 2° C (car le cas de base ici, couverture en dalle de béton 10 cm est nettement meilleur au sens thermique que la tôle : résistance th. tôle ≈ 0 - résistance th. dalle $\approx 0,6^{\circ}\text{C.m}^2/\text{W}$).

Un revêtement blanc est une bonne solution mais difficilement applicable compte tenu des précipitations. L'isolation, ou l'installation d'écran thermique (double toit) sont des solutions équivalentes (schéma 41).

La nuit, les effets d'une protection solaire sont peu sensibles (0,3 à 0,4° C sur TRN).

3.4. Couleurs et isolation de l'enveloppe

Des actions différentes

Pour mieux analyser les différences entre les paramètres couleurs et isolation, nous avons comparé dans le tableau ci-dessous, sur un plan purement théorique, les effets de l'isolation parfaite (épaisseur de l'ordre du mètre et du revêtement parfaitement blanc (absorption ext. presque nulle abs.= 0,01) de l'enveloppe du local 1 (schéma 42).

Variantes	TRJ	TRN
Isolation ext. parfaite	30.4	28.3
Revêtement blanc parfait	27.9	25.9

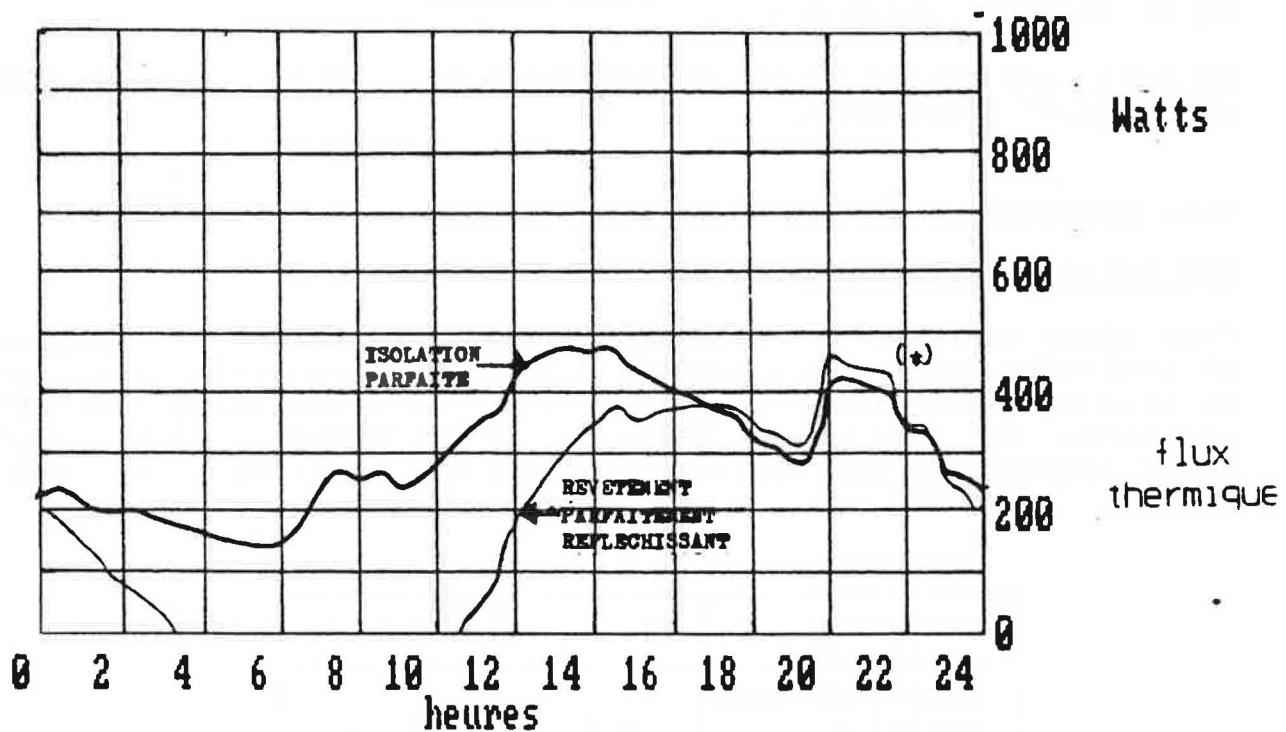
L'action d'un revêtement réfléchissant n'a pas les inconvénients de l'isolation :

- l'isolation empêche l'évacuation des apports internes et apports solaires provenant des ouvertures ,
- l'isolation inhibe l'effet de refroidissement par rayonnement GLO vers la voûte céleste .

L'isolation trouve sa pleine efficacité lorsque les apports solaires sont importants et que la température extérieure est très élevée (ce n'est vraiment pas le cas pour les Antilles).

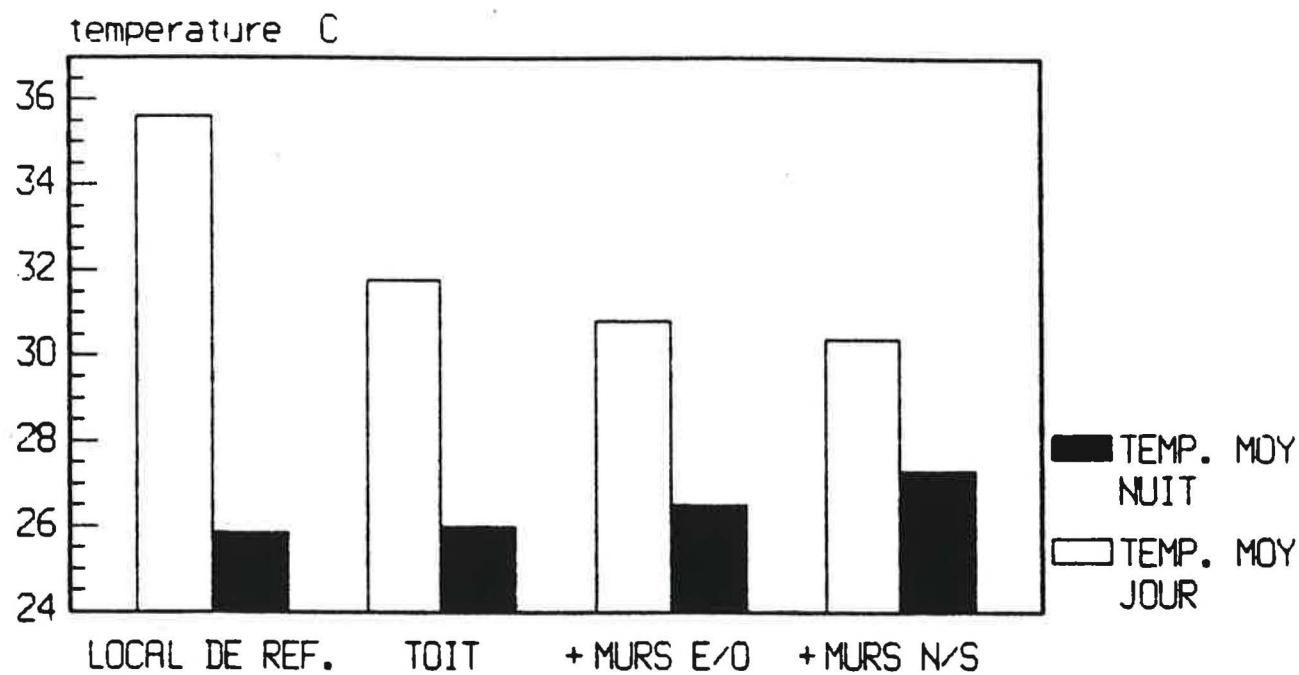
Aux Antilles, un revêtement d'une absorption de 0.25 à 0.3 a une action à peu près équivalente ou supérieure à une isolation de 5 cm.

FIG 42: ISOLATION ET REVETEMENT CLAIR DEUX ACTIONS THERMIQUES DIFFERENTES
-comparaison d'un local parfaitement isolé(1 m) et d'un revêtement parfaitement réflectissant-



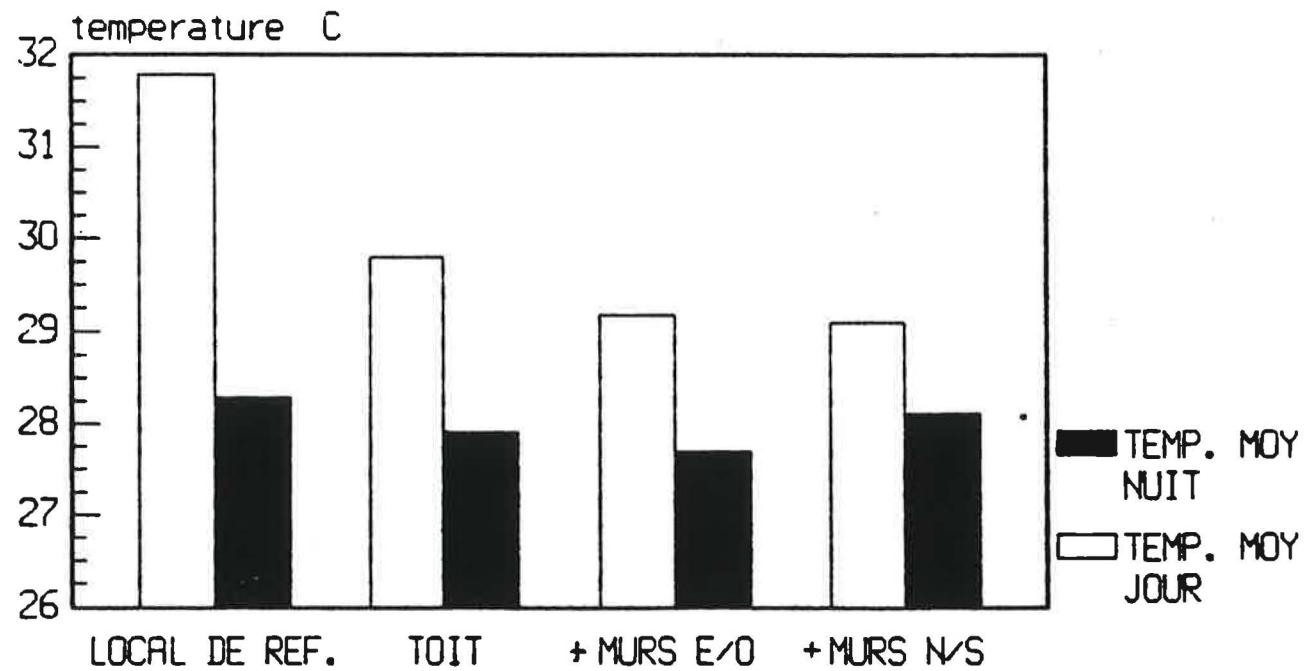
(*) pointe due aux apports internes

FIG 43: EFFET DE L'ISOLATION SUR UN LOCAL
A STRUCTURE LEGERE



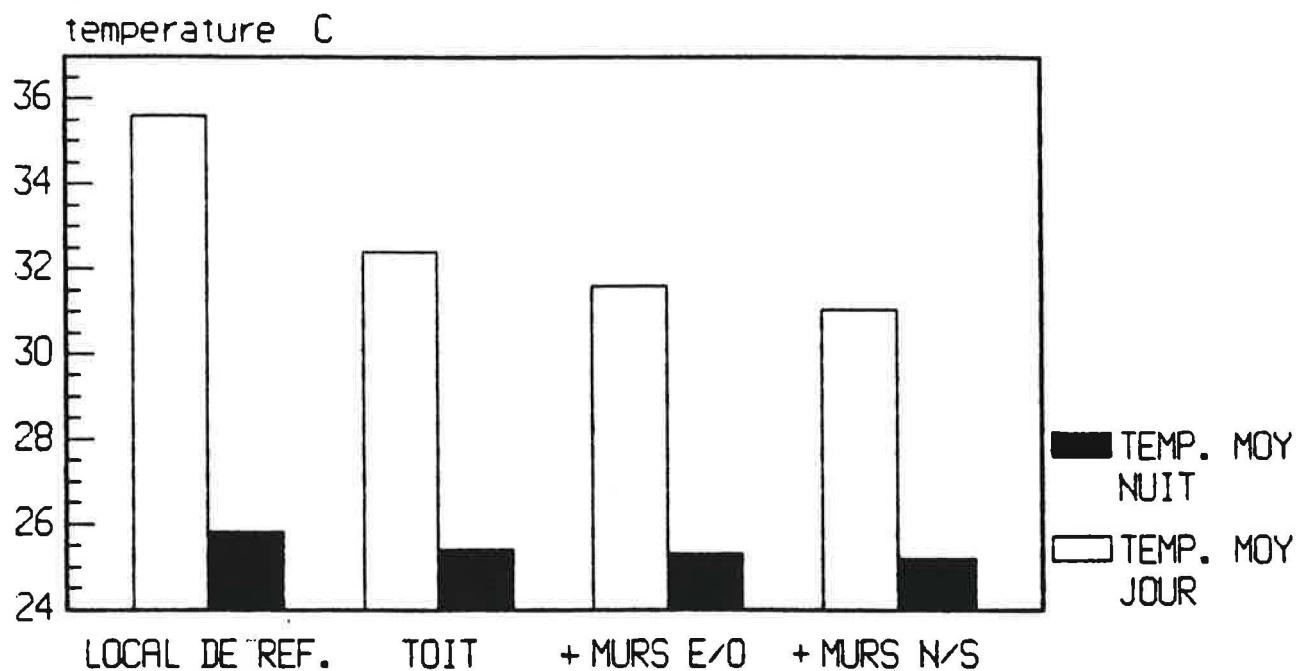
Effets cumules de l'isolation des parois

FIG 44: EFFET DE L'ISOLATION SUR UN LOCAL
A STRUCTURE LOURDE



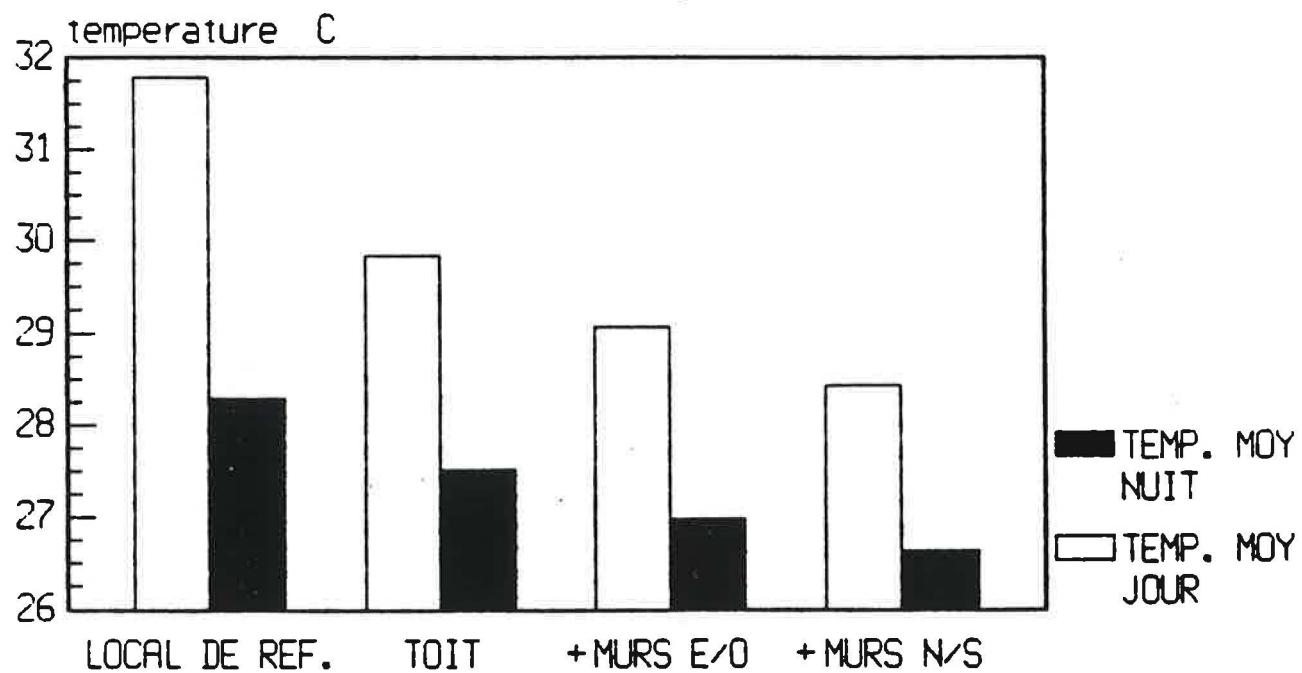
Effets cumules de l'isolation des parois

FIG 45: EFFET D'UN REVETEMENT EXTERIEUR CLAIR
SUR UN LOCAL A STRUCTURE LEGERE



Effets cumules d'un revetement exterieur
blanc (absorption=0.3)

FIG 46: EFFET D'UN REVETEMENT EXTERIEUR CLAIR
SUR UN LOCAL A STRUCTURE LOURDE



Effets cumules d'un revetement exterieur
blanc (absorption=0.3)

Isolation (5 cm)

. L'isolation du local léger peut faire baisser la température résultante de jour de plus de 5 °C (schéma 43). Elle entraîne aussi une augmentation de 1.5 °C de la température résultante de nuit. L'isolation des façades N/S offre peu d'intérêt :

- 0.4 °C le jour,
- + 0.8 °C la nuit.

. L'isolation du cas lourd peut faire gagner 2.7° C le jour (schéma 44). Le confort de nuit est peu sensible à l'effet de l'isolation. L'isolation des façades N/S a un impact négatif :

- 0.1 °C le jour,
- + 0.3 °C la nuit.

Les parois N/S jouent le rôle "d'évacuateurs" de l'énergie thermique accumulée dans le local.

Notons également l'inégalité de la répartition des baisses ou des gains enregistrés sur la température résultante (en °C) ; par ordre de priorité :

Local	Toit	Mur E/O	Mur N/S	Bilan
Cas léger	Jour	- 3.8	- 1	- 5.2
	Nuit	+ 0.2	+ 0.5	+ 1.5
Cas lourd	Jour	- 2	- 0.6	- 2.7
	Nuit	- 0.3	- 0.2	- 0.2

Valeurs en ° C

Effet d'un revêtement blanc (absorption $\alpha = 0.3$)

L'effet d'un revêtement blanc ($\alpha = 0.3$), à la place d'un revêtement de couleur foncée ($\alpha = 0.7$) a un impact positif de jour comme de nuit (schéma 45 et 46). Contrairement à l'isolation, il ne contrarie pas le phénomène d'évacuation par les parois de l'énergie thermique (apports internes et externes) accumulée dans le local.

On peut également dresser le tableau des bilans, en terme de baisse de température résultante, de l'effet d'un revêtement blanc pour chaque élément de l'enveloppe :

Local	Toit	Mur E/O	Mur N/S	Bilan
Cas léger	Jour	- 3.2	- 0.8	- 4.6
	Nuit	- 0.4	- 0.1	- 0.6
Cas lourd	Jour	- 2	- 0.8	- 3.3
	Nuit	- 0.7	- 0.5	- 1.6

Valeurs en ° C

Sur un plan théorique et économique, un revêtement blanc est nettement préférable à l'isolation. Malheureusement le vieillissement naturelle , le dépôt de poussières et la pollution nuisent à long terme à l'efficacité thermique du revêtement (avec le temps , les absorptions des murs s'uniformisent autour de la valeur 0.6). Pour conserver leurs qualités thermiques, un entretien régulier des façades est donc nécessaire (nettoyage des murs lorsque les couleurs commencent à ternir).

De plus , aux Antilles, la tenue du revêtement est soumise à d'importantes contraintes pluviométriques , surtout en toiture.Pour cette dernière, à moins d'utiliser des revêtements spéciaux ,l'isolation apparaît comme la solution la plus appropriée .Pour l'ensemble d'un bâtiment ,le recours à des solutions mixtes : toiture isolée, et murs blancs s'impose de fait.

3.5. LA VENTILATION NATURELLE

3.5.1 Les différents régimes de ventilation

La ventilation naturelle peut selon l'importance du débit assurer trois fonctions :

- * débit faible (1 à 2 vol/h) pour le maintien des conditions d'hygiène par évacuation de l'air vicié,
- * débit moyen (de 20 à 50 vol/h) pour l'évacuation des apports internes et le refroidissement de l'enveloppe. A 30 vol/h on obtient 85 % de l'effet de refroidissement pour le cas léger (schéma 47) et 80 % pour le cas lourd (schéma 48). Ces débits (20 à 50 Vol/h) sont accessibles à n'importe quel type de locaux , sans conception aéraulique particulière , par la simple ouverture des fenêtres (schémas 49 et 50)
- * débit fort (à partir de 100 vol/h) pour assurer le confort par sudation : l'accroissement des vitesses d'air moyennes

et leurs bonnes répartitions, rentabilise le processus de sudation. C'est le seul moyen de climatisation qui permette de compenser des conditions en température supérieure à 32° C et humidité élevées.

Aux Antilles, aux heures les plus chaudes, des pointes de températures à l'intérieur des locaux peuvent -particulièrement si la protection solaire du bâtiment est insuffisante- dépasser 32 °C. L'obtention de vitesses d'air avoisinant 1 m/s, nécessaire pour la sudation est un problème autrement plus compliqué que le précédent (établissement de débit de renouvellement d'air moyen).

La ventilation nocturne

Est-elle toujours nécessaire ?

Bâtiments légers : une ventilation nocturne forte ou moyenne est inutile pour deux raisons :

- l'effet de refroidissement par la ventilation est faible (schéma 47),
- compte tenu des valeurs de TRN (26 à 27° C), le confort humain est dans une zone thermique où il devient peu utile de développer des vitesses d'air élevées.

Néanmoins, un débit d'air faible, un peu plus important que le renouvellement d'air hygiénique (2 vol/h), de l'ordre de 5 à 10 vol/h permet d'abaisser la température d'air de 1 °C. Un renouvellement d'air résiduel de cet ordre, peut être obtenu en maintenant les ouvertures entrebâillées.

Bâtiments lourds : du fait du stockage thermique, ces locaux ont besoin d'une ventilation nocturne pour se refroidir. Un débit moyen de 30 vol/h suffit à refroidir les locaux à une température résultante de 27 °C (zone d'indifférence aux vitesses d'air). Bien que la nuit le vent soit plus faible, un débit de 30 vol/h est facilement obtenu. Il impose la contrainte de l'ouverture des fenêtres la nuit, ce qui va à l'encontre des habitudes établies : protection des biens, sécurité des personnes, isolation acoustique en milieu urbain...

Pour le confort de nuit, la construction en matériau léger est donc nettement préférable à la construction lourde (notamment s'il n'est pas possible de ventiler les locaux).

3.5.2 Utilisation du vent et des courants traversants

L'idée de ventiler un local en utilisant le vent remonte à la nuit des temps (exemple : la case traditionnelle). Elle consiste à utiliser le champ de pression différentiel existant (sous l'effet du vent) entre les différents murs (façade ou pignon) d'un local. Ce différentiel de pression est le moteur de

FIG 47: EFFET THERMIQUE DE LA VENTILATION DANS
UN LOCAL A STRUCTURE LEGERE

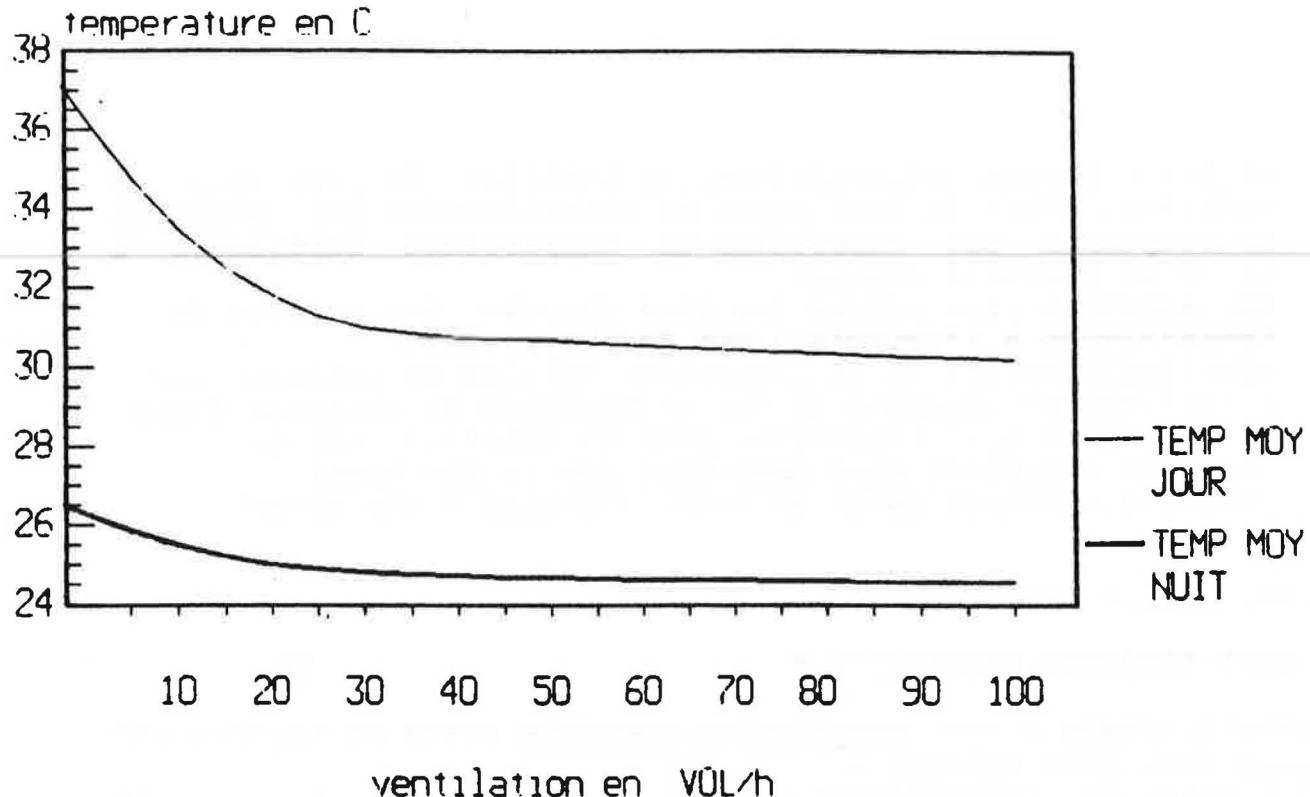
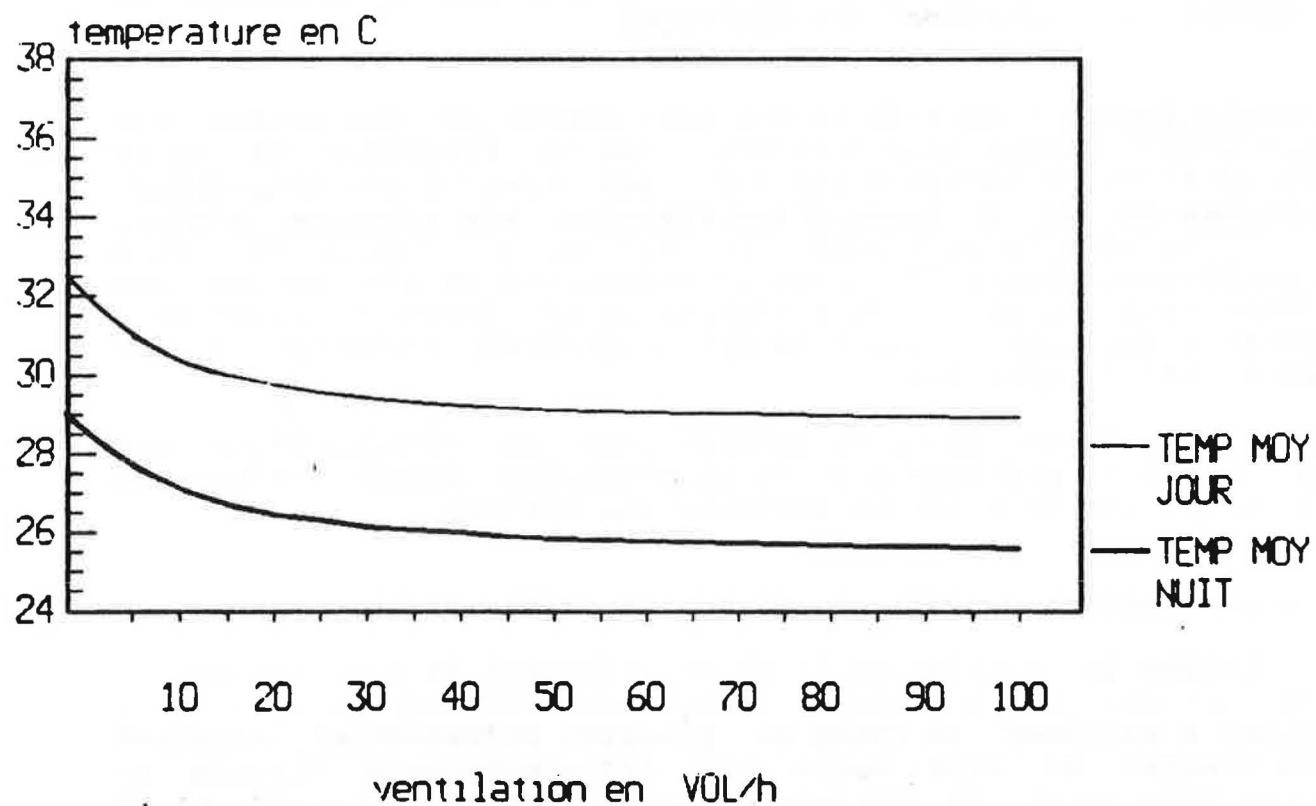


FIG 48: EFFET THERMIQUE DE LA VENTILATION DANS
UN LOCAL A STRUCTURE LOURDE



la circulation d'air (et des courants traversants) qui s'établit entre les ouvertures .

Deux types de paramètre régissent les courants traversants:

- 1 le potentiel du site dépendant de :

- * l'existence du phénomène vent
- * la présence d'effets topographiques devantant le site (rugosité, colline, vallée...)
- * la nature de l'environnement (milieu urbain, dégagé, barrière végétale ...)

- 2 les performances aérauliques du local dépendant de:

- * l'orientation du bâtiment et des ouvertures par rapport à la direction principale des vents dominants
- * la forme et la dimension du local
- * la perméabilité des façades
- * la circulation interne de l'air (définition des cloisons, perméabilité ...)

Jusqu'à une période très récente , la ventilation naturelle était abordée uniquement sur un aspect qualitatif . Les recherches effectuées par plusieurs laboratoires (élaboration de logiciels, simulations, approche expérimentale) rendent désormais possible la quantification de nombre de paramètres commandant le phénomène ventilation .

3.5.3 Notions d'aérodynamique du bâtiment

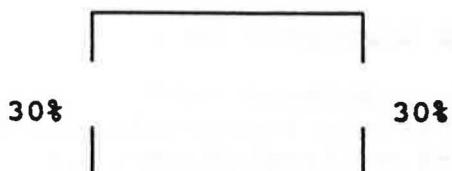
Les configurations géométriques des locaux sont très nombreuses . Mais, en simplifiant à l'extrême , on peut réduire l'étude à l'examen de quelques cas dont les propriétés résument l'essentiel de l'enseignement à retenir :

- ouvertures sur faces opposées
- ouvertures en diagonale
- ouvertures multiples (3 à 4)
- effet des cloisons intérieures
- intérêt de l'effet de dépression

3.5.3.1 Ouvertures sur faces opposées : référence de la case traditionnelle

Dans l'optique définie, la case traditionnelle ,sans cloisons et réputée être bien ventilée constitue le cas de base idéal . Ses performances constituent sur le plan ventilation un objectif raisonnable à atteindre .

Les données géométriques du local 1 (annexe 1) correspondent à ce type de maison standard" avec des ouvertures représentant 30% des murs de façade.



La simulation de ce local à partir du logiciel DEBIT apporte des éléments de réponse d'une portée générale sur les problèmes de l'impact de l'orientation des ouvertures (fenêtres, portes)

Les résultats des simulations, établies pour 3 orientations différentes et deux sites différents (cf Schémas 49, 50 51) sont les suivants :

Tableaux de résultats

LE RAIZET

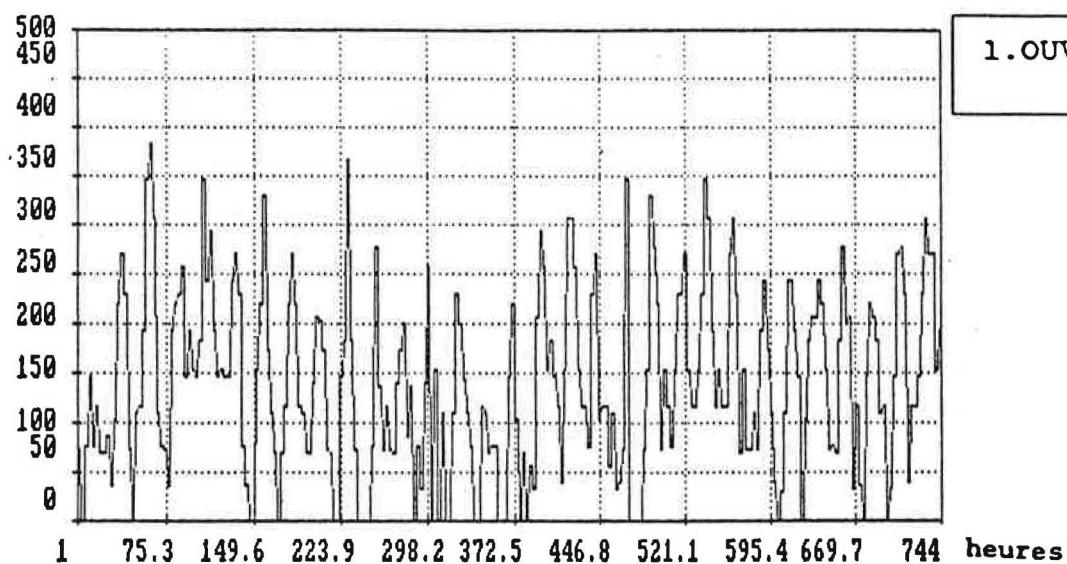
RENOUVELLEMENT AIR EN VOL/H	1.OUVERTURES E/O	2.OUVERTURES N.E / S.O	3.OUVERTURES N/S
Moyenne jour	200	203	146
Moyenne nuit	77	76	52

LE LAMENTIN

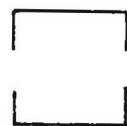
RENOUVELLEMENT AIR EN VOL/H	1.OUVERTURES E/O	2.OUVERTURES N.O / S.E	3.OUVERTURES N/S
Moyenne jour	206	187	103
Moyenne nuit	125	118	65

La meilleure orientation des ouvertures se produit bien évidemment lorsque l'axe des ouvertures coïncide avec la direction principale des vents . Le rapport des performances aérodynamiques d'un local, entre la meilleure orientation des ouvertures et la plus pénalisante (axe des ouvertures perpendiculaires à l'axe des vents) est de l'ordre de 2 .

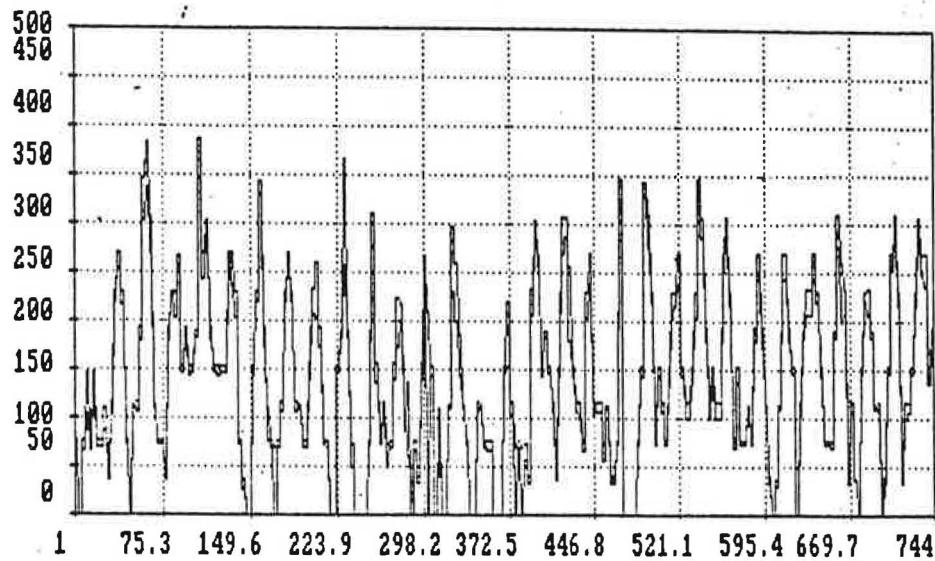
RENOUVELLEMENT
AIR EN VOL/H



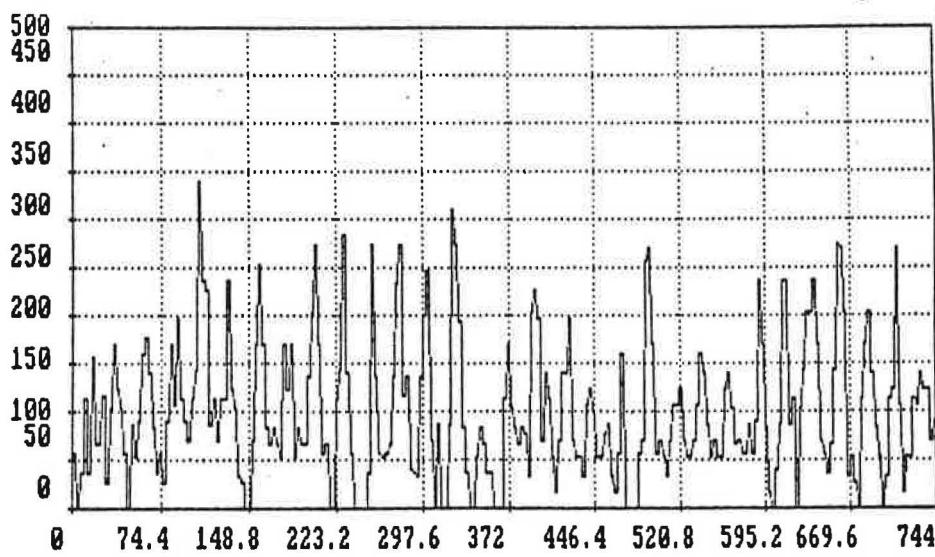
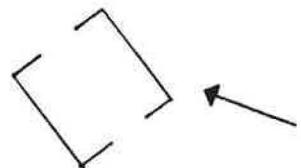
1. OUVERTURES
E/O



vent



2. OUVERTURES
N.E /S.O



3. OUVERTURES
N/S



FIG 49 50 51 Comparaisons d'orientations différentes

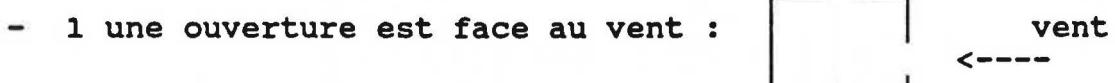
Ce chiffre est corroboré par des études expérimentales (4) effectué en soufflerie . En effet , si on note Cu le coefficient de proportionnalité entre la vitesse moyenne de circulation de l'air dans le local et la vitesse extérieure moyenne à la même hauteur, les résultats obtenus pour ce même local ont été respectivement :

- pour la direction la plus favorable à la ventilation (ouvertures E/O) $Cu=0.5$
- pour la direction la plus défavorable (ouvertures N/S) $Cu=0.25$

Les orientations intermédiaires donnent des résultats quasi identiques (à 10% près) à l'orientation la plus favorable lorsqu'elles ne s'éloignent pas de + ou - 30° de la direction principale des vents .

3.3.3.2 Ouvertures en diagonales

D'un point de vue aérodynamique deux cas seulement sont à examiner :



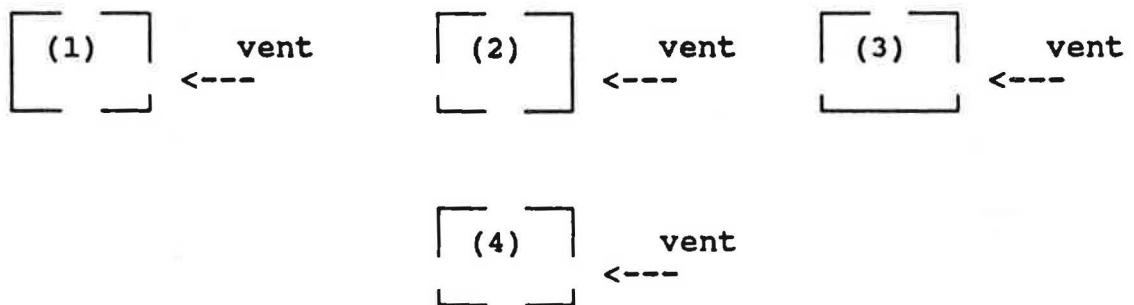
La configuration 2 s'avère être la plus performante. L'explication résulte d'un phénomène bien connu en ventilation : la supériorité en termes de déplacement de masse d'air du phénomène de dépression (aspiration de l'air) à celui de surpression (admission d'air).

Aussi la configuration 2 qui exploite cet effet de dépression entre les façades donnent les résultats les suivants:

- les débit d'air sont deux fois plus élevés que pour la configuration 1
- les performances en termes de vitesses d'air la situe entre REF1 et REF2 ($0.2 < Cu < 0.4$)

3.5.3.3 Ouvertures multiples (3 à 4)

Si l'on ajoute des ouvertures au cas de référence (REF1 et REF2), 4 cas sont à examiner :



Les deux premiers cas correspondent ajout d'une ouverture à la configuration REF2 :

- (1) sur la façade face au vent (donc en surpression); la ventilation en est peu améliorée.

- (2) sur la façade sous le vent (donc en dépression); l'amélioration de la ventilation est notable , comparable aux résultats de REF1.

La configuration (3) correspond à REF1 + 1 ouverture sur une autre façade. Le gain de ventilation peut être estimé à (par rapport à REF1): - + 10 % en terme de vitesse d'air moyenne

- + 24 % en terme de débit d'air

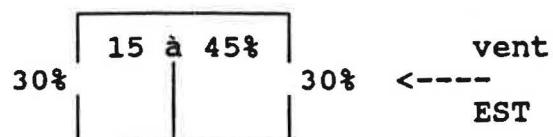
La configuration (4) présente un local avec ouvertures à toutes les façades .Le gain de ventilation escompté ,par rapport à REF1 est de l'ordre de : - + 20 % pour les vitesses d'air moyennes

- + 40 % pour les débits d'air

3.5.3.4 Effet des cloison intérieures

Dans quelle mesure les cloisons intérieures entravent-elles une bonne ventilation des locaux ?

Pour avoir un ordre d'idée, nous avons simulé REF1 avec une cloison intérieure de perméabilité variable P1 (15%), P2 (30%), P3 (45%).



Les conclusions tirées de ces tests sont :

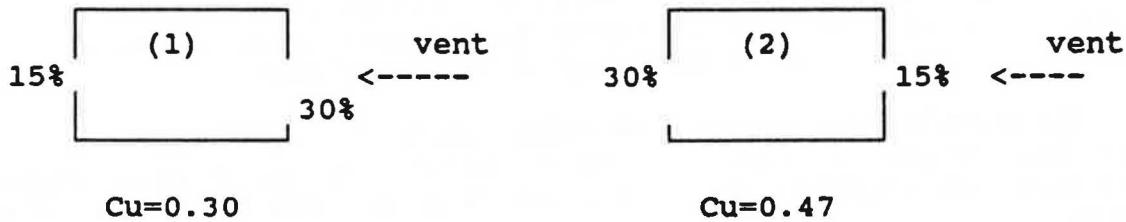
* les cloisons intérieures ne constituent un frein à la ventilation que lorsque la perméabilité des cloisons est inférieure aux perméabilités des façades. Dans le cas P1, on constate une chute des débits d'air de - 40 %.

* dès lors que la perméabilité de la cloison est égale ou supérieure à celles des façades, elle ne pénalise plus vraiment la ventilation (cas P2 : -15% de pertes en débit d'air et - 5% pour P3)

3.5.3.5 Intérêt de l'effet de dépression

En matière de ventilation, l'exploitation des effets dépression est un clé fondamentale pour accroire les performances aérodynamiques d'un local. Plusieurs règles de conception en découlent :

- le dimensionnement des ouvertures sous le vent doit être supérieures à celles à l'admission. Par exemple, préférer la configuration 2 à la 1 ; elle présente des performances aéraulique supérieur de 50 %.



- le développement de la dépression arrière d'un bâtiment peut être favorisé par la forme de la toiture (par exemple toit à simple pente dirigée vers les vents dominants) et du local (dimension des façades sous le vent plus importantes que les façades face aux vents). Des dispositifs spéciaux, comme des joues latérales agissent dans le même sens.

3.5.5 Dimensionnement des Baies : compromis entre ventilation et protection solaire

Deux phénomènes antagonistes interviennent pour le dimensionnement des ouvertures. En effet un accroissement des dimensions des baies vitrées entraîne :

-les avantages du développement de la ventilation
-les inconvénients d'un risque de surchauffe dus aux apports solaires par les ouvertures (rayonnement des parois intérieures exposées).

Cas de l'orientation E/O des baies

Beaucoup de concepteurs privilégièrent cette orientation pour mettre à profit les vents dominants. Pourtant des surfaces de baies importantes, mal protégées contre les irradiations solaires sont à éviter à cause des surchauffes importantes engendrées (deux fois plus importantes qu'en orientation N/S). Ces surchauffes sont difficilement réductibles, même avec une ventilation forte (dans un même local, le passage à des ouvertures de 20% à 60% sans protection solaire entraîne une surchauffe en température résultante de 3°C).

Des dimensions 25 à 30% semblent constituer un optimum raisonnable permettant une bonne ventilation tout en préservant de risques d'inconfort dues à de fortes surchauffes notamment en cas de défaillance du potentiel du site (voir courbe ci-dessus).

Compte tenu de la course du soleil, il est difficile de protéger efficacement les ouvertures E/O des rayons du soleil. Des lames orientables (de préférences blanches pour réfléchir le soleil) sont la meilleure solution, elles permettent de plus de contrôler quantitativement l'écoulement de l'air (cf § 3.2.3).

Cas de l'orientation N/S des baies

La ventilation est moins performante que l'orientation E/O. Mais compte tenu d'une exposition solaire moindre (un vitrage N/S à 40% des façades ne contribue qu'à 15% seulement des apports totaux) il est possible de corriger cet handicap grâce des ouvertures plus grandes. Des baies de dimensions 40 à 60% des façades semblent être un bon optimum pour une ventilation satisfaisante.

Contrairement à l'orientation E/O la protection solaire des ouvertures N/S est plus aisée. Des masques horizontaux (débords de toiture par exemple) suffisent à protéger efficacement (cf § 3.2.3) :

- avancée 1 m pour au nord
- avancée 1.5 m au sud

Orientations intermédiaires (+ou- 30° de la direction principale des vents dominants)

Le potentiel de ventilation est pratiquement équivalent à celui obtenu en orientation E/O, avec l'avantage d'une exposition solaire moindre. Les dispositifs de protection solaires à mettre

en oeuvre peuvent être mixte: masques horizontaux + lames orientables.

3.5.5 Le potentiel et contrainte de l'environnement

Site venteux

Dans l'ensemble, les Antilles où soufflent les alizés sont assez bien dotées par la nature. Le potentiel est suffisant en bord de mer, en milieu dégagé, et en banlieue pour assurer une bonne ventilation des locaux (voir annexe n°4) et les recommandations établies, s'appliquent relativement bien pour ces différents sites.

De plus, le vent atteint son maximum d'intensité aux heures les plus chaudes. Les fréquences de dépassement du seuil de 1 m/s lorsque c'est le plus utile - c'est à dire quand la température atteint 28°C - sont assez satisfaisantes pour des bâtiments dotés d'un coefficient Cu entre 0.25 et 0.5 (Annexe 4).

La nuit, le potentiel est deux fois plus faible. C'est nullement gênant dans la mesure où les besoins en ventilation sont plus faibles (voir § 3.3.3.1, besoins nuls pour les bâtiment légers et débits moyens le refroidissement des bâtiments lourds).

Autres sites

En zone urbaine dense, en centre ville (de même tous sites confinés ou soumis à la pollution et au bruit) et autres sites déventés (fortes rugosités, obstacles naturels) il semble illusoire de compter sur une bonne ventilation des locaux.

Pour ces sites, les recommandations en matière de protections solaires seront privilégiées. Cependant, si l'obtention de vitesses d'air de 1 m/s paraît hors de portée, des débits moyens, utile pour l'évacuation de la charge thermique sont accessibles.

3.6. Synthèse des résultats

3.6.1. Récapitulatif sur les recommandations

La synthèse des résultats précédents s'articule autour de trois pôles d'actions :

- l'aspect protection thermique contre l'ensoleillement (90 % des apports),
 - l'aspect ventilation (pour l'évacuation de la charge thermique et l'augmentation des vitesses moyennes d'air).
 - architecture générale (orientation des ouvertures et du bâtiment)

Ce dernier point dépend d'ailleurs des deux autres. D'autre part les recommandations ne relèvent pas de la même importance. Dans un domaine d'action considéré, on peut établir des priorités dans les recommandations préconisées :

- * Protection solaire
 - { 1. couverture (55 % des apports)
 - { 2. murs (30 % des apports) (*)
 - { 3. ouvertures N/S (15 % des apports)

- Architecture générale
 - { 1 orientation, dimension des baies
 - { 2 orientation, forme du bâtiment

- * Aéraulique
 - { 1. développement de la ventilation des locaux par les baies
 - { 2. ventilation des combles (s'ils existent)

L'efficacité de ces recommandations, démontrées dans les paragraphes précédents, s'appliquent aussi bien pour les bâtiments lourds que pour les bâtiments légers. La seule différence notable concerne la ventilation nocturne des locaux : nécessaire la nuit pour les bâtiments lourds, elle est superflue pour les bâtiments légers.

(*) en orientation E/O, les ouvertures représentent un pourcentage bien plus élevé.

3.6.2. Le cumul des recommandations

L'application de ces règles suffisent-elles à instaurer à l'intérieur des locaux des conditions de confort relativement agréables ?

Pour répondre à cette question, nous avons appliqué l'ensemble de ces recommandations, à des locaux à faible et forte inertie thermique .

Bâtiments légers (schéma 52):

Les simulations sont effectuées sur la base du local 1. Pour montrer qu'il est possible d'améliorer le confort thermique de l'habitat en tout lieu nous nous sommes placés d'embrée dans le cadre d'un site peu venteux. Dans cette optique l'action à privilégier est la protection solaire. C'est à dire : orientation N/S des ouvertures, vitrage à 40 %, plan de masse du bâtiment dans l'axe E/O.

Notre intérêt s'est porté sur le confort de jour. Le confort nocturne dans ce type de bâtiment ne pose pas de problème majeur : la température de nuit suit en général l'évolution de la température extérieure à 1° C près (entre 25 et 27° C).

Eléments d'enveloppe considérée	Recommandations cumulées	Temp. résultante moyenne jour
Local de référence		36.6° C
1. Toit	.Comble ventilé (20 vol/h) .Double écran ou faux plafond avec feuille d'alu	33.2° C 32.8° C
2. Murs	et .Isolation simple	32.8° C
3. Ouvertures	et .Revêtement blanc ($\alpha = 0,3$) et .Pare soleil (avancée 1 m) .Ventilation par les ouvertures N/S (40 % de la façade) 50 vol/h	31.5° C 30.9° C 29.2° C

(rappelons que la température extérieure maxi est de 30 à 31° C).

Le cumul des recommandations se révèle efficace : 7,5° C peuvent être gagnés par rapport au cas de référence. Notons que les derniers degrés sont les plus difficiles à gagner :

- * Protection du toit : - 3,8° C
- * Murs blancs + pare soleil sur les ouvertures + ventilation du local - 3,6° C

Pour raisonner en terme de confort thermique, des données supplémentaires comme l'humidité relative maximale, la température résultante maximale et la température d'air maximale doivent être prise en compte.

Nous avons relevé toutes ces données pour différentes conceptions de la toiture (toit isolé, toit avec faux-plafond et comble ventilé 20 vol/h) et pour des régimes de ventilation modérés (20 vol/h et 50 vol/h) pour s'affranchir des contraintes dues au site (milieu urbain et peu dégagé) et à l'ouvertures des baies (bruit, habitudes, pollution...). En nous plaçant dans l'hypothèse la plus restrictive (ventilation très modérée), la portée de l'étude reste générale et les solutions prescrites ne sont pas tributaires du temps (importance du vent), de l'environnement et du site. Rappelons néanmoins que la plupart des habitations pour peu qu'elles possèdent d'assez larges ouvertures N/S ou moyennes en E/O ont des capacités de ventilation beaucoup plus importantes (fort débit de plus de 100 vol/h).

Tableau 1 :

BASE	OPTION COUVERTURE	REGIME DE * VENTILATION/Jour	TEMP. RESULT. MOYEN		MAXIMUM		HUMIDITE RELATIVE MAXI
			Jour	Nuit	Temp. Résul	Temps Air	
Local léger murs blancs (ABS=0.3)	Toit isolé (5cm)	Faible 20 vol/h	29.5	26.8	31.3	30.8	83%
		Moyen 50 vol/h	29.2	26.7	30.9	30.4	83%
Ouvertures S.N 40% façade avec pare-soleil	Faux plafond avec comble ventilé (20 vol/h)	Faible 20 vol/h	29.7	26.8	31.4	30.6	82%
		Moyen 50 vol/h	29.1	26.4	30.8	30.2	86%

Quelles que soient les solutions envisagées, l'objectif - ne pas dépasser les conditions extérieures: 30-31° C en température d'air - est atteint. Les données concernant l'humidité relative sont satisfaisantes : au cours de la journée elle varie dans la fourchette 60-70 % lorsque la température évolue de 26 à 30° C, la nuit elle atteint son maximum au dessous de 90 % H.R. (pas de sensation "d'oppression" pulmonaire). Dans ces conditions, le confort thermique est assez satisfaisant. Cependant le jour des vitesses d'air 0.2 à 0.5 m/s en vitesse d'air compléterait idéalement le tableau obtenu en température. Elles peuvent être obtenu soit par la ventilation naturelle si le site le permet

soit par un brasseur d'air .

Bâtimenent lourds (schéma 53) :

En procédant de la même façon que précédemment, sur la base du local 2, le cumul des moyens d'action donnent les résultats suivants :

	Recommandations	temp. moy.	résultante
		Jour	Nuit
Local de référence (2)	→ 33	29.3	
(dalle béton murs lourds)			
	Double toit	31	29
Toit	→ Toit isolé	30.8	28.9
Murs	→ Revêtement blanc ($\alpha = 0,3$)	29.5	28.4
Ouvertures	→ Pare-soleil ($av = 1 \text{ m}$) Ventilation par les ouvertures N/S (40 % façade) : 50 vol/h	29.2	28.3
	→ Jour	28.6	28.1
	→ + la nuit	28.5	26.7

Par rapport au cas de référence, le cumul de ces recommandations permet une diminution de 4-5° C en moyenne de la température Jour. Le confort de nuit est obtenu grâce à la ventilation nocturne.

Dans le tableau qui suit, nous avons simulé des solutions types en relevant plusieurs indices de confort pour conforter notre jugement.

Tableau 2 :

BASE	OPTION COUVERTURE	REGIME DE VENTILATION/jour et nuit	TEMP. RESULT. MOYEN		MAXIMUM Temp. Résul.	Temp. Air	HUMIDITE RELATIV MAXI
			Jour	Nuit			
Local lourd murs blancs ($\lambda_{BS}=0,3$)	Toit en dalle béton isolé (5cm)	Faible 20 vol/h	28.6	26.6	29.6	29.8	85%
		Moyen 50 vol/h	28.5	26.3	29.6	29.9	90%
Ouvertures S-N (40% de la façade) avec pare-soleil	Double toit	Faible 20 vol/h	28.8	26.8	29.9	30	85%
		Moyen 50 vol/h	28.7	26.4	29.8	30	88%

SUR UN LOCAL A STRUCTURE LEGERE

Effets cumulés

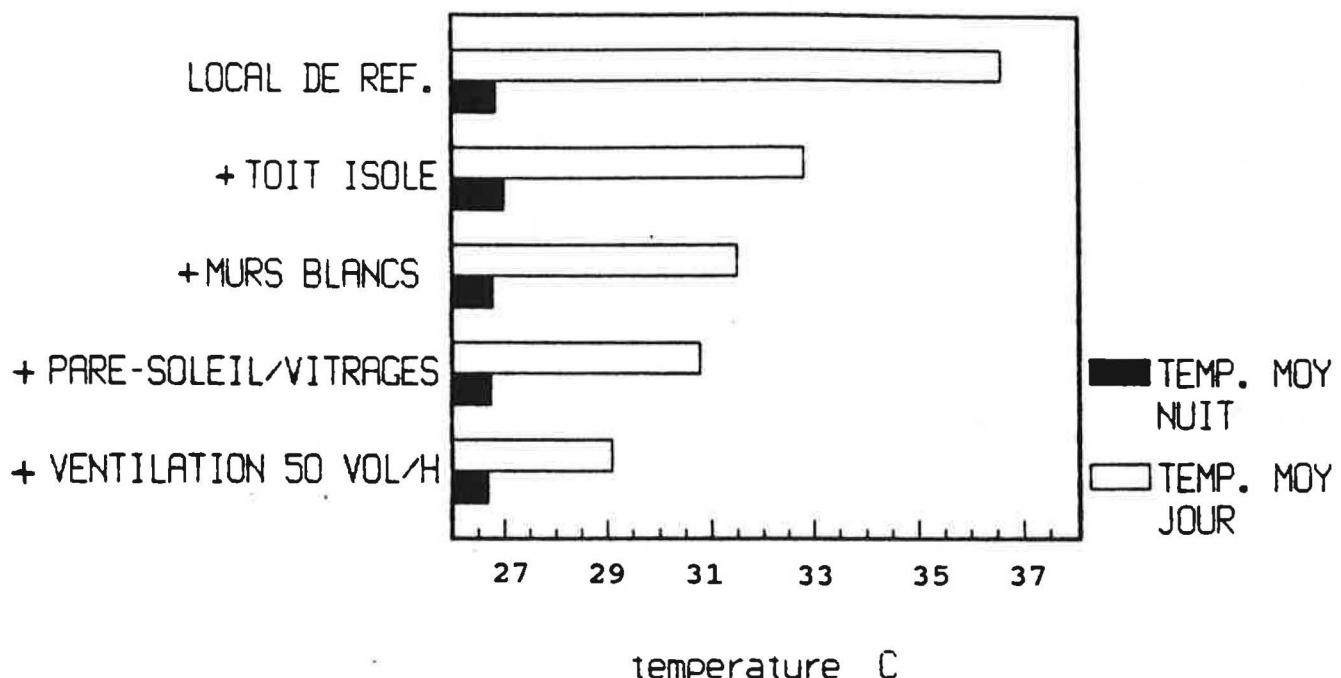
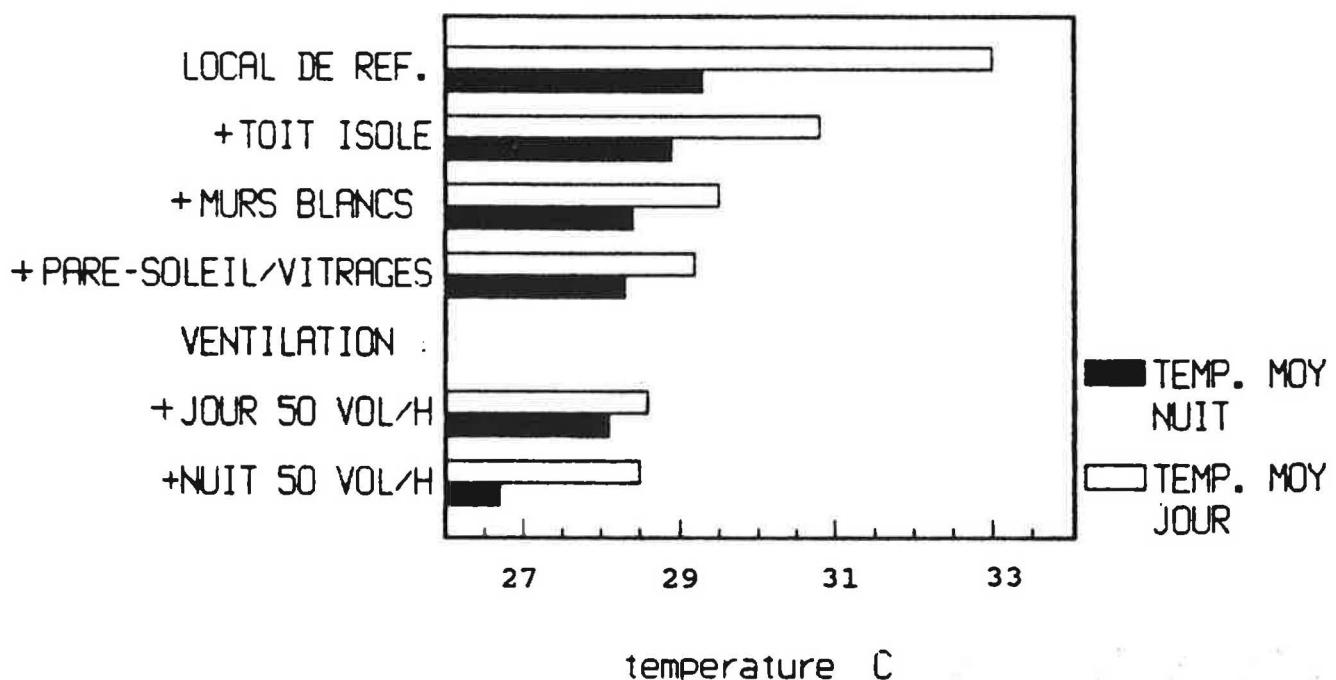


FIG 53: APPLICATION DES RECOMMANDATIONS SUR UN LOCAL A STRUCTURE LOURDE

Effets cumulés



(*) Dans le cas où la ventilation nocturne n'est pas assurée, la température résultante moyenne est plus élevée, d'environ 2°C.

Les conditions de confort obtenues sont tout à fait satisfaisantes, mais à la différence des locaux légers (très confortables la nuit), ils conviennent mieux pour le confort de jour (schéma 54).

3.6.3. Le choix de l'inertie du local

Aux Antilles, l'amplitude quotidienne de température extérieure est faible (6°C) cependant, l'inertie thermique trouve son intérêt dans son action de répartition sur la journée de l'importante charge solaire. Cet effet est bénéfique le jour, et permet grâce à l'atténuation de la charge de gagner :

- 0,4 à 1°C sur la temp. résult. moyenne jour,
- 1 à 1,5°C sur la temp. résult. maximum

relativement aux solutions légères (comparer le tableau 1 et 2)

La nuit, les solutions légères sont plus performantes : elles réalisent des conditions de confort agréables (temp. résult. nuit ≈ 26,5°C), sans nécessité de ventilation.

Pour obtenir les mêmes conditions en construction lourde, il devient indispensable de ventiler (débits moyens).

En définitive, si l'on dresse le bilan des aspects positifs et négatifs, la construction en matériau léger pour l'habitat semble préférable parce qu'elle donne l'assurance d'un repos nocturne satisfaisant, sans ventilation nocturne importante, pour résorber "la fatigue" journalière due aux conditions climatiques. Les locaux utilisés le jour uniquement, pourront être construits en matériau lourd. En matière d'habitat il serait intéressant d'envisager des constructions à double inertie :

- salon et salle de séjour en matériaux lourds,
- chambre à coucher en matériaux légers.

Les bâtiments du tertiaire seront construits de préférence en matériaux lourds.

4. LA CLIMATISATION MECANIQUE

4.1. OBJECTIF

La climatisation mécanique crée par l'abaissement de la température et la déshumidification de l'air les conditions de confort désirées. Mais la réfrigération de l'air est un processus énergivore visant à combattre les apports liés :

- au rayonnement solaire et dans une moindre mesure à l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur (chaleur sensible),
- au renouvellement d'air ; essentiellement la déshumidification de l'air extérieur sur les batteries froides (chaleur latente),
- l'activité interne, notamment de l'éclairage et des occupants (apports sensibles et latents)

Pour réduire la consommation frigorifique d'un bâtiment, les principales actions à mener concernent la protection solaire, le contrôle des infiltrations d'air extérieur, le réglage des paramètres de fonctionnement de la climatisation.

Nous examinons au travers de ce chapitre dans quelles proportions il est possible de diminuer la charge frigorifique d'un bâtiment climatisé.

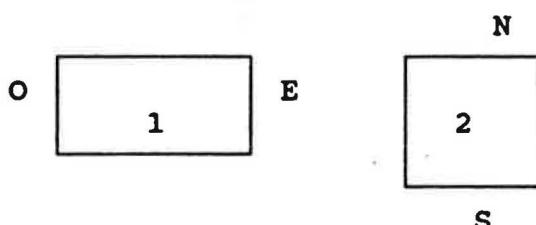
Les simulations sont effectuées sur la base des locaux 1 et 2 (cf annexe) climatisés à la température de consigne de 25°C.

4.2. Orientation et construction du bâtiment

4.2.1. Orientation du bâtiment

Les conclusions sont les mêmes qu'en climatisation naturelle :

- la meilleure orientation du plan de masse du bâtiment est dans la direction E/O comme le prouve la simulation suivante



Oriente-tion	Charge thermique en kWh
1	27
2	22.5

20% de différence environ de consommation entre 1 et 2

- les différentes pièces d'un local ayant la configuration standard suivante :

O	3	8	*
	5	6	E

reçoivent sur la journée à peu près la même charge thermique. Néanmoins, certaines pièces - les chambres à coucher ne sont utilisées que la nuit ; il est alors avantageux de choisir l'orientation Sud/Est ($n=6$) ou Nord/Est ($n=8$). En effet, la charge maximale reçue le matin à l'Est est atténuée en cours de journée. Le climatiseur de la chambre (utilisé en général uniquement la nuit) a donc une consommation moindre.

* local de référence : cas lourd

4.2.2 Les ouvertures

Les apports dus aux ouvertures dépendent :

- de la surface de vitrage,
- de l'orientation du vitrage.

Pour minimiser la part de charge de climatisation dont le vitrage est la cause, il faut :

* orienter au Nord et au Sud les ouvertures

En effet, à surface égale, un vitrage E/O transmet beaucoup plus d'énergie solaire qu'un vitrage N/S (schéma 55).

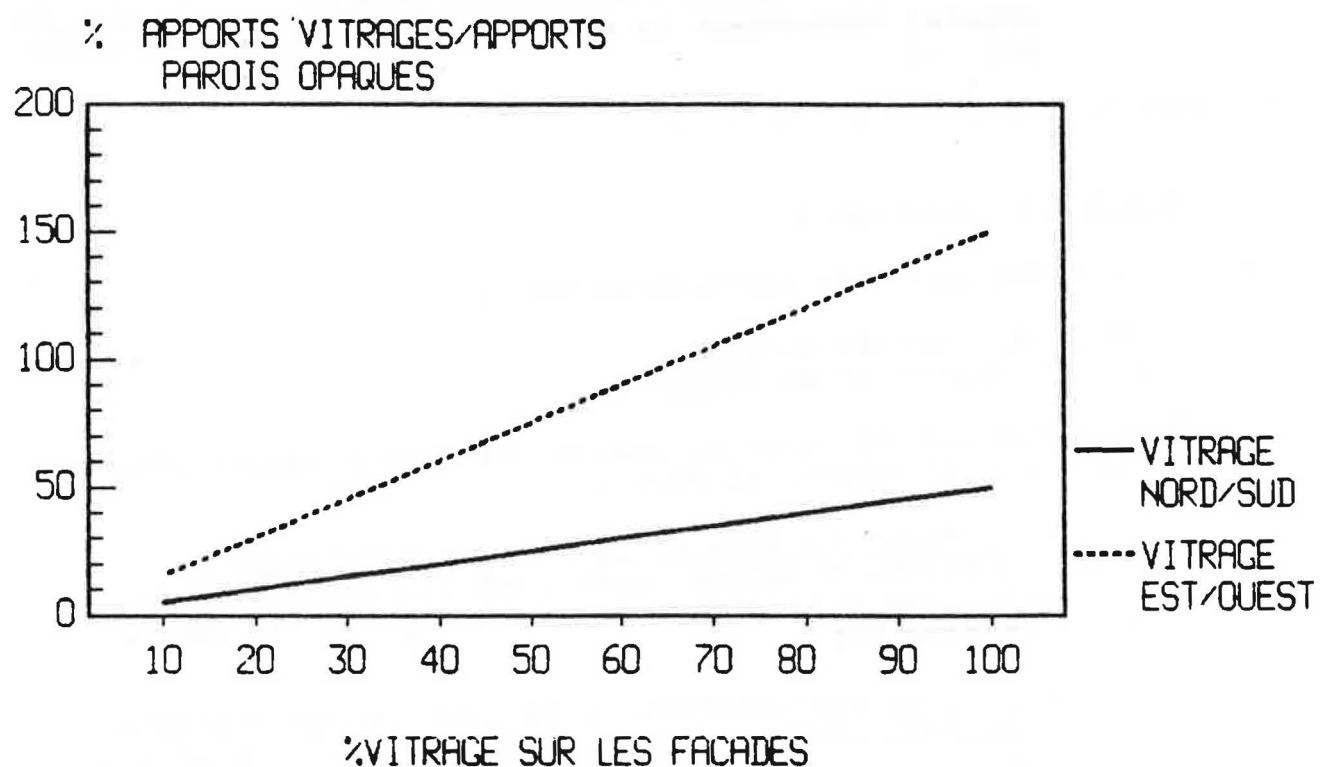
* limiter raisonnablement la surface des vitrages exposés au rayonnement solaire direct (en veillant à avoir un éclairage naturel suffisant). Les apports par les ouvertures sont en effet proportionnels à la surface du vitrage (schéma 55).

4.2.3 Matériaux

Comme nous l'avons vu précédemment (chap 2 et 3), la composition des matériaux détermine la répartition (inertie) et le niveau (résistance thermique) de la charge journalière.

Les matériaux lourds ont la propriété d'atténuer considérablement la charge maximale aux heures les plus chaudes .Or, le dimensionnement de l'installation de climatisation se calcule en fonction de cette charge maximale. Les constructions lourdes sont donc tout à fait indiquées pour diminuer l'investissement initial en matériel et les coûts d'exploitation.

FIG 55: INFLUENCE DE L'ORIENTATION ET DE LA SURFACE DES VITRAGES SUR LA CHARGE THERMIQUE JOURNALIÈRE D'UN LOCAL



La résistance thermique des parois verticales n'a d'intérêt que si la toiture est isolée (ou protégée par un quelconque moyen). En climatisation artificielle, tout comme en climatisation naturelle, la protection de l'habitat doit respecter les priorités établies au § 3.1.2 (1 toit, 2 et 3 : murs ou ouvertures selon l'importance du % de vitrage).

4.2.4 Constructions lourdes et légères : l'importance de la toiture.

La réduction de consommation qu'il est possible de réaliser par une protection efficace de la toiture est importante, tant pour les structures légères (schéma 57) que pour les structures lourdes (schéma 58). La diminution de consommation possible peut s'élever dans le cas d'une structure légère (toit tôle) jusqu'à 50-55% .

L'isolation de la toiture est certainement la solution la plus simple et la plus efficace à la fois en structure lourde et légère.

En structure lourde, l'épaisseur de la couverture (dalle en béton) agit peu sur la consommation journalière mais influe considérablement sur la charge maximale, base pour le calcul du dimensionnement de l'installation (schéma 56). L'intérêt de cet effet d'inertie est de réduire l'investissement sur le matériel de conditionnement d'air.

EPAISSEUR DALLE	CONSOMMATION JOURNALIERE kWh	CHARGE MAXI W
5 cm	32.1	2940
10 cm	30.6 (- 8%)	2450 (-17%)
20 cm	28.3 (- 12%)	1925 (-35%)

4.3. Fonctionnement de la climatisation

La consommation d'énergie du climatiseur est liée aux paramètres de réglage :

- la température de consigne de la régulation,
- les heures de fonctionnement de la climatisation.

La consommation de la climatisation est une fonction linéaire de la température de consigne (schéma 59). La température de consigne est un paramètre d'autant plus important que le local n'est pas isolé ou protégé contre le soleil (la croissance de la consommation est près de deux fois plus élevée que celle du même local isolé).

FIG 56: INFLUENCE DE L'EPATISSEUR EN TOITURE DE LA DALLE BETON SUR LA REPARTITION DE LA CHARGE JOURNALIERE D'UN LOCAL

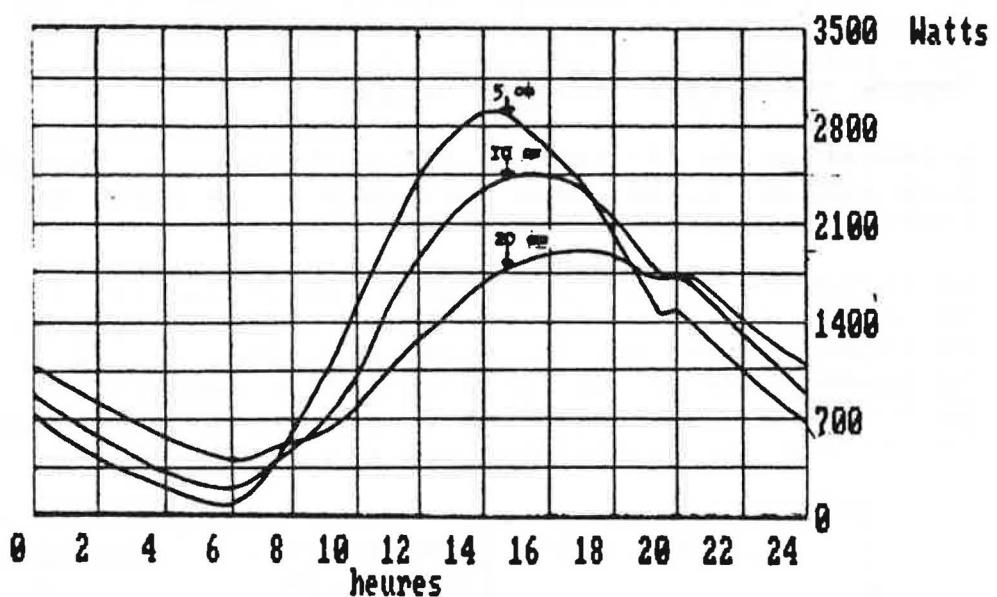


FIG 57: CHARGE TERMIQUE POUR DIFFERENTES VARIANTES DE TOITURE DANS UN LOCAL A STRUCTURE LOURDE

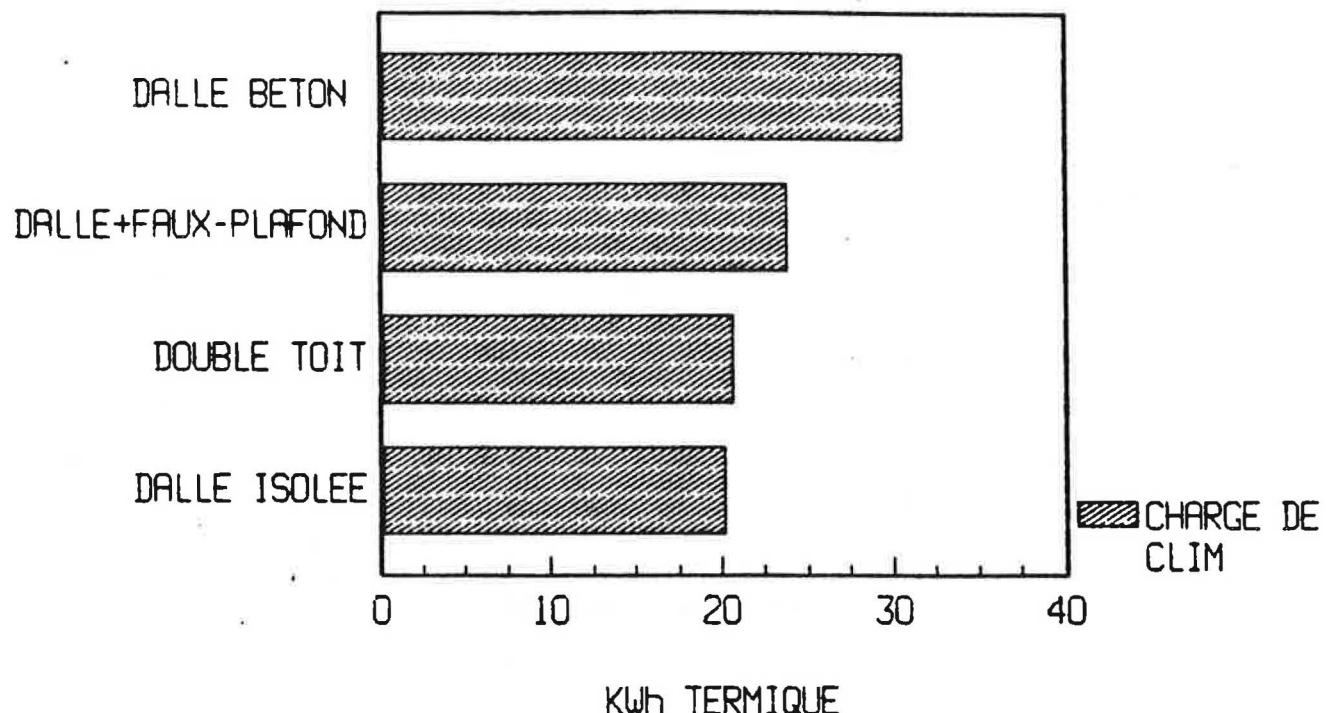


FIG 58: CHARGE THERMIQUE POUR DIFFERENTES VARIANTES DE TOITURE DANS UN LOCAL A STRUCTURE LEGERE

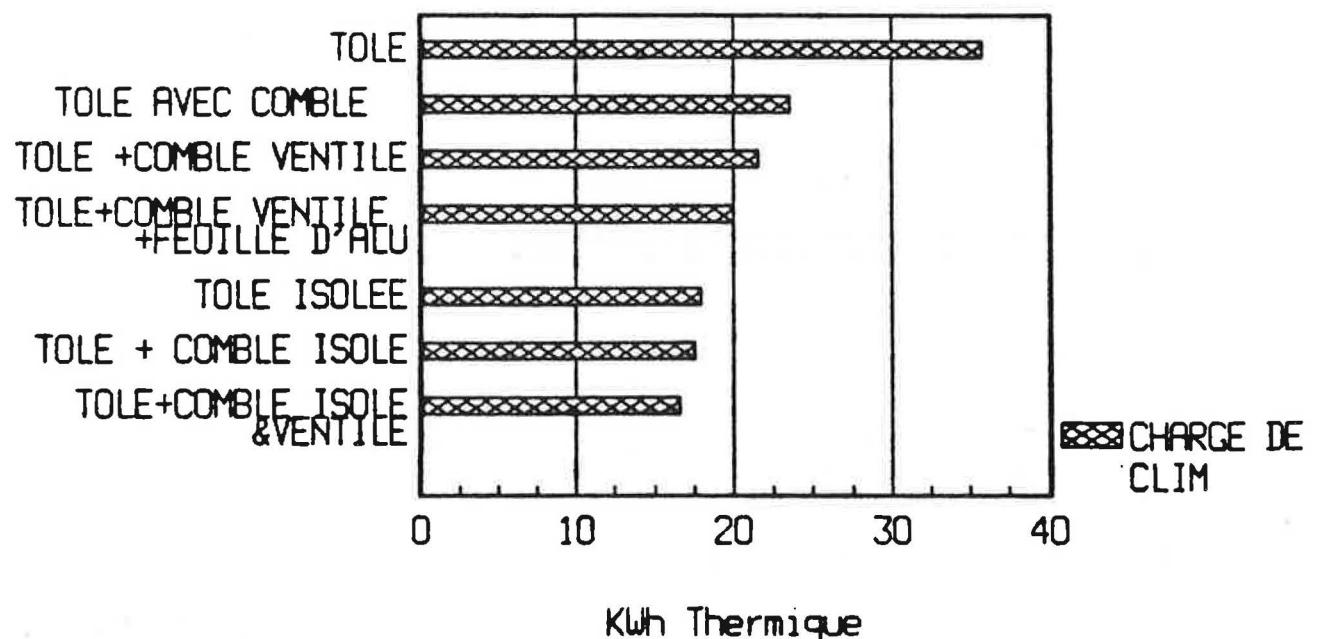


FIG 59: INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DE CONSIGNE
DE LA CLIMATISATION SUR LA CHARGE
THERMIQUE JOURNALIERE D'UN LOCAL

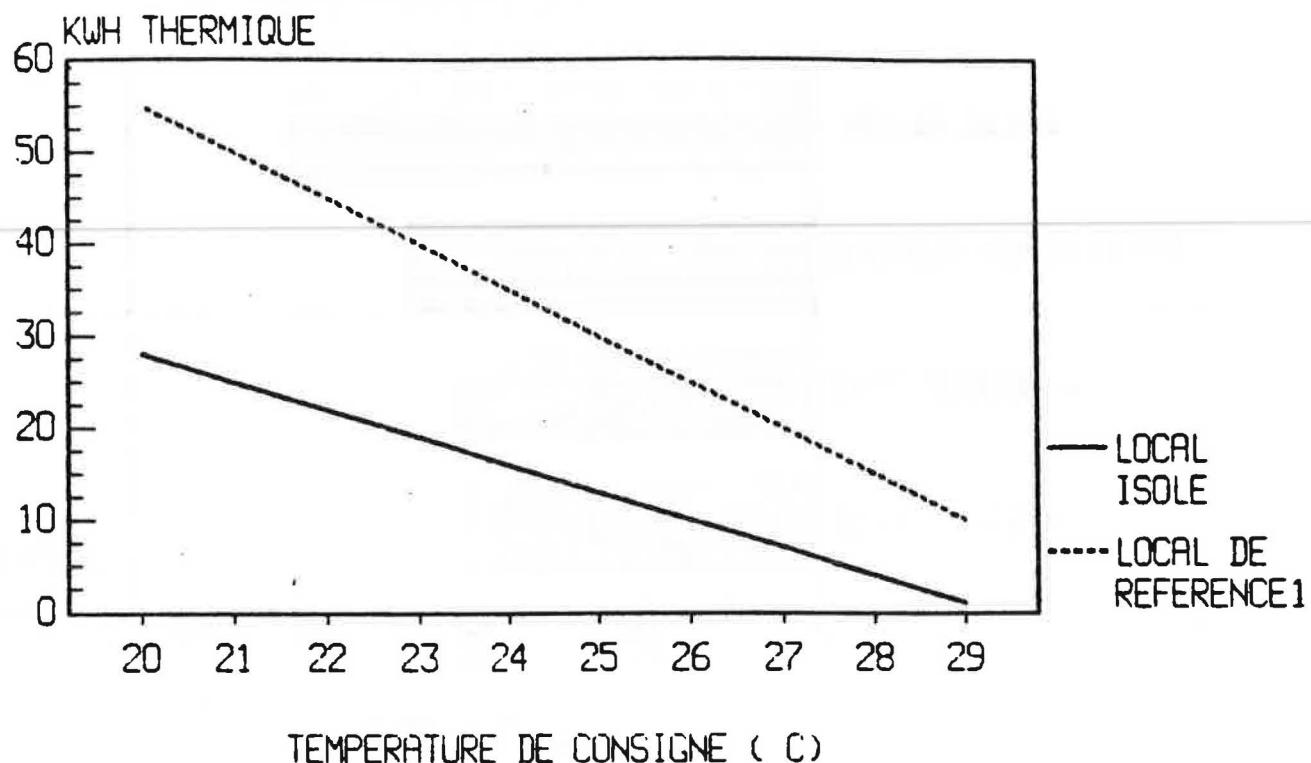
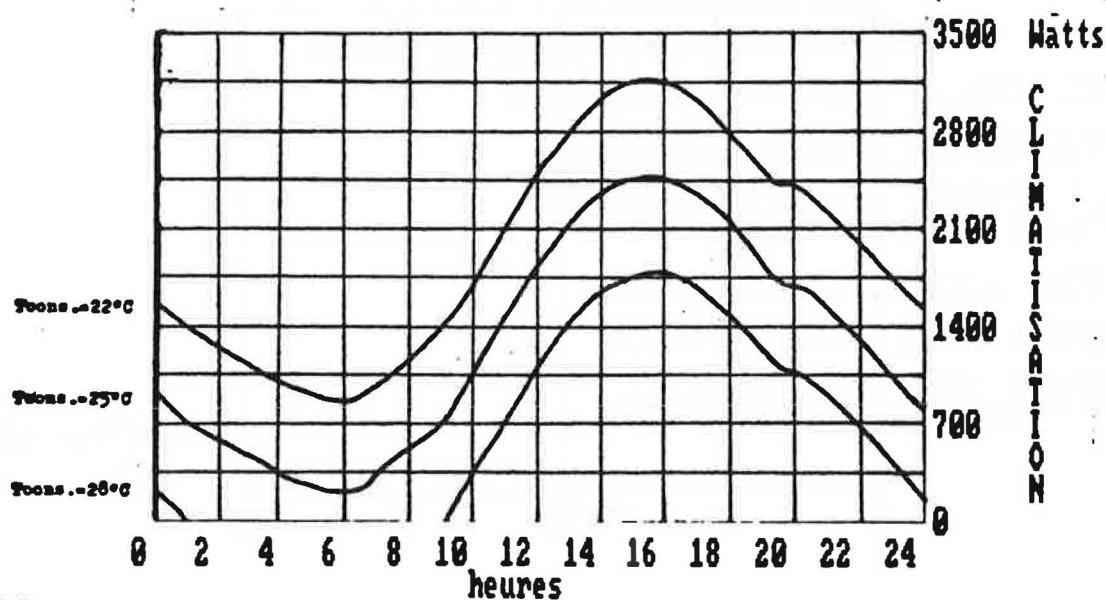


FIG 60: INFLUENCE DE LA TEMPERATURE DE CONSIGNE
SUR LA CHARGE THERMIQUE DU CLIMATISEUR
(WATT THERMIQUE)



La diminution de 1°C de la température de consigne entraîne :

- une augmentation de 5 kWh/jour de la consommation de climatisation
- une augmentation de 3 kWh/jour de la consommation de la clim pour le même local, mais isolé.

L'augmentation de la température de consigne peut se faire sans nuire au confort thermique. Par exemple, un brasseur d'air (très faible consommation d'énergie) permet de relever par le mouvement d'air qu'il assure la température de consigne sans diminuer le niveau de confort.

Le fonctionnement intermittent ou la programmation de la climatisation dans le tertiaire, permet de faire des économies d'énergie. Nous avons testé le local 2 (cas lourd) dans les conditions suivantes :

- température de consigne 25°C,
- heures de fonctionnement de la clim 9h - 21h,
- ventilation nocturne 1 vol/h ou 20 vol/h pour profiter de la fraîcheur nocturne.

	FONCTIONNEMENT climatisation permanente	FONCTIONNEMENT climatisation intermittente 9h - 21h	FONCTIONNEMENT clim 9h - 21 h (ventilation nocturne 20 volumes/h)
Local 2	32.2	26.4	25.3
Local isolé	15.3	11.8	11.2

Valeurs en kWh/jour

Dans les deux configurations (local isolé ou non), l'arrêt nocturne de l'installation permet une économie d'environ 20% de la consommation. La ventilation nocturne des locaux (20 vol/h) apporte une légère économie supplémentaire de l'ordre de 3 à 5%. (sur la consommation de climatiseur utilisé exclusivement le jour).

Cette étude souligne donc l'importance du réglage des paramètres de régulation de la climatisation. Les recommandations à retenir pour réaliser un réglage économique du climatiseur sont les suivantes :

* rechercher la température de consigne la plus élevée possible : le passage d'une température de consigne de 24 à 25°C diminue la consommation de 20%,

* privilégier, dans la mesure du possible, le fonctionnement intermittent de la climatisation : dans le tertiaire l'arrêt nocturne de l'installation permet une économies de 20% sur la consommation.

4.4. La ventilation

A l'opposé des pratiques en climatisation naturelle, la ventilation par renouvellement d'air doit au contraire être réduite au minimum (schéma 61), c'est à dire au taux de renouvellement hygiénique de l'air (environ 1 vol/h ou plus selon le nombre d'occupants). En effet, la ventilation est une source d'apports sensibles (la température extérieure est plus élevée que la température de consigne) et d'apports latents (déshumidification de l'air sur les batteries froides).

Les apports sensibles dus à la ventilation sont relativement faibles, car la température extérieure de l'air est relativement modérée (24 à 31°C). Les apports latents constituent la majorité des apports par renouvellement d'air. Ils dépendent de la température de surface des batteries froides. Quel que soit l'équilibre intérieur de l'humidité (55 % à 70 % HR), ils représentent en général au moins les 3/4 des apports par la ventilation.

Au taux de 1 vol/h, le renouvellement d'air représente 10% des apports totaux. A 5 vol/h, il peut faire doubler la consommation totale de frigories. Il est donc nécessaire de contrôler très exactement le renouvellement d'air (infiltration minimale, fermeture des ouvertures, réglage du taux de renouvellement d'air par un système fiable : VMC ou climatiseur). C'est une des grandes contraintes de la climatisation artificielle.

4.5. Protection contre l'ensoleillement

4.5.1. Couleur et isolation

Un revêtement clair (absorption 0,3) sur les surfaces extérieures, ou bien l'isolation de toutes les parois (épaisseur 5 cm) donnent des résultats probants pour réduire la consommation d'énergie (schémas 62 et 63). L'analyse localisée des économies d'énergie réalisées est résumée dans le tableau suivant :

	ISOLATION 5 cm	REVETEMENT CLAIR = 0,3
Toit	- 34%	- 30%
Mur E/O	- 18%	- 15%
Mur N/S	- 5%	- 5%
TOTAUX	- 57%	- 50%

Contrairement aux idées reçues, l'isolation n'est pas forcément plus efficace qu'un revêtement clair (rapelons que l'isolation contrarie le refroidissement nocturne des parois et empêche l'évacuation des apports internes).

On peut même établir une échelle "absorption / épaisseur d'isolant" d'action équivalente :

ABSORPTION	0.2	0.25	0.3	
Epaisseur isolant en cm	10	7	3.5	cm
Consommation correspondante	10.5	12	15	kWh/j

4.5.2 - Masques intégrés

L'impact d'un pare soleil (d'une avancée de 1m.) sur les ouvertures S et N du local 2 est d'environ 5% sur la consommation du climatiseur (cf tableau)

L'action conjuguée de débords de toiture sur les murs (N.S.E.O.) - avancée 1m - et de pare soleil sur les ouvertures contribuent jusqu'à 15 à 18% dans la diminution de la charge.

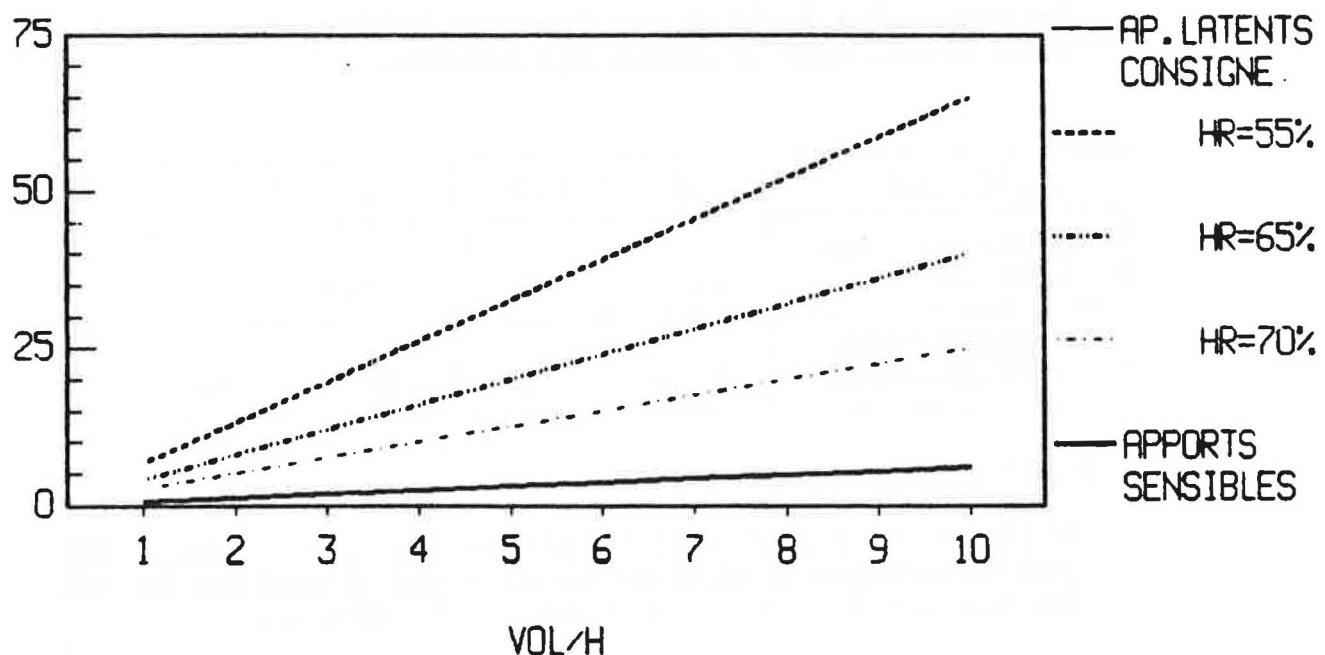
. Action des pare-soleil sur les ouvertures

Consommation clim.

Référence	30,6 kWh/j
Pare-soleil Av. = 0,5 m	29,7
Pare-soleil Av. = 1 m	29,1

**FIG. 61: CHARGE THERMIQUE JOURNALIERE
DUE A LA VENTILATION
(APPORTS SENSIBLES ET LATENTS)**

KWh TERMIQUE



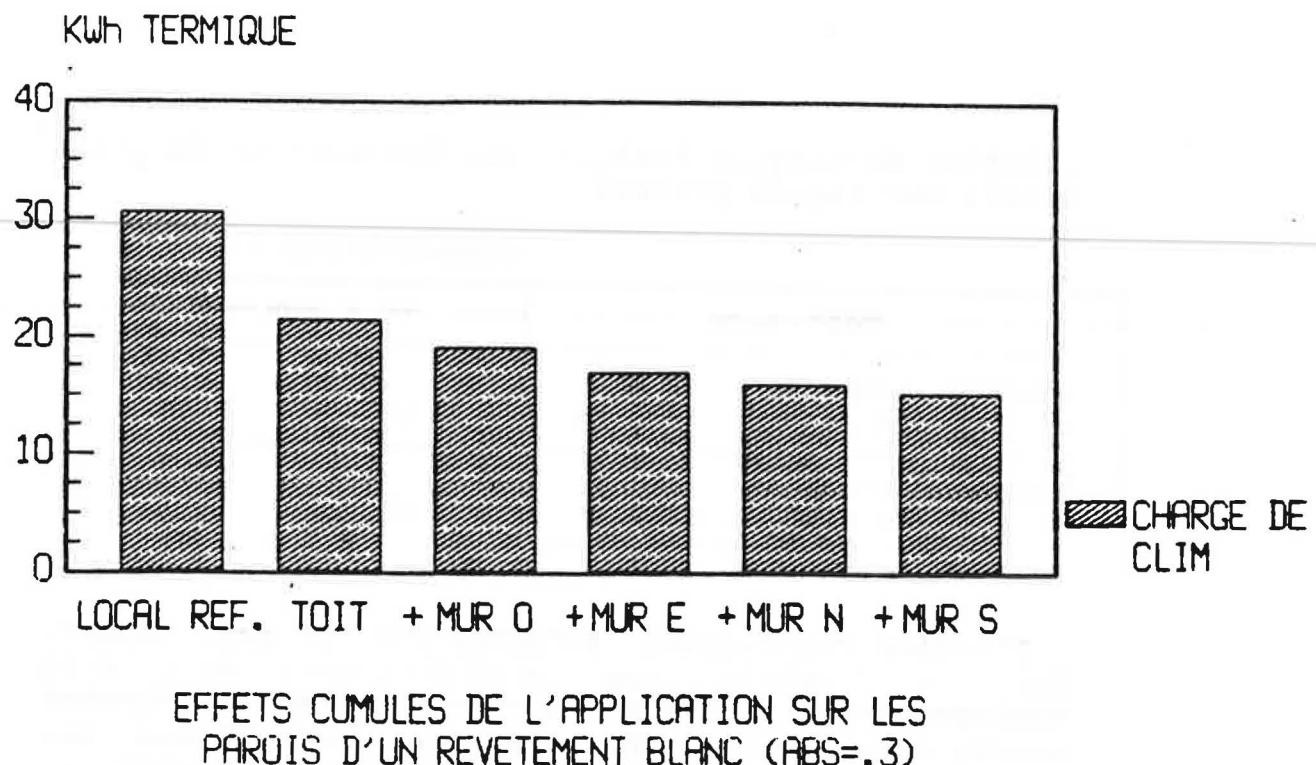
. Action de masques intégrés sur les murs et de pare-soleil sur les ouvertures

Consommation clim.

Référence	30,6 kWh/j
Masques intégrés et pare-soleil Av. = 0,5 m	26,1
Masques intégrés et pare-soleil Av. = 1 m	25,4

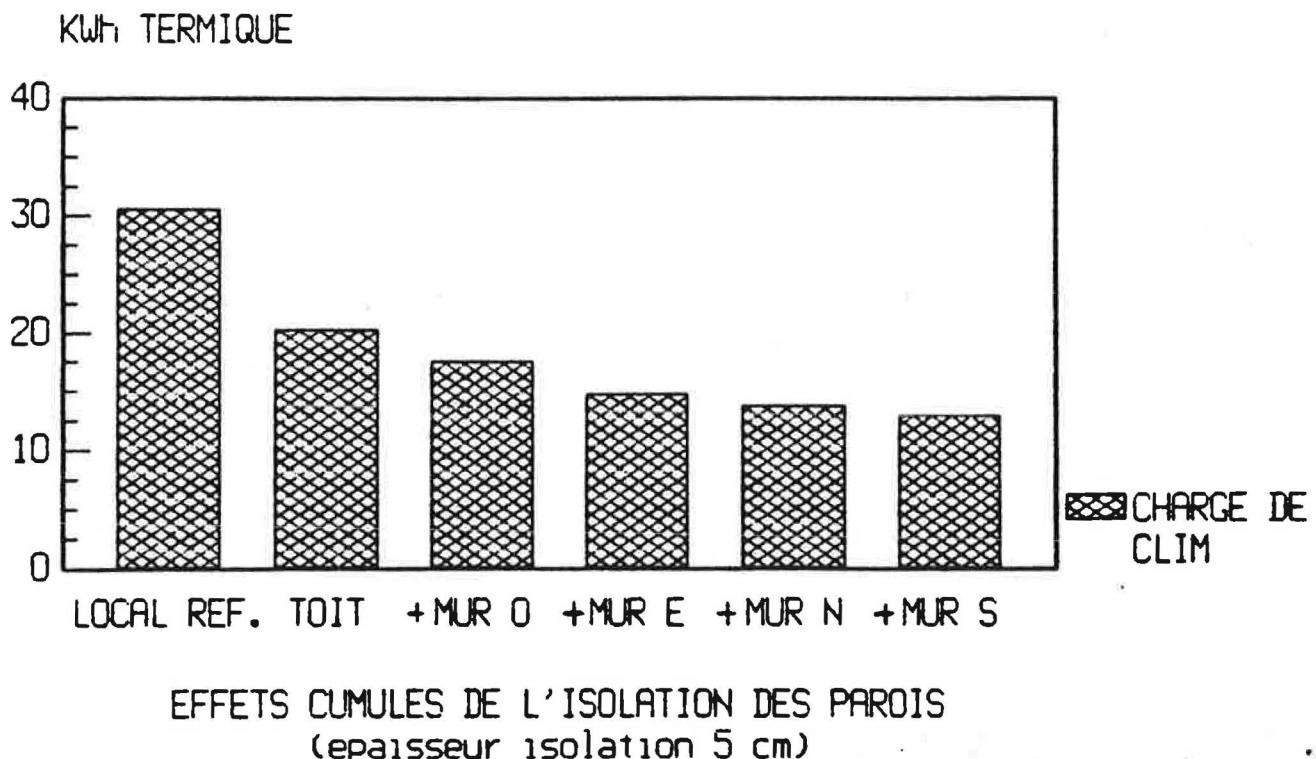
. L'action des masques intégrés sur les murs apportent peu d'amélioration lorsque ceux-ci sont déjà protégés d'une manière ou d'une autre (revêtement blanc, isolation..). Par contre, les pare-soleil sur les ouvertures - moyen privilégié pour limiter le flux thermique à travers les ouvertures - contribuent quelque soit le niveau de protection du bâtiment à une part substantielle de l'économie d'énergie dans le bâtiment.

FIG 62: INFLUENCE D'UN REVETEMENT EXTERIEUR CLAIR SUR LA CHARGE THERMIQUE D'UN LOCAL



EFFETS CUMULES DE L'APPLICATION SUR LES PAROIS D'UN REVETEMENT BLANC ($\text{ABS}=.3$)

FIG 63: INFLUENCE DE L'ISOLATION SUR LA CHARGE THERMIQUE D'UN LOCAL



4.6 - SYNTHESE DES RESULTATS

les propositions que nous avons formulées peuvent être résumées ainsi :

	RECOMMANDATIONS	DES CHIFFRES
ORIENTATION	Plan de masse E/O, ouvertures aux S et N	plans E/O 2 à 3 fois plus exposés que N/S
MATERIAUX	<u>Matériaux lourds</u> pour diminuer le dimensionnement de l'installation de climatisation.	dimensionnement installation local local léger ----- lourd : 2
PROTECTIONS DU BATIMENT	<ul style="list-style-type: none"> * toiture : <u>isolation ou double toiture</u> * murs : revêtement blanc (absorption 0,4) ou isolation * pare soleil sur les ouverture S/N (1m) * minimiser <u>la surface des ouvertures</u> 	jusqu'à 30% d'économie jusqu'à 25% d'économie 5% d'économie moins de 20 à 25% des façades
FONCTIONNEMENT DE LA CLIMATISATION	<ul style="list-style-type: none"> * température de consigne la plus élevée possible (25°C suffit en général) * fonctionnement intermittent des locaux occupés partiellement. 	24°C ----- 25°C - 20% cons. Economie de 20%
VENTILATION RENOUVELLEMENT D'AIR	<ul style="list-style-type: none"> * à réduire <u>au minimum</u> : 1 vol/h (renouvellement d'air hygiénique) * -- implique un contrôle strict des infiltrations d'air. 	+1 vol/h = +20% consommation.

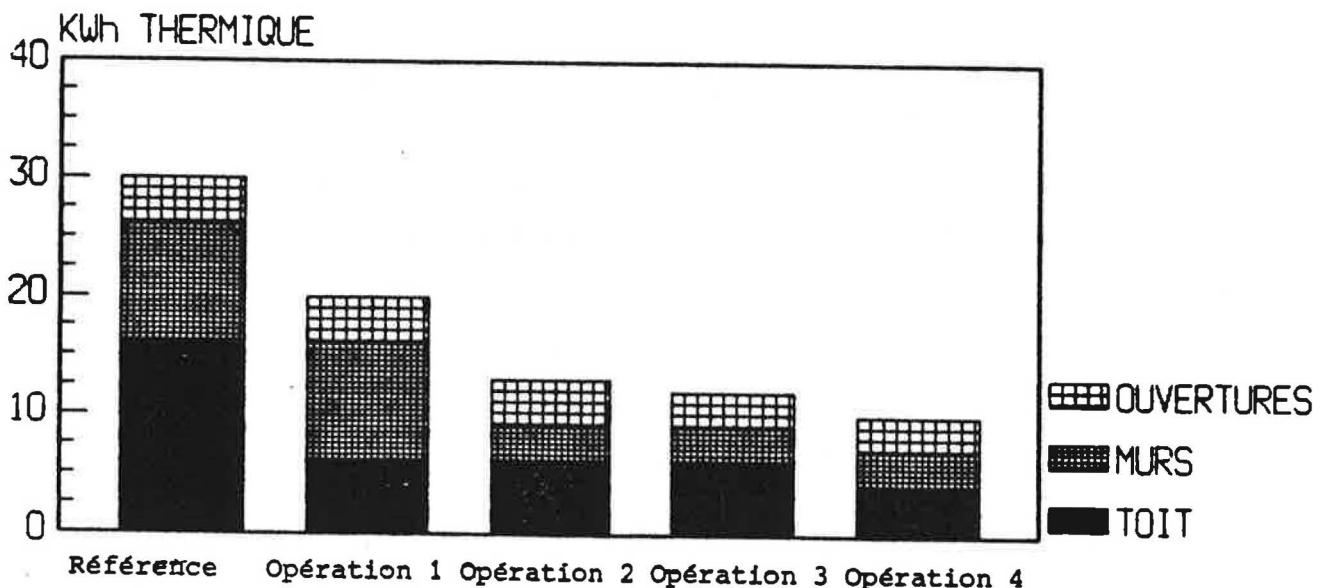
L'application successives de ces recommandations sur le local lourd donnent les résultats suivants :

TOIT	MURS VERTICAUX	VITRAGES	CLIMATISATION	CONSOMMATION EN kWh THERMIQUE
Dalle béton 10cm	Parpaings (20cm) foncés	N/S 20-25% façades	Consigne 25°C	30.6
Isolation 5 cm	"	"	"	20.2
Isolation 5 cm	Blancs (abs.=0.4)	"	"	14.3
Isolation 5 cm	Isolation 5 cm	"	"	12.9
Isolation 5 cm	Blancs (abs.=0.3)	"	"	12.8
Isolation 5 cm	Blancs ou isolés	pare soleil:1m	"	11.8
Isolation 10 cm	Blancs ou isolés	pare soleil	"	10.5
Isolation 10 cm	Blancs ou isolés	pare soleil	intermittente 9-12h	8.4

* le renouvellement du local est supposé réglé strictement à 1 vol/h

Ces simulations démontrent qu'il est possible, en appliquant les recommandations citées ci-dessus de diviser par 3 la consommation d'un local climatisé en permanence. Pour tenir compte des particularités de bâtiments réels, un diagnostic thermique doit être effectué préalablement, pour sélectionner parmi ces recommandations celles qui s'imposent en priorité compte tenu du temps de retour de chaque intervention. Mais en règle générale pour un bâtiment à un niveau, la définition des priorités d'interventions suit l'ordre établi au schéma 64.

FIG 64: INTERVENTIONS PRIORITAIRES DANS L'HABITAT CLIMATISE



* REFERENCE → OPERATION 1

LES APPORTS PAR LE TOIT SONT LES PLUS IMPORTANTS (PLUS DE 50%) :
L'ACTION PRIORITAIRE CONSISTE A ISOLER LE TOIT (DE 5 CM)

* OPERATION 2

UNE FOIS LE TOIT ISOLE, LES APPORTS PAR LES MURS REPRÉSENTENT
LE POURCENTAGE LE PLUS IMPORTANT : L'ACTION LA PLUS APPROPRIÉE
EST DONC L'APPLICATION D'UN REVÊTEMENT BLANC EXTÉRIEUR ($\alpha = 0,3$)

* OPERATION 3

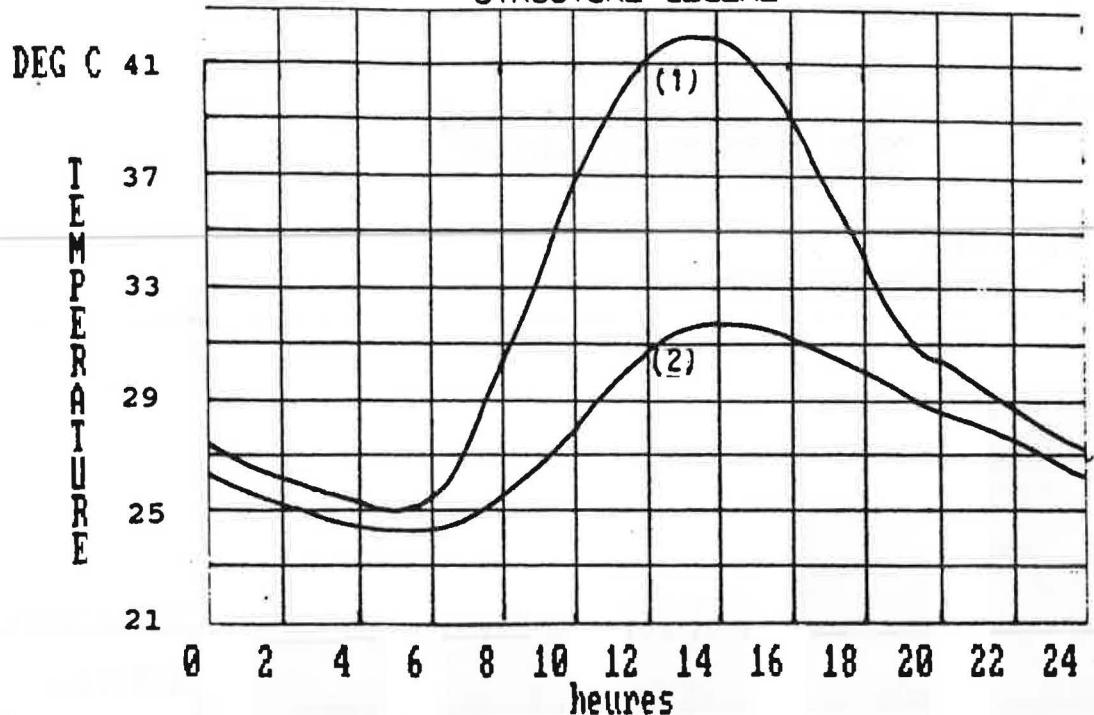
A CE STADE LES APPORTS PAR LES OUVERTURES CONTRIBUENT DANS UNE
PART NON NÉGLIGEABLE DANS LA CHARGE THERMIQUE : DES PARE SOLEIL
REDUISENT LES APPORTS PAR LES VITRAGES (AVANCEE 1 M)

* OPERATION 4

LES APPORTS PAR LA TOITURE REDEVIENNENT LES PLUS IMPORTANTS :
ON RENFORCE L'EPAISSEUR D'ISOLANT (10 CM).

ETC...

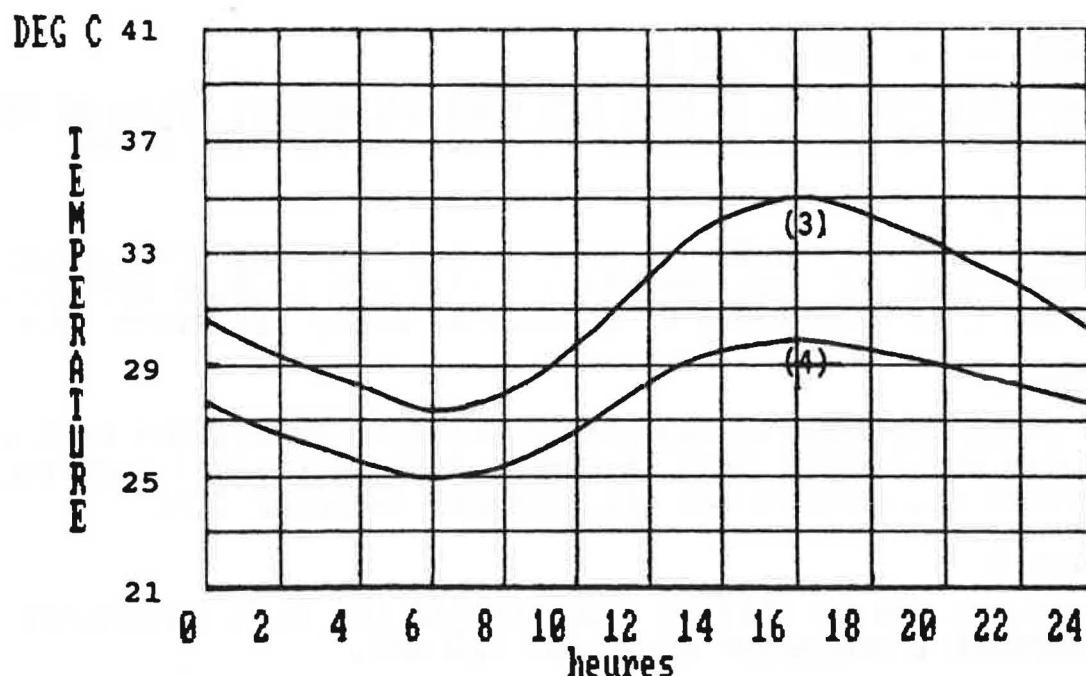
FIG 54: RESULTATS OBTENUS PAR UNE BONNE CONCEPTION CLIMATIQUE D'UN LOCAL EN STRUCTURE LEGERE



(1) LOCAL LEGER DE REFERENCE
(annexe 1)

(2) SOLUTION LEGERE : TOIT AVEC COMBLE VENTILE, MURS BLANCS, VENTILATION=50 vol/h

FIG 54 bis : RESULTATS OBTENUS PAR UNE BONNE CONCEPTION CLIMATIQUE D'UN LOCAL EN STRUCTURE LOURDE



(3) LOCAL LOURD DE REFERENCE
(annexe 2)

(4) SOLUTION LOURDE : TOIT ISOLE (5 CM)
MURS BLANCS, VENTILATION=50 vol/h

CONCLUSION

La méthodologie comparative adoptée pour cette étude introduit un éclairage nouveau dans le domaine de la conception climatique de l'habitat dans les DOM-TOM. Axé sur la quantification et la hiérarchisation de recommandations constructives simples, ce guide peut servir de support efficace pour la diffusion des techniques permettant d'accéder à un confort thermique suffisant sans recourir aux systèmes coûteux - pour l'individu comme pour la collectivité - de conditionnement d'air.

De par sa structure, ce document ouvre un large éventail d'utilisations. Il permet au concepteur d'évaluer aussi bien l'influence d'un paramètre d'un élément de l'enveloppe que d'un ensemble de paramètres d'un local entier. Son domaine d'application concerne à la fois :

- habitat et tertiaire existants : l'amélioration de ce type de bâtiment est toujours possible, même si certaines contraintes technico-économiques excluent l'application de quelques recommandations du type optimisation géométrique, orientation.. Ce document permet de sélectionner et d'évaluer l'impact des recommandations applicables à ce type de bâtiment.

- habitat et tertiaire neufs : l'application de principes simples contenus dans ce document est de nature à faciliter le développement d'une construction répondant au double critère de confort thermique et d'économie d'énergie, préservant le maître d'ouvrage de l'impact de contraintes extérieures (prix de l'énergie, frais d'exploitation d'installation thermique..).

Compte tenu de l'importance de l'ensoleillement (90% des apports thermiques) dans l'origine des surchauffes à l'intérieur des locaux, les recommandations relèvent en grande partie du domaine de la protection solaire. La ventilation naturelle des locaux joue aussi un rôle fondamental pour l'établissement de conditions de confort thermique agréable:

- elle évacue l'excès de charge thermique (débit renouvellement d'air 20 à 50 Vol/H)

- elle rentabilise le processus de sudation pour des températures intérieures au delà de 28-29 °C (vitesses d'air de 1 m/s).

Malheureusement, cette dernière est tributaire de nombreux paramètres non contrôlables comme le potentiel du site, l'environnement, le bruit, la pollution, les variations temporelles du vent. Aussi, nous avons montré pour les sites peu venteux ou à fortes contraintes (bruit, pollution) qu'il était possible en jouant essentiellement sur la protection solaire d'améliorer considérablement le confort thermique.

L'application des mesures préconisées sur deux types de bâtiments courants :

- structure légère : toit tôle, murs en bois
- structure lourde : dalle béton, murs parpaings.

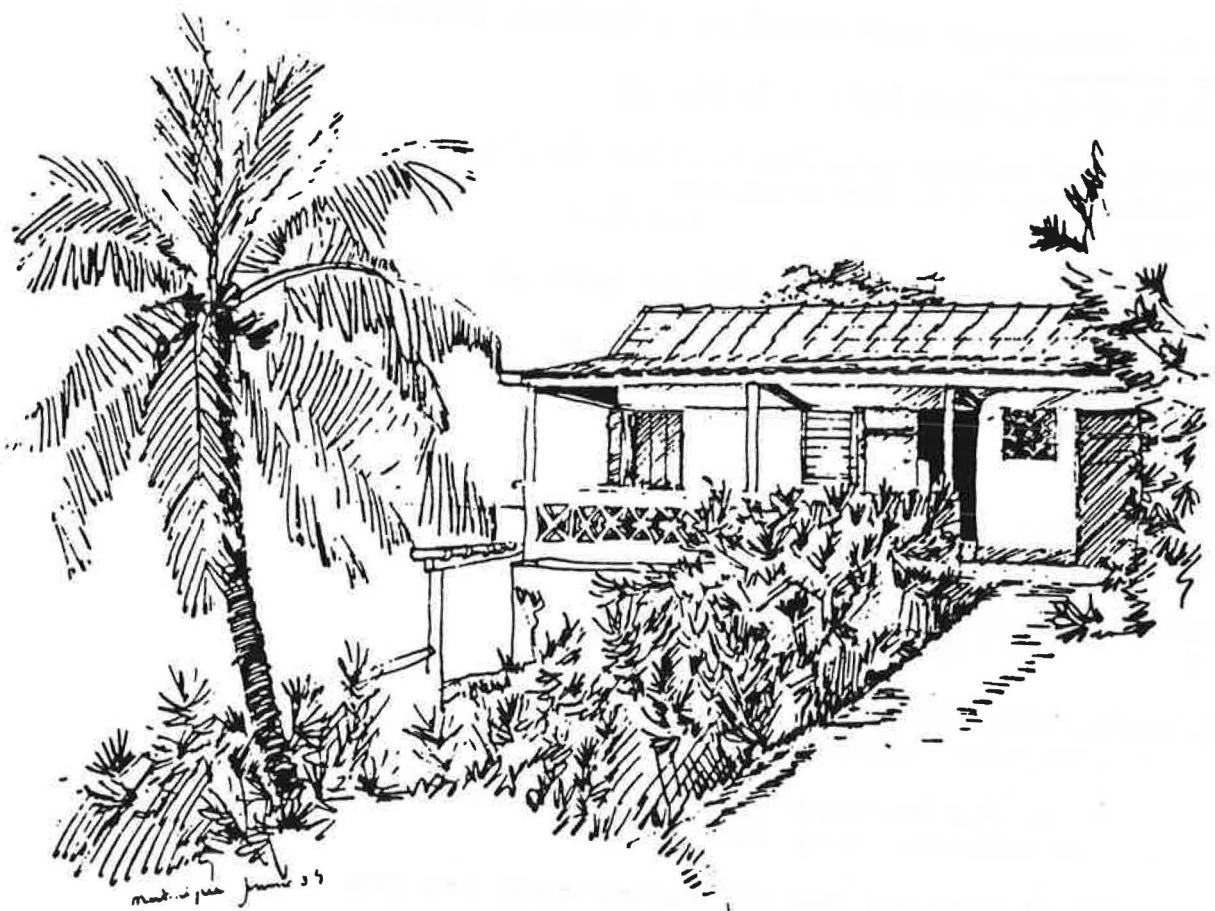
met en évidence des résultats probants : une diminution respective de 7 et 4°C de la température résultante moyenne et l'assurance d'une température intérieure maximale inférieure à 30 - 31 °C.

La construction en matériaux légers est particulièrement indiquée pour les locaux d'habitation (notamment pour les conditions nocturnes). Les structures lourdes conviennent mieux aux bâtiments du tertiaire qu'ils soient climatisés artificiellement (dimensionnement moindre de la climatisation) ou non (pointes de température atténuées le jour).

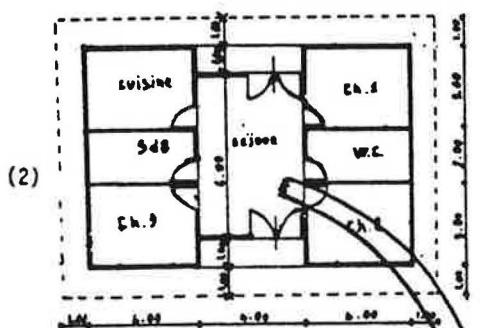
En matière de climatisation mécanique, la croissance alarmante annuelle en équipement - 30 à 50% dans les DOM-TOM - nous a conduit à consacrer un chapitre entier aux contraintes d'utilisation, aux adaptations constructives de l'habitat, aux réglages économiques des consignes des appareils. L'application de bonnes règles d'usage, sur la base d'un local adapté permet de réduire dans un rapport pouvant aller jusqu'à 3 la consommation frigorifique journalière. Mais compte tenu des résultats que nous avons mis en évidence dans les DOM-TOM, la meilleure solution reste le recours privilégié à la climatisation naturelle, tout au moins dans l'habitat.

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- (1) Recommandations pour la conception thermique au Sénégal
Rapport d'étude - ABDESELAM M. - E.N.S.M.P - Avril 86
- (2) Elaboration d'un logiciel sur micro ordinateur pour l'aide à la conception en pays tropical sec.
WATREMEZ-NEIRAC-CAMPANA . E.N.S.M.P - Avril 85
- (3) Aide à la conception thermique de l'habitat courant en Afrique tropicale.
C.E.B.T.P.-U.T.I.-L.B.T.P. - Avril 85
- (4) Exemples de solutions architecturales développant la ventilation naturelle aux Antilles
GANDEMÉR-BARNAUD C.S.T.B 85
- (5) Cartographie des caractéristiques du vent en Martinique et en Guadeloupe
DELAUNAY C.S.T.B 86
- (6) Bioclimatisme en zone tropicale
GRET - 1986
- (7) Le confort dans l'habitat
DREYFUS J. - Editions EYROLLES - 1960
- (8) L 'homme, l'architecture et le climat
GIVONI B. - Editions du MONITEUR - 1978
- (9) Publications REXCOOP
 - Séminaire habitat climatique du 21.12.83 et 10.05.84
 - Séminaire habitat climatique du 16.08.84
 - Publication avril 1985
- (10) Conception climatique des bâtiments dans les DOM
CAMPANA-GREAUME-TREISNEL . AFME - 1985
- (11) Travaux de recherche sur la minimisation de la charge thermique de l'habitat dans la région Antilles Guyane.
Thèse de Docteur Ingénieur - MOLLE N. - Juin 84
- (12) Ventilation naturelle
Groupe de travail "habitat climatique" - AFME - 1984
- (13) Modélisation de la ventilation naturelle à l'intérieur des locaux en climat tropical humide CERMA - Novembre 85 contrat AFME
- (14) Contribution aérodynamique à l'étude de la ventilation naturelle de l'habitat en climat tropical humide
Gilles GOUIN - CSTB Nantes - 1984

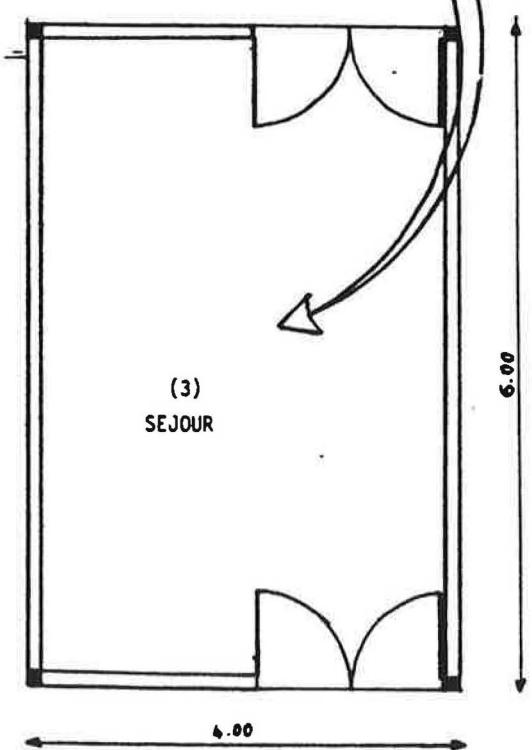


CARACTERISTIQUES DES LOCAUX

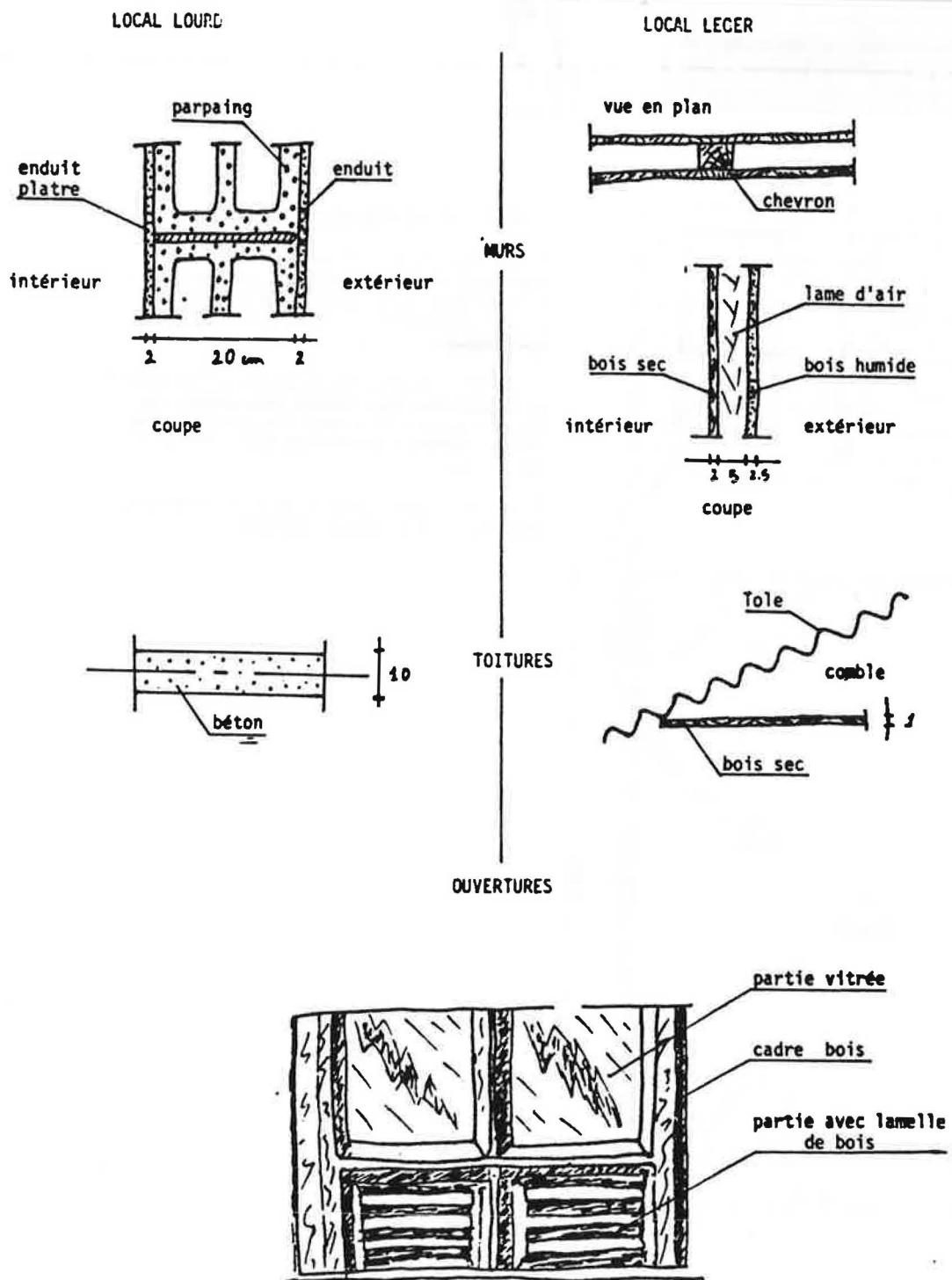


GENERALITES ET HYPOTHESES DE TRAVAIL

- * Les croquis 1 et 2 sont donnés à titre indicatif. Pour l'essentiel, le schéma de base à considérer pour cette étude est le 3. Il est représentatif d'une pièce d'un logement quelconque.
- * Le local (option lourd ou léger) est exposé à l'extérieur pour toutes les parois, de façon à ouvrir le champ des possibilités d'études (plans d'exposition EST - OUEST - NORD - SUD).
- * Les ouvertures peuvent être indifféremment des fenêtres ou des porte-fenêtres.



MATERIAUX



ANNEXE 1 : Caractéristiques du local lourd

DONNEES CLIMATIQUES (suite) Cf. Manuel de l'utilisateur CASAMO-CLIM

SURFACES MASQUEES (10 au maximum)

SURFACE MASQUEE N°.	1	2	3	4	
Nom	ARETE SUD	ARETE OUEST	ARETE NORD	ARETE EST	
Numéro de plan	2	3	4	1	
Largeur (m)	4	6	4	6	
Hauteur (m)	2.8	2.8	2.8	2.8	
Type masque intégré	2	2	2	2	
Débord droit	0.5	0.5	0.5	0.5	
Débord gauche	0.5	0.5	0.5	0.5	
Distance à arête horizont	0	0	0	0	
Avancée arête hor.	1	1	1	1	
Avancée arête ver. droite					
Avancée arête ver. gauche					

• Noca:

- 1: Arête verticale 2: Arête horizontale
3: Fenêtre en retrait 4: Arête horizontale + verticale
0: Inexistant

MASQUES LOINTAINS: (.6 au maximum)

B DEFINITION DU LOCAL

Cf. Manuel de l'utilisateur
CASAMO-CLIM

DONNEES GENERALES SUR LE LOCAL

Nom	:	PIECE PRINCIPALE
Volume (m³)	:	67.2
surface (m²)	:	24
Heure début période jour	:	8
Heure début période nuit	:	21
Volume comble (0 si inexistant)	:	15
Commentaire	:	OUVERTURES N/S DE 20% A 40% SELON LE CAS

PAROIS OPAQUES (10 au maximum)

PAROI N°.	1	2	3	4	5	6	
	SUD	OUEST	NORD	EST	PLANCHER	TOIT	
suation (1,2,3)	1	1	1	1	1	3	
face (m²)	11.2	16.8	11.2	16.8	24	24	
e (1,2,3,ou 4)	1	1	1	1	3	4	
voisine (TEM)	E	E	E	E	-	-	
orption solaire e interne	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	
orption solaire e externe	0.7	0.7	0.7	0.7	-	0.7	
issivité GLO e interne	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
issivité GLO e externe	0.92	0.92	0.92	0.92	-	0.92	
éro de plan	2	3	4	1	-	-	
éro de surf. iquée	1	2	3	4			

NOTA:

SITUATION : 1 Local
2 Local-comble
3 Comble

TYPE : 1 Mur vertical
2 Plancher sur vide
3 Plancher sur terre
4 Plafond, toit, faux-plafond

DEFINITION DU LOCAL (suite / CASAMO-CLIM)

COMPOSITION DES PAROIS:

PAROI	NOM	EPAISSEUR (mm)	CONDUCTIVITE (W/mm°C)	RESIST. THERM. (m²°C/W)	MASSE VOLU. (kg/m³)	CAPACITE CAL. (J/kg.°C)
ET 4 S CALES)	ENDUIT PLAT. AGGLO. CIM. MORTIER CIM.	0.02 0.20 0.02	0.35 1.15	0.04 0.16 0.01	1300 1400 2000	900 920 880
ER)	CARRELAGE BETON LOURD	0.05 0.10	1.15 1.75	0.04 0.06	1800 2300	900 962
BETON)	BETON LOURD	0.10	1.75	0.06	2300	962

OUVERTURES (5 au maximum)

VERTURE N°.	1	2		
	FEN. SUD	FEN. NORD		
face hors tout (m²)	2.34	2.34		
méro plan	2	4		
méro surf. masquée	1	2		
eff. de menuiserie	0.9	0.9		
nombre de vitres	1	1		
transmission du direct	0.85	0.85		
transmission du diffus	0.75	0.75		
coeff. de voilage	1	1		
coeff. K jour (W/m²°C)	4.2	4.2		
coeff. K nuit (W/m²°C)	4.2	4.2		

DEFINITION DU LOCAL (suite) Cf. Manuel de l'utilisateur CASAMO-CLIM

APPORTS INTERNES

	PIUSSANCE MAXI.	N° PROFIL DE REPARTITION
Nombre d'occupants	2	1
Eclairage (W)	200	2
Appareils ménagers (W)	-	-
Autre source (W)	-	-

VENTILATION

	PERIODE JOUR	PERIODE NUIT
Indice d'intensité(la3)	2	2
Ventilation ext-loc *	135	135
Ventilation comble *	30	30

*Nota: Les débits sont à donner en (m³/h)

CLIMATISATION

Système de climatisation (oui/non) :

Si oui

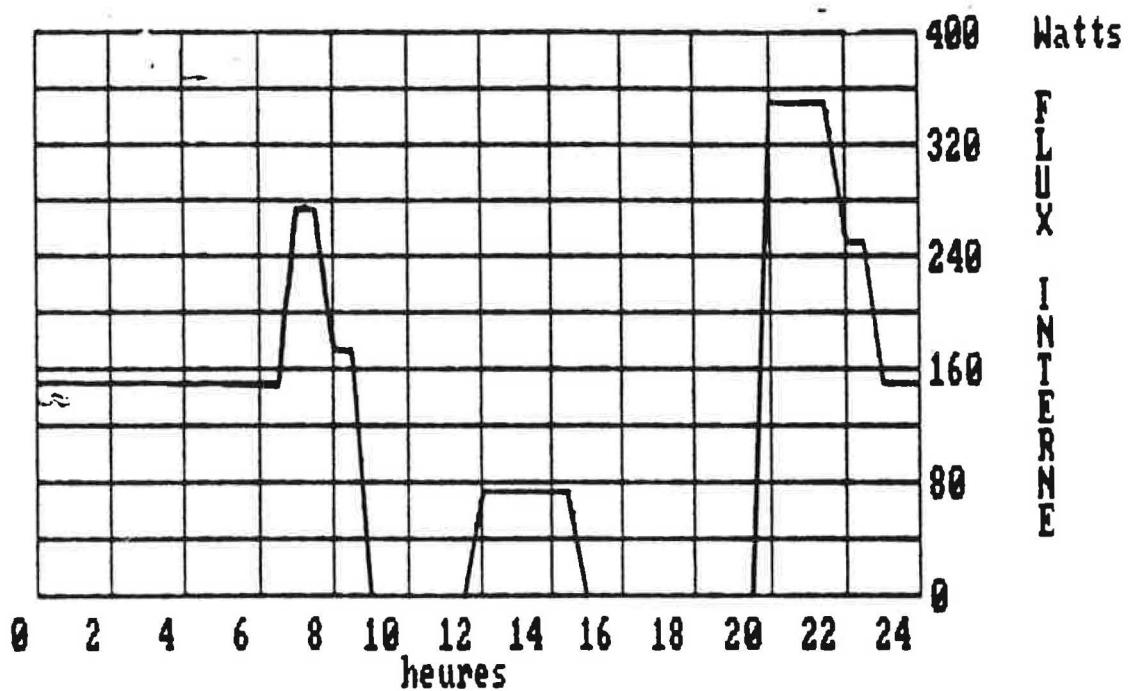
Température de consigne (°C) : 25

Humidité de consigne (%) : 55

Puissance maximale (W) : -

Heure début fonctionnement (TSV) : -

APPORTS INTERNES



ANNEXE 2 : Caractéristiques du local léger

DONNEES CLIMATIQUES (suite) cf. Manuel de l'utilisateur CASAMO-CLIM

SURFACES MASQUEES (10 au maximum)

SURFACE MASQUEE N°.	1	2	3	4	
Nom	ARETE SUD	ARETE OUEST	ARETE NORD	ARETE EST	
Numéro de plan	2	3	4	1	
Largeur (m)	4	6	4	6	
Hauteur (m)	2.8	2.8	2.8	2.8	
Type masque intégré *	2	2	2	2	
Débord droit	0.5	0.5	0.5	0.5	
Débord gauche	0.5	0.5	0.5	0.5	
Distance à arête horizont	0	0	0	0	
Avancée arête hor.	1	1	1	1	
Avancée arête ver. droite					
Avancée arête ver. gauche					

• Nota:

- 1: Arête verticale 2: Arête horizontale
3: Fenêtre en retrait 4: Arête horizontale + verticale
0: Inexistant

MASQUES LOINTAINS: (6 au maximum)

B DEFINITION DU LOCAL

Cf. Manuel de l'utilisateur
CASAMO-CLIM

DONNEES GENERALES SUR LE LOCAL

Nom	:	PIECE PRINCIPALE
Volume (m³)	:	67.2
surface (m²)	:	24
Heure début période jour	:	8
Heure début période nuit	:	21
Volume comble (0 si inexistant)	:	15
Commentaire	:	OUVERTURES N/S DE 20% A 40% SELON LE CAS

PAROIS OPAQUES (10 au maximum)

PAROI N°.	1	2	3	4	5	6	7	
NOM	SUD	OUEST	NORD	EST	PLANCHER	FAUX PLAFOND	TOIT	
SITUATION (1,2,3)	1	1	1	1	1	2	3	
Surface (m²)	11.2	16.8	11.2	16.8	24	24	28	
Type (1,2,3,ou 4)	1	1	1	1	3	4	4	
Amb. voisine (E,I,TEM)	E	E	E	E	-	-	E	
Absorption solaire face interne	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	
Absorption solaire face externe	0.7	0.7	0.7	0.7	-	0.5	0.6	
Emissivité GLO face interne	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	
Emissivité GLO face externe	0.92	0.92	0.92	0.92	-	0.92	0.92	
Numéro de plan	2	3	4	1	-	-	5	
Numéro de surf. masquée								

NOTA:

SITUATION : 1 Local
2 Local-comble
3 Comble

TYPE : 1 Mur vertical
2 Plancher sur vide
3 Plancher sur terre
4 Plafond, toit, faux-plafond

DEFINITION DU LOCAL (suite)

Cf. Manuel de l'utilisateur
CASAMO-CLIM

COMPOSITION DES PAROIS:

NUMERO PAROI	NOM	EPAISSEUR (mm)	CONDUCTIVITE (W/mm.C)	RESIST. THERM. (mm2.C/W)	MASSE VOLU. (kg/m3)	CAPACITE CAL. (J/kg.C)
1,2,3,ET 4 (PAROIS VERTICALES)	1 BOIS SEC 2 VIDE AIR 3 BOIS HUM.	0.02 0.05 0.03	0.15 -	0.11 0.18 0.11	600 100 900	1200 10 1880
5 (PLANCHER)	1 CARRELAGE 2 BETON LO.	0.05 0.10	1.15 1.75	0.04 0.06	1800 2300	900 962
6 (FAUX-PLAF)	1 BOIS C-PL	0.01	0.15	0.07	600	1200
7 (TOIT)	1 TOLE	0.0003	70.0	0.0	7800	800

OUVERTURES (5 au maximum)

OUVERTURE N°.	1	2			
Nom	FEN. SUD	FEN. NORD			
Surface hors tout (m2)	2.34	2.34			
Numéro plan	2	4			
Numéro surf. masquée	1	2			
Coeff. de menuiserie	0.9	0.9			
Nombre de vitres	1	1			
Transmission du direct	0.85	0.85			
Transmission du diffus	0.75	0.75			
Coefficient de voilage	1	1			
Coeff. K jour (W/m2.C)	4.2	4.2			
Coeff. K nuit (W/m2.C)	4.2	4.2			

DEFINITION DU LOCAL (suite)

Cf. MANUEL DE L'UTILISATEUR
CASAMO-CLIM

APPORTS INTERNES

	PIUSSANCE MAXI.	N° PROFIL DE REPARTITION
Nombre d'occupants	2	1
Eclairage (W)	200	2
Appareils ménagers (W)	-	-
Autre source (W)	-	-

VENTILATION

	PERIODE JOUR	PERIODE NUIT
Indice d'intensité(la3)	2	2
Ventilation ext-loc *	135	135
Ventilation comble *	30	30

* Nota: Les débits sont à donner en (m³/h)

CLIMATISATION

Système de climatisation (oui/non) :

Si oui

Température de consigne (°C) : 25

Humidité de consigne (%) : 55

Puissance maximale (W) : -

Heure début fonctionnement (TSV) : -

COEFFICIENTS D'ABSORPTION DU RAYONNEMENT DE QUELQUES
MATERIAUX ET PEINTURES

<u>Matériaux</u>	
Béton brut	0,60
Plâtre	0,07
Brique rouge	0,55
Ardoise	0,89
Asphalte	0,93
<u>Peintures</u>	
· <u>à l'huile</u>	
noire	0,90
bleue	0,80
rouge	0,74
gris clair	0,50 à 0,75
verte	0,50
blanc crème	0,30 à 0,35
· <u>laques cellululosiques</u>	
noire	0,94
bleu foncé	0,91
bleu ciel - vert sombre	0,88
marron - vert	0,79
rouge sombre	0,57
rouge vif	0,44
orange	0,41
jaune	0,33
blanche	0,12

ANNEXE 3

CARACTERISTIQUES THERMIQUES DE QUELQUES MATERIAUX
DE CONSTRUCTION (à titre indicatif)

MATERIAU	MASSE VOLUMIQUE kg/m ³	CONDUCTIVITE W/m°.C
Béton	2200 à 2400	0,9 à 1,7
Pierre calcaire	1650 à 2580	1,05 à 2,2
Terre cuite	1800 à 2000	1,15
Mur brique pleine	1850	0,85
Mur brique creuse	1200	0,40
Parpaings pleins	2100	1,1
Parpaings creux	1250	0,67
Enduit mortier	1800 à 2100	1,15
Enduit plâtre	1450	0,46
Bois naturel	300 à 750	0,12 à 0,23
Liège	100 à 250	0,043 à 0,048
Polystyrène expansée	9 à 35	0,036 à 0,044
Laine de verre	100 à 300	0,040
Mousse de polyméthane	30 à 60	0,029 à 0,033

Pour plus de précisions, se reporter aux règles Th-K-77, Chapitre III.

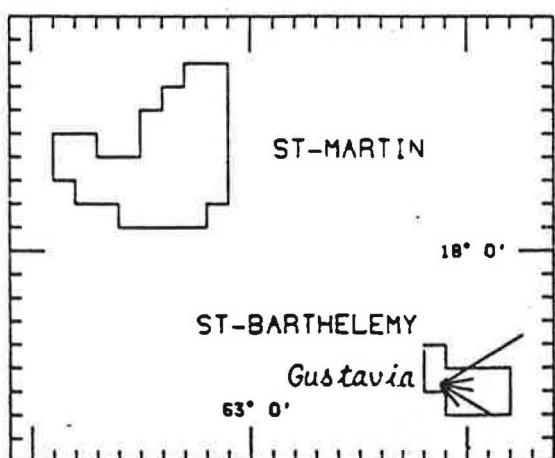
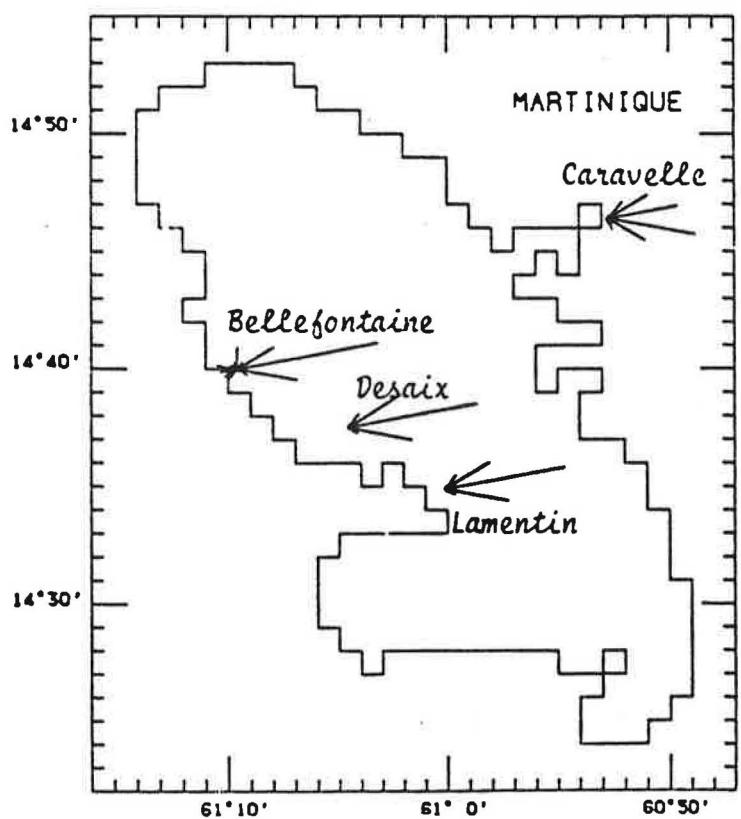
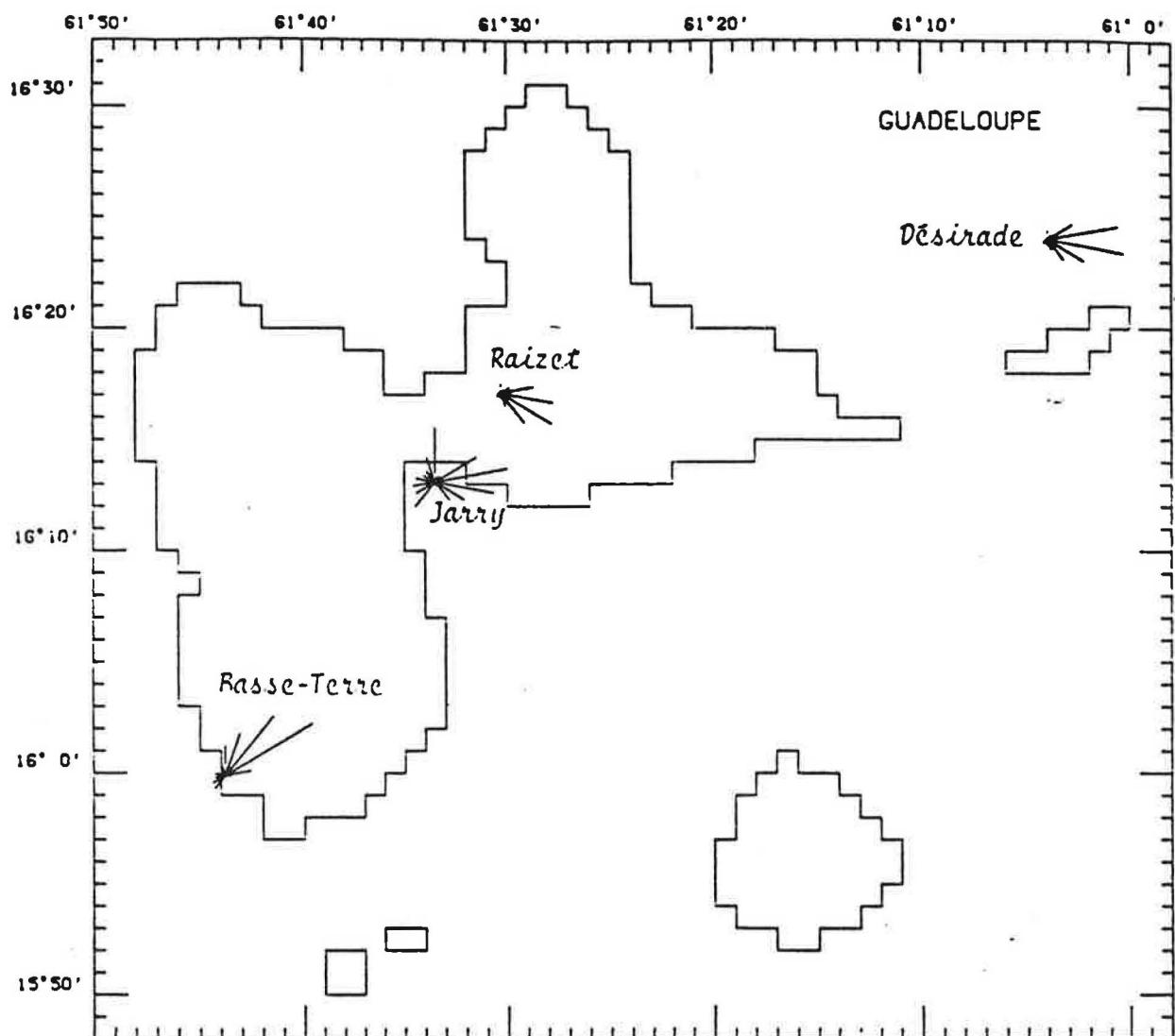
ALBEDO DU SOL	
Bâtiments, sable humide, rochers	: 0.8 à 0.15
Asphalte, sol nu sec	: 0.15 à 0.25
Couche de neige fraîche	: 0.80 à 0.90
Couche de neige vieillie	: 0.60 à 0.70
Sol cultivé naturel	: 0.10 à 0.25
Terre sableuse	: 0.15 à 0.25
Sable clair, herbes sèches	: 0.25 à 0.40
Prairies, herbages	: 0.15 à 0.30
Etendue d'eau	: 0.05 (été) à 0.12 (hiver)

TYPES DE FENETRES

	Type d'ouvrant		Matériaux	<u>Surface en clair</u> <u>Surface en tableau</u>
1	Battant	fenêtre	bois et métal	70 %
2		porte-fenêtre avec soubassement	bois	63 %
3		porte-fenêtre sans soubassement	bois et métal	74 %
4	Coulissant	fenêtre	métal	77 %
5		porte-fenêtre	bois	74 %
6			métal	83 %

D'après règles Th B-82 du CSTB

ANNEXE 4 : Caractéristiques des vents



Rose des vents aux stations
(secteurs de 20°)

0 10 km

direction (degrés)	20 40	60 80	100 120	140 160	180 200	220 240	260 280	300 320	340 360	calmes	
LAMENTIN	7 3.7	57 5.8	25 6.2	2 4.5	1 4.9	0	0	0	0	8	(1) (2)
DESAIX	7 6.3	65 5.8	25 6.3	1 5.0	0	0	0	0	0	1	(1) (2)
CARAVELLE	9 7.7	38 8.1	43 6.1	6 6.3	2 8.8	1 5.9	0	0	1 3.8	1	(1) (2)
BELLEFONTAINE	4 1.6	61 3.4	23 3.1	2 2.2	2 2.6	3 2.2	3 2.1	1 1.6	1 1.4	0	(1) (2)
RAIZET	2 3.8	16 5.6	40 5.3	18 6.7	2 5.4	1 2.9	0	0	1 4.2	20	(1) (2)
DESIRADE	3 6.6	35 7.6	43 7.3	14 6.3	3 5.7	1 6.4	0	0	1 5.3	1	(1) (2)
BASSE-TERRE	41 5.1	44 6.5	2 5.5	1 3.4	1 2.8	2 3.3	2 4.0	0	3 3.4	3	(1) (2)
JARRY	5 4.2	43 4.6	33 6.2	10 6.0	2 4.9	0	1 2.8	2 2.4	2 3.2	3	(1) (2)
GUSTAVIA	4 5.6	42 7.4	32 5.6	14 3.2	4 2.7	1 2.5	0	0	1 5.0	3	(1) (2)

(1) fréquence (%)

(2) vitesse moyenne (m/s)

Tableau 4 : FREQUENCE DES DIRECTIONS DE VENT
ET VENT MOYEN DE MESO-ECHELLE PAR DIRECTION

heure locale	2h	5h	8h	11h	14h	17h	20h	23h
LAMENTIN	3.5	3.3	4.9	8.0	8.0	6.5	4.1	4.0
DESAIX	5.2	5.3	5.5	6.8	6.9	5.9	5.5	5.6
CARAVELLE	7.1	7.1	7.2	7.0	6.8	6.6	7.0	7.2
AJOUPA-BOUILLON	3.0	2.9	3.6	5.9	5.8	4.2	3.1	3.3
DIAMANT	3.7	3.6	4.1	6.2	6.2	5.7	4.0	3.9
ST-ESPRIT	4.4	4.1	5.0	7.0	7.0	6.1	4.8	4.9
ST-JOSEPH	5.3	4.8	5.3	7.4	7.2	6.3	5.3	5.4
ST-PIERRE	3.1	3.0	3.2	5.0	5.6	5.1	4.0	3.3
MORNE PITAUT	6.1	5.9	7.3	8.4	8.4	7.2	6.2	6.5
LORRAIN	5.4	5.0	5.7	7.4	7.1	6.1	5.2	5.6
BELFON	2.5	2.5	2.4	3.9	4.3	3.8	2.7	2.5
RAIZET	2.0	2.1	4.1	8.0	8.1	6.3	2.8	2.3
DESIRADE	7.3	7.3	7.2	6.9	6.7	7.0	7.3	7.2
BASSE-TERRE	4.1	4.2	5.1	7.4	7.4	6.0	4.4	4.5
JARRY	3.5	3.5	4.9	7.5	7.4	6.1	3.7	3.6
MARIE-GALANTE	5.5	5.6	5.8	6.0	6.0	5.4	5.6	5.5
GUSTAVIA	5.3	4.9	5.7	6.4	6.4	6.1	5.3	5.7

Tableau 5 : VENT MOYEN DE MESO-ECHELLE (m/s)
en fonction de l'heure