



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 1997

Présenté par :

N'DIADE Mohamed E.H.

CONFORT THERMIQUE DANS LE BATIMENT

MENTION :

E. I. E. R.
Entrepris à l'Université
le 314/97

Encadrement
Y. COULIBALY

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	3
RESUME.....	4
INTRODUCTION.....	5
CHAP. I: ETUDE THÉORIQUE DU CONFORT THERMIQUE.....	6
I - 1 - DÉFINITION DU CONFORT THERMIQUE.....	6
I.2 - PARAMÈTRES DE CONFORT THERMIQUE.....	6
<i>I.2.1 - Paramètres physiques.....</i>	<i>6</i>
<i>I.2.2 - Paramètres subjectifs.....</i>	<i>7</i>
I 3 - L'INFLUENCE RELATIVE DE CES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES.....	7
I.4 - LA ZONE DE CONFORT PHYSIOLOGIQUE DIAGRAMME BIOCLIMATIQUE.....	8
<i>I.4.1 - Le diagramme bioclimatique.....</i>	<i>8</i>
I.5 - LES APPORTS CALORIFIQUES DANS UN BÂTIMENT.....	9
<i>I.5.1 - Définition.....</i>	<i>9</i>
<i>I.5.2 - Les différents apports calorifiques.....</i>	<i>9</i>
<i>I.5.2.1 Les apports externes.....</i>	<i>10</i>
<i>I.5.2.2 - Les apports internes.....</i>	<i>10</i>
CHAP. II: MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION AU BURKINA FASO.....	11
II.1 - MURS.....	12
II.2 - COUVERTURE.....	12
II.3 - LES OUVERTURES.....	13
II.4 - CALCUL DU COEFFICIENT GLOBAL DE TRANSMISSION.....	16
CHAP. IV: CALCUL DU BILAN THERMIQUE DANS LE BÂTIMENT A PARTIR DU LOGICIEL E20.II.....	20
III.1 - PRÉSENTATION DE E 20.II- H A P.....	20
<i>III.1.1 - Fonctionnalité de HAP.....</i>	<i>20</i>
<i>III.1.2 - Quelques faiblesses.....</i>	<i>21</i>
<i>III.1.3 - Ecran de saisie des données.....</i>	<i>22</i>
<i>III.1.4 - Ecrans des sorties des résultats.....</i>	<i>22</i>
III.2 - CALCUL DU BILAN THERMIQUE.....	22

CHAP. IV: POSSIBILITÉS D'AMÉLIORER LE CONFORT THERMIQUE DANS LE BÂTIMENT ÀU BURKINA FASO PAR SIMULATION D'EFFETS ARCHITECTURAUX.	23
IV - 1 SIMULATIONS D'EFFETS ARCHITECTURAUX.....	23
<i>IV.1.1 - Situation de base</i>	<i>23</i>
<i>IV.1.1.1 - Ses caractéristiques.....</i>	<i>23</i>
<i>IV.1.1.2 - Les fenêtres et les portes</i>	<i>23</i>
<i>IV.1.1.3 - Les apports internes:.....</i>	<i>24</i>
<i>IV.1.1.4 - L'infiltration</i>	<i>24</i>
IV -2- POSSIBILITÉ D'AMÉLIORER LE CONFORT THERMIQUE DANS LE BÂTIMENT	55
<i>IV.2.1 - Orientation du bâtiment par rapport aux rayons solaires.....</i>	<i>55</i>
<i>IV.2.2 - Dispositifs de protection des surfaces exposées au soleil.....</i>	<i>55</i>
<i>A) Toiture:</i>	<i>56</i>
<i>B Les murs externes.....</i>	<i>56</i>
<i>IV-2-3 Matériaux locaux de constructions.....</i>	<i>57</i>
CONCLUSION.....	59
BIBLIOGRAPHIE	60
ANNEXE I.....	61
ANNEXE II.....	64
ANNEXE III	65
ANNEXE IV.....	66

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier avant tout Yezouma coulibaly, enseignant à l'EIER qui a été, dans une large mesure, d'un support inestimable dans la conduite de nos travaux. Nous le prions de bien vouloir trouver ici notre vive gratitude.

Nous remercions également toutes les personnes que nous avons rencontré pour la réalisation de ce rapport, Nous avons particulièrement apprécié leur aide et leur grande disponibilité.

Nos remerciements vont également à l'endroit de:

- Tous les parents et amis
- Tous les enseignants de l' EIER
- Tout le personnel de l' EIER

qui nous ont apporté leur soutien pour la réussite de notre formation.

RESUME

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une recherche des solutions bioclimatiques visant à réduire les apports de chaleurs dans le bâtiment au BURKINA FASO afin d'assurer le confort thermique minimal possible.

Elle a été proposée par le laboratoire national de bâtiment et travaux publics.

Pour l'aborder nous avons divisé le travail en quatre parties qui consistent :

1- Etudier le confort thermique dans son aspect théorique, en mettant en relief les zones de confort à l'aide des diagrammes bioclimatiques du à Mr Givoni. Nous avons aussi évoqué les apports calorifiques dans le bâtiment .

2- Recenser les matériaux de construction au BURKINA FASO. Au cours de ce recensement, nous avons mis l'accent sur les propriétés thermophysiques des matériaux; nous l' avons effectué à deux niveaux :

- Auprès , des entreprises, des sociétés des laboratoires des bureaux d'étude de conception de bâtiment .

- Dans la recherche bibliographique.

A l'aide des propriétés des matériaux recensés nous avons évalué pour les différents types de murs de toits de fenêtres et de portes, le coefficient global de transmission utilisables dans le calcul des apports calorifiques au BURKINA FASO.

3-Calcul des apports de chaleur dans les différentes structures du bâtiment à l'aide du LOGICIEL CARREIER E20-II. Nous avons fait des calculs de bilan thermique de trois (3) bâtiments types (voir Annexe IV); au cours de ces calculs nous avons relevé les insuffisances du LOGICIEL ainsi que ses performances .

4 - Possibilités d'améliorer le confort dans le bâtiment par des simulations d'effets architecturaux. Pendant cette dernière partie nous avons procédé à des simulations au niveau des différentes structures du bâtiment et nous avons proposer des méthodes ou des solutions bioclimatiques permettant d'améliorer le confort thermique dans le bâtiment.

INTRODUCTION

Pour s'abriter des intempéries, l'homme s'est dans un premier temps réfugié dans des sites, ou des abris naturels tel que les grottes. Mais au fur et à mesure de l'accroissement des populations et de ses besoins, l'homme s'est vu obligé de concevoir lui-même son habitat. En Afrique tropicale sahélienne, il s'agit non seulement de la protection contre les eaux pluviales, les animaux sauvages, du bruit mais surtout du vent chaud et sec et des rayons solaires afin d'assurer le confort thermique minimal possible. Aujourd'hui on assiste à la prolifération des constructions en dur (mortier de parpaing creux) et des toitures en tôle tout en négligeant les matériaux locaux et ignorant complètement les contraintes climatiques environnantes. Cette manière de procéder remet souvent en cause le confort thermique minimal recherché. Pour y remédier, les concepteurs font recours à la climatisation active : qui peut s'avérer coûteuse.

Ouagadougou, capitale administrative du Burkina Faso, Pays sahélien, se caractérise par une forte température sur une grande partie de l'année; l'humidité de l'air y est relativement faible : L'inconfort thermique est pratiquement présent sur toute l'année.

La présente étude se propose d'évaluer la situation du confort thermique dans le bâtiment et de proposer des solutions Bioclimatiques ou des dispositifs architecturaux permettant de réduire d'une manière considérable les apports de chaleur dans un bâtiment. Pour ce faire, cette présente étude s'articule au tour de trois (3) points :

- 1 - Recenser les matériaux de constructions en mettant l'accent sur leurs propriétés thermophysiques.
- 2 - Calcul des apports de chaleur dans les différentes structures du bâtiment à l'aide d'un logiciel : Carrier - E 20 II
- 3 - L'analyse de ces résultats afin de dégager des méthodes de construction permettant d'améliorer le confort thermique dans les limites Bioclimatiques.

CHAP. I: ETUDE THÉORIQUE DU CONFORT THERMIQUE

I - 1 - DÉFINITION DU CONFORT THERMIQUE

Le confort thermique est une notion complexe, il peut être défini de la façon suivante: un individu est en situation de confort thermique lorsque il ne ressent de sensation ni chaude ni froide.

Il est déterminé par l'équilibre dynamique établi par les échanges thermiques entre le corps et son environnement, qui se résument ainsi :

$$Q = M \pm R \pm C - E \quad (1)$$

Q : est le bilan thermique;

M: est le métabolisme (chaleur de base)

R : est l'énergie rayonnante, captée ou perdue par le corps

C : est la chaleur de convection et de conduction, captée ou perdue par le corps.

E : est la chaleur par évaporation (Transpiration et respiration).

I.2 - PARAMÈTRES DE CONFORT THERMIQUE

Le confort thermique d'un individu dans une certaine ambiance dépend principalement des paramètres suivants :

I.2.1 - Paramètres physiques

- Température de l'air ambiant T_e

- Température radiante ou température des parois T_p

- L'humidité relative de l'air ambiant, H_r

- La vitesse de l'air : elle influe, les échanges de chaleur par convection, dans

l'habitat la vitesse de sensibilité est de 0,2m/s.

I.2.2 - Paramètres subjectifs

- Le métabolisme: c'est la production de chaleur interne du corps humain permettant de maintenir la température de celui-ci autour de 37° C. Un métabolisme de travail correspond à une activité particulière auquel s'ajoute un métabolisme de base du corps au repos. (voir tableau n°2)

Habillement : Résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement.

- L'âge
- Le sexe
- L'activité
- L'acclimatation

Activité	MTH (W)
Sommeil	75
Assis au repos	110
début relax	130
Assis écriture	125
Vendeur debout	210

Tenue vestimentaire	Rv(m ² °C/W)
Nu	0,000
Short	0,016
Tenue Tropicale	0,047
Tenue d'été	0,078
tenue de travail légère	0,124
Tenue d'intérieur d'hivers	0,155
Tenue de ville européens	0,233

Tableau 1 : Valeur du métabolisme pour quelques activités

Tableau n°2 : Valeur de la résistance thermique des vêtements.

I 3 - L'INFLUENCE RELATIVE DE CES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES

Des travaux réalisés par Mr DJAKO et Mr. Y. Jannot (cf. : Annexe I) sur l'influence relative de ces paramètres ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes:

- Nous avons dans les pays chauds et secs (Burkina Faso) les paramètres sur lesquels il faut agir prioritairement :

- 1 - La température de l'air
- 2 - Température radiante moyenne.

I.4 - LA ZONE DE CONFORT PHYSIOLOGIQUE DIAGRAMME BIOCLIMATIQUE

La zone de confort physiologique est le domaine des conditions sous lesquelles les mécanismes thermorégulateurs sont dans un état d'activité minimum.

A partir des mesures quantitatives des différentes paramètres physiques dont il est question, Mr GIVONI a établi des zones de confort (voir figure N°1) physiologiques pour des individus plus ou moins vêtus, acclimatés ou non.

Il a défini une zone moyenne de confort thermique comme celle indiquée par figure 1 due à Givoni :

- **Entre 20 à 80% l'humidité relative pèse peu sur la sensation de confort.**
- **entre 20 à 28°C, la température ambiante pèse peu sur la sensation de confort.**

I.4.1 - Le diagramme bioclimatique

Par des dispositifs techniques ou architecturaux, il est possible d'intervenir sur les paramètres physiques afin d'atténuer les effets de climat et par conséquent améliorer le confort.

Suivant le type de climat, les dispositifs différent:

- Le climat très chaud et très sec (pays sahélien, Sahara) les effets du climat sont atténués en se protégeant contre les rayons solaires, en minimisant les apports de chaleur en procédant au rafraîchissement de l'air.

- Le climat chaud et humide (pays côtiers) le confort thermique est assuré par une construction isolée et une ventilation forte.

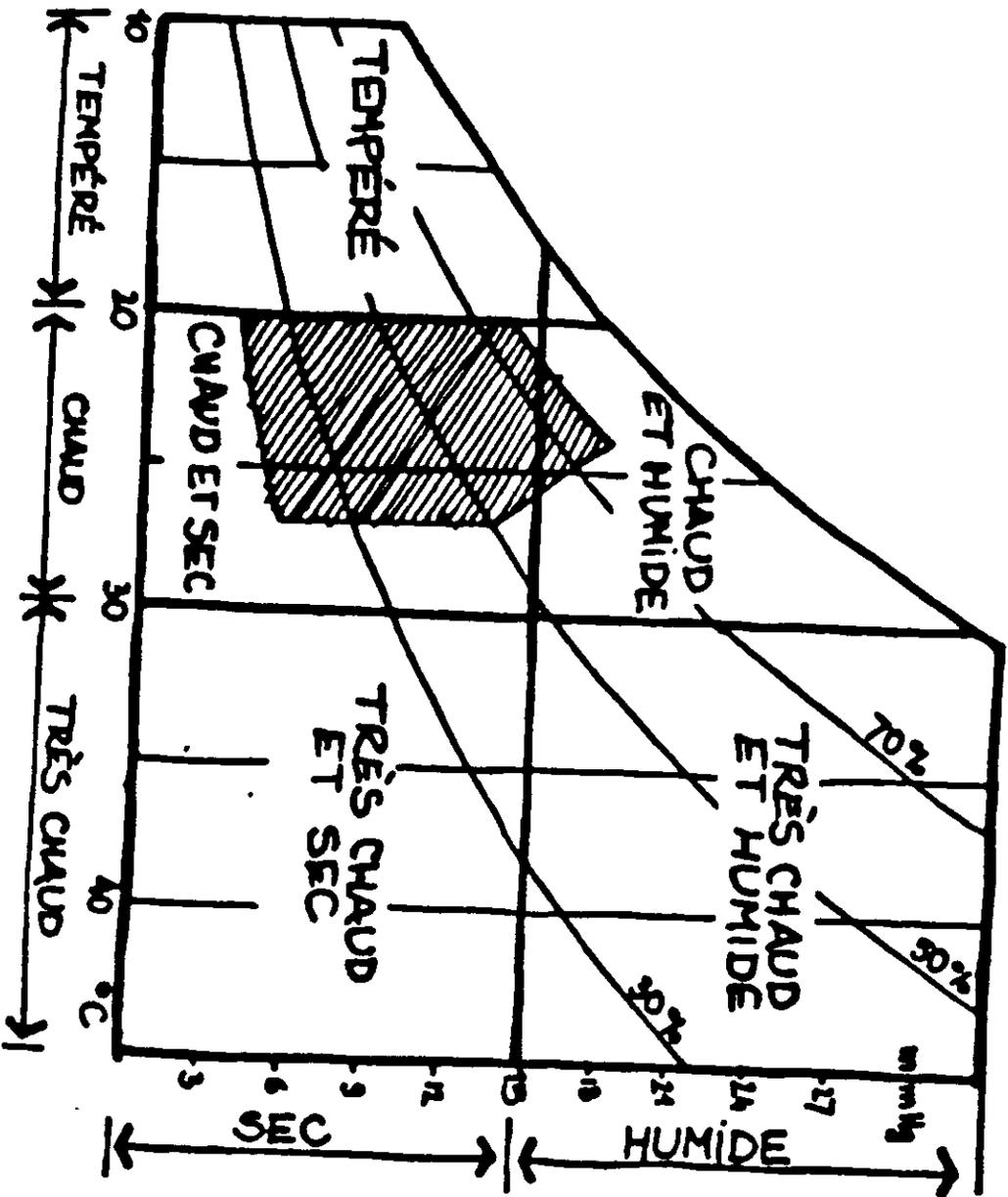


FIGURE N° 1 : zone de confort

DIAGRAMME:

Bioclimatique

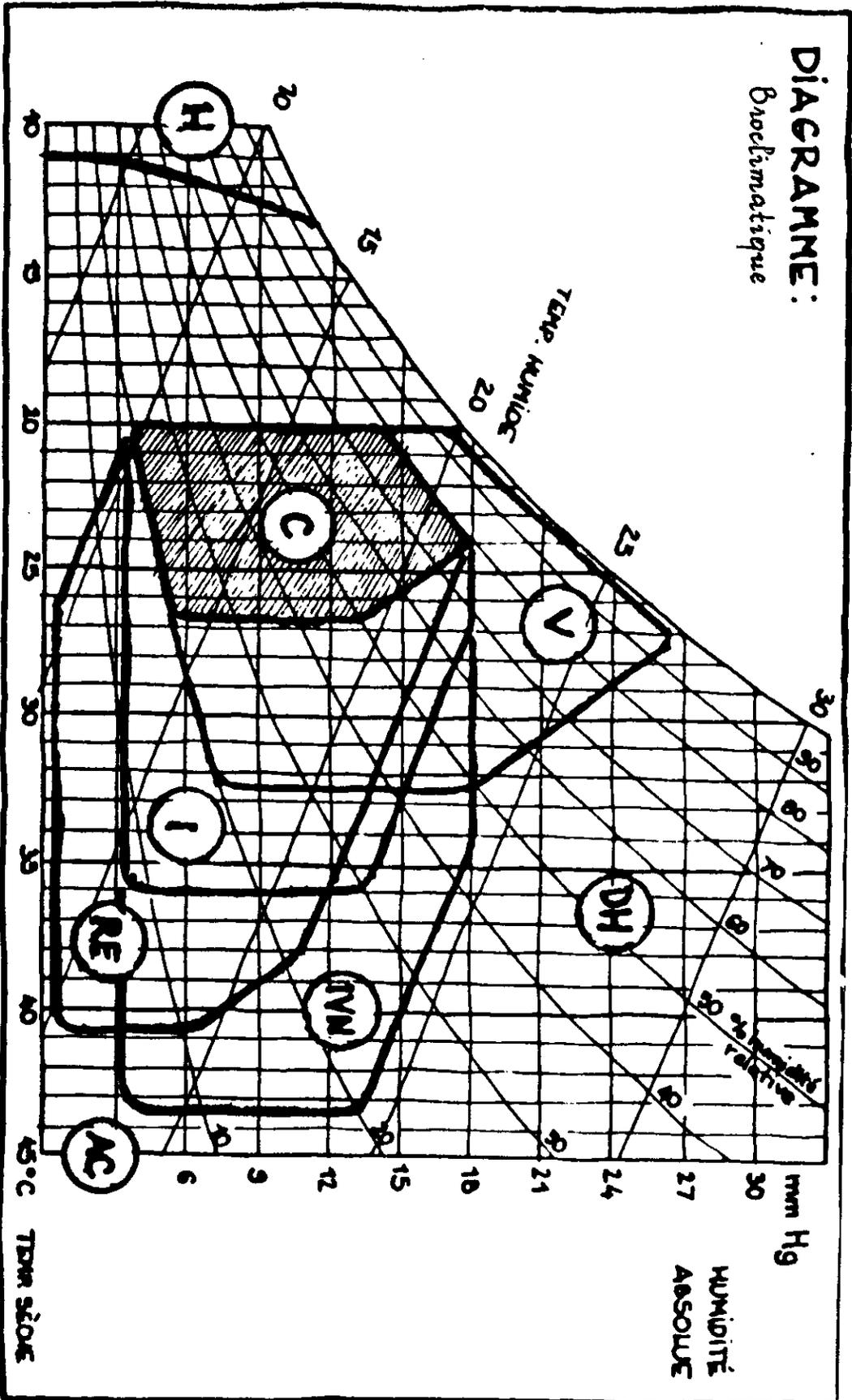


FIG 2

- En climat chaud et sec :

Le confort thermique est obtenue par une inertie thermique forte dans l'habitat :

En effet des murs massifs et des toitures lourdes permettent d'atténuer l'effet de l'écart des températures.

Une fraîcheur est maintenue à l'intérieur du bâtiment le jour et la chaleur accumulée est restituée la nuit.

Le diagramme bioclimatique de Givoni et Milne (figure N°2) montre les zones d'influence sur un diagramme psychrométrique illustrant les moyens d'intervention sur les effets du climat :

- Le polygone de confort, zone C, air calme, vitesse inférieur 0,1m/s..
- Zone de forte inertie thermique, zone I
- Zones de forte inertie thermique avec ventilation nocturne, IV V
- Zone de refroidissement par évaporation, zone RE
- Zone de déshumidification, zone DH
- Zone de conditionnement d'air, zone AC
- Zone de chauffage H

L'humidité relative compris entre 20 et 80%

La température varie entre 20 à 28°C.

I.5 - LES APPORTS CALORIFIQUES DANS UN BÂTIMENT

I.5.1 - Définition

Les apports calorifiques sont les quantités de chaleur échangées pendant l'unité de temps entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment.

I.5.2 - Les différents apports calorifiques

Les apports de chaleur dans un local à climatiser afin d'obtenir le confort thermique minimum, il est évident de faire un bilan thermique qui tient compte aussi bien des apports externes que des apports internes.

I.5.2.1 Les apports externes

Ils comprennent essentiellement :

-L'ensoleillement direct par les surfaces vitrées

- Insolation des murs et des toits: due à un flux de chaleur qui vient s'ajouter à celui dû à la différence de température.

- **Différence de température avec les espaces adjacents**

Cette différence de température provoque un flux de chaleur à travers les fenêtres, cloisons et planchers.

- **Action du vent sur le bâtiment :**

Le vent force l'air extérieur d'une température et d'une humidité plus élevées, à s'infiltrer à travers les interstices autour des portes et des fenêtres provoquant les gains chaleur sensible et latent.

I.5.2.2 - Les apports internes

Ils correspondent aux dégagements de chaleur ayant leur source à l'intérieur du local.

L'importance de ces apports internes dépend de l'usage auquel le local est destiné.

d'une manière générale, les apports de chaleur interne au bâtiment proviennent :

- **Des Occupants**: Le corps humain par métabolisme dégage une certaine quantité de chaleur cédée à l'ambiance par rayonnant, convection et évaporation cutanée.

La quantité de chaleur produite et dégagée dépend de la température ambiante et de l'activité déployée.

- **De l'Eclairage**

Les équipements utilisés pour l'éclairage du local, constituent des sources de chaleur. Une partie de cette chaleur est émise sous forme de rayonnement.

- **Des Appareillages divers**:

Les appareils électriques, à gaz ou à vapeur qui émettent une certaine quantité de chaleur dans l'ambiance :

Les moteurs électriques constituent une source importante de gain de chaleur.

CHAP. II: MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION AU BURKINA FASO

La contribution du matériau de construction au confort thermique dans l'habitat s'établit de façon évidente.

En effet un bâtiment d'ambiance interne confortable doit limiter ses gains thermiques pendant le jour et ses pertes de fraîcheur nocturne.

Ce double rôle est directement lié à la masse des parois qui composent (ses parois extérieures comme ses parois internes), et ne peut s'obtenir que dans le choix judicieux des matériaux de construction tout mettant l'accent sur leurs propriétés thermophysiques (conductivité thermique, masse volumique, chaleur massique, le coefficient d'absorption etc.).

Nous avons recensé les matériaux locaux de construction à deux niveaux :

- Auprès des entreprises, des sociétés, des laboratoires et des bureaux d'études de conception de bâtiment
- Dans la littérature propre au domaine.

Nous avons effectué le recensement auprès des structures suivantes:

- **Locomat** : Promotion des matériaux locaux de construction, sous tutelle de ministre de l'habitat.
- **L.N.B.T** : laboratoire Nationale de bâtiment et de travaux public.
- **S.B.F** : Société de briqueterie de Faso, (ou bien une autre dénomination: stabilisation des briques à froid).
- **Beau-bureau** : Bureau d'étude d'architecture et le projet de Bâtiment.
- **C.I.N.C.A.T**: Cabinet d'ingénierie de coordination et d'assistance technique.
- **HAGE Matériaux**.

Au cours de ce recensement ,des difficultés ont été rencontrées. Mais l'une des difficultés majeures est celle liée à la nature même du sujet.

Il s'agit d'un thème assez récent ayant fait l'objet de très peu de réflexion au niveau des structures précitées d'où souvent l'absence des réponses directes surtout à des questions relatives aux propriétés thermophysiques des matériaux. Néanmoins, nous avons pu faire l'inventaire de la plupart des matériaux couramment utilisés au Burkina Faso dans le bâtiment. Nous en énumérons des éléments concernant les murs, les couvertures (toits) et des portes et fenêtres voir ci-dessous:

II.1 - MURS

Parpaing de 15 cm en Aggloméré de ciment creux

Banco, terre fine (parpaing ou brique de 25 cm)

Briques en terre, stabilisée (argile + ciment)

Pierre taillée, très coûteuse, très peu utilisée par conséquence

Latérite (terre rouge)

brique en terre cuite

II.2 - COUVERTURE

• Tuiles

Tuile en fibre d'amiante ciments

Tuile ardoise (bois stratifié)

Tuile en terre stabilisée (ciment + argile)

Tuile en terre cuite

• Tôle

Généralement accompagnée d'un faux plafond en contre plaqué.

Tôle ordinaire métallique

Tôle en acier galvanisé

Tôle Alu Zinc

• Terrasse généralement en deux formes :

- Dalle pleine, en béton armée

- Hourdis creux plus une couche de mortier de ciment

II.3 - LES OUVERTURES

Elles représentent approximativement un dixième de la surface totale des murs ou 1/6 de la surface du sol. Les dimension standard couramment utilisées sont:

- Porte 2 à 2,2m de la hauteur et de 0,8 mètre de large.
- Fenêtre 1,2m hauteur et de 0,6m de large.

Les matériaux utilisés pour ces ouvertures : le bois stratifié, vitrage métallique ou en bois.

Les propriétés thermophysiques des matériaux de construction que nous présentons sous formes de tableau servant au calcul des coefficients de transmission globale sont issus des ouvrages cités en Bibliographie [1], [2], [3], [4], [5].

Le tableau suivant donne pour l'ensemble des matériaux recensés dans le cadre du Burkina; les propriétés termophysiques suivants:

- Chaleur massique du matériaux
- Coefficient d'absorption du rayonnement solaire
- La conductivité thermique
- La masse volumique
- Pour certains matériaux il n'a pas été possible d'obtenir le coefficient d'absorption du rayonnement solaire.

TABLEAU N°3

Matériaux de construction	Masse volume Kg/m ³	Cond Ther (W/m.k)	Coefficient d'absorption	Chaleur Massique J/Kg/K
Béton	2.250	1,4	0,4	900
Terre cuite	2.100	1,15	0,55	900
Terre Stabilisé	2.000	1,11	0,55	1.600
Mortiers de ciment	1700	1,15		800
Mortiers de plâtre	1450	0,46	0,07	900
Latérite	1.850	1,10	0,55	850
Sable sec	1.600	0,35		710
Pierre taillée	2.600	3,5		920
Terre argileuse	1.950	1,15		900
Verre à vitre	2.550	0,80		800
Tôle galvanisé	7.800	70		800
Tôle Alu Zinc	7.600	60		800
Bois naturel	600	0,24		2.500
Carrelage	1.00	1,15		980
Laine de verre	240	0,04		700
Gravillon	1.200	1,50		920

Matériaux de construction	Masse volume Kg/m ³	Cond Ther (W/m.k)	Coefficient d'absorption	Chaleur Massique J/Kg/K
Ardoise	825	0,90	0,89	750
Contre-plaque	750	0,90		
Dalle pleine	2.500	1,5		900
Hourdis	2.500	1,5		900
Parpaing creux	1.250	0,54		880
Parpaing plein	2.200	1,4		840
Brique creux stabilisé	1.600	0,50	0,55	1.600
Brique pleine en terre stabiliser	1.850	1,11	0,55	950
Tôle galvanisé	7.800	70	0,8	800
Tôle Alu-Zinc	7.600	60		800
Tuile amiante cimenté	600	0,65	0,3	800
Tuile en terre stabilisé	2.000	1,10	0,65	800

Remarque :

- Pour les coefficients d'absorption et d'émission d'infrarouge nous ne nous sommes intéressés qu'aux des matériaux pouvant être l'objet d'une toiture.

II.4 - CALCUL DU COEFFICIENT GLOBAL DE TRANSMISSION

Le coefficient global de transmission : est un facteur important pour le calcul du bilan thermique dans un bâtiment, car il caractérise à lui seul le comportement thermique de la portion de paroi de quelque mètre carré lorsque un flux de chaleur constant s'écoule à travers elle, Quelle soit simple ou composée, homogène ou hétérogène.

Ce coefficient exprimé en $W/m^2.C$ ou $Kcal/hm^2C$ indique la quantité de chaleur échangée en une heure à travers une paroi par un mètre carré de surface et de degré centigrade de la différence entre les températures de l'air baignant ses faces intérieurs et extérieurs.

Le coefficient de transmission thermique s'évalue comme suit :

$$\boxed{1/k = 1/h_i + 1/h_e + \sum R_a + \sum R_u + \sum e/\lambda} \quad (2)$$

K : Coefficient global de transmission thermique ($w/m^2.°C$)

h_i : est le coefficient de transmission thermique de surface interne ($w/m^2.°C$)

h_e : Coefficient de transmission thermique de surface de externe ($w/m^2.°C$)

$\sum e/\lambda$: Représente la somme des résistances des portions de parois constituées de couche de matériaux homogènes d'épaisseur élémentaire et de conductivité thermique (voir le tableau n°3) ($w/m^2.°C$)

$\sum R_a$: Représente la somme des résistances des lames d'air rencontrées successivement dans l'épaisseur du mur sous forme de tranchées ou feuillets, distinctes les uns des autres et occupant toute la surface de la paroi.

$\sum R_u$: Représente la somme des portions de parois constituées de tranches de matériaux hétérogènes.

N.B: $1/h_i + 1/h_e$: est pris égal $0,23 W/m^2 C$ pour les parois verticales (cf. bibliographie [3])

$1/h_i + 1/h_e$: est pris égal $0,20 W/m^2 C$ pour les toitures (cf. bibliographie [3]).

Nous avons évalué pour les différents types de murs utilisés au Burkina Faso, le coefficient k utilisable pour le calcul des apports calorifiques. Ce coefficient est donné par le tableau N°4.

TABLEAU N° 4

Matériaux	Epaisseur finie (cm)	K (W/m ² K)	Observation
Mur en parpaing d'aggloméré de ciment	20	2,35	Mélange de ciment, de sable, d'agrégats. Les alvéole représente 35% de la surface.
Brique pleine	11	3,0	Mélange de ciment et d'argile et l'ensemble stabilisé à froid.
Brique creux	15	2,0	Mélange de ciment et argile stabilisé à froid. Les alvéoles représentent 50% à 52 % de la surface totale. avec un enduit intérieur
bloc de terre	30	2,0	Terre mélangée avec une fibre végétale (matière argileuse, bouse de vache). Avec un enduit externe et interne.
bloc de latérite	30	2,20	Terre latéritique de couleur rouge boue damée, par toiture, sa couleur est presque clair : Matériau local.
Pierre taillée	30	3,0	Souvent aussi calcaire, c'est un matériaux de sable mais travail de taille
Adobrique	42	1,7	Mélange de terre, de paille plus de l'eau de gâchage, moulée avec une épaisseur 40 cm + 2 cm : écaille en, béton.

Les calcul de K sont obtenus à partir de la formule (2),. On constate que les valeurs calculées varient de 1,7 à 8,5 w/m²/°C.

Le coefficient de transmission de toit Usuel

Matériaux	épaisseur finie (cm)	Coefficient K(w/m ² K)	Observation
Terre	30	1,85	Terre Damée, toiture plate très utilisée dans les construction traditionnelle. Cette toiture offre une inertie thermique suffisante.
Terre stabilisé	0,12	5,25	Tuile de forme courbe, terre plus argile stabilisé à la fois. de couleur plus ou moins claire.
Tôle galvanisée	0,12	8,5	tôle: matériau non résistant a la corrosion. Acier galvanisé
Tôle Alu-Zinc	0,12	8,5	c'est un alliage de zinc et d'Aluminium possibilité de corrosions
Amiante ciment:tuile	0,12	5,5	Amiante ciment fibreux (problème de toxicité)
Elément préfabriqué	20	2,0	- Elément préfabriqué : dalle pleine en béton armée plus une couche de mortier de ciment de 5cm d'épaisseur
Elément préfabriqué	20	2,0	- Hourdis, élément préfabriqué en béton armé recouvert d'une de mortier de ciment.

Comme le cas des murs, les calculs de k sont obtenus par la formule (2). Nous constatons que la tôle détient le plus grand coefficient global de transmission.

Le Coefficient global de transmission: Portes et fenêtres

Matériaux	épaisseur finie (cm)	Coefficient K (W/m ² K)	Observation
Simple vitrage	5 mm	5	Simple vitrage avec l'inclinaison de 60 à 90° et menuiserie en bois
simple vitrage	3 mm	5,8	Simple vitrage avec l'inclinaison de 60 à 90° et menuiserie en bois

Il existe d'autres types de vitrage avec leur coefficient global de transmission (exemple double vitrage) mais les ouvertures à simple vitrage indiqués ci-dessus sont généralement utilisés au Burkina Faso.

CHAP. IV: CALCUL DU BILAN THERMIQUE DANS LE BÂTIMENT A PARTIR DU LOGICIEL E20.II

III.1 - PRÉSENTATION DE E 20.II- H A P

E 20.II est un progiciel de conception et d'analyse pour des installations de conditionnement d'air. Conçu par la corporation CARRIER, il fonctionne de façon générale sous l'environnement DOS version V.3.3 et postérieur. Cet outil informatique est un ensemble de programmes indépendants des tâches de calculs de bilan thermique, de calcul de réseau aéraulique et hydraulique, d'analyse d'énergie heure par heure....

Parmi ces programmes, se trouve HAP, celui qui nous a permis de réaliser notre travail. En effet, HAP (HOUR, Analysis, Polyvalent) d'étude des bilans et d'analyses d'énergie des bâtiments. Il est organisé en trois (3) grands modules ayant chacun ses fonctionnalités propre (voir l'annexe II)

Modules de saisie

Utilisé par l'entrée des données climatiques de base et des caractéristiques des bâtiments.

Module de calculs de bilan thermiques:

Utilisé pour les estimations des bilans frigorifiques et calorifiques horaires.

Module d'analyse d'énergie

C'est le programme des simulations de tout genre sur le conditionnement d'air et de fonctionnement de l'installation. Pour plus de détail sur ces modules veuillez consulter l'organigramme de E II -20: (Annexe III).

III.1.1 - Fonctionnalité de HAP

Le programme HAP est un outil assez puissant au niveau de fonctionnalités offertes:

- calcul de bilan frigorifiques nominaux
- simulation horaire
- calcul de coûts annuels de fonctionnement
- étude comparative de bâtiments

A ce sujet, des résultats très pointus sont fournis par une étude assez fine, surtout concernant les simulations. Ceci représentant des atouts (où avantages) appréciables.

NB: pour plus de détails sur ces différentes fonctionnalités sur-citées veuillez consulter le manuel d'utilisation de E 20 II

III.1.2 - Quelques faiblesses

Malgré ses nombreux atouts, nous avons tout de même recensé quelques faiblesses. Comme la plupart des applications son MS. DOS. HAP Présente une interface utilisateur pas très convivial (sélection de menu séquentiel, format de saisie trop rigides,..)

- Le programme est très lourd parcequ'il regroupe en peu trop de fonctions en son sein. La conséquence directe de cette option est l'utilisation non aisée de l'application- longue période d'apprentissage .

- HAP contient des données climatiques sur plus de 500 villes dans le monde. Néanmoins, nous n'avons pratiquement pas de données sur les villes africaines sauf les villes suivantes Dakar, St Louis, Abidjan, Accra, Yaoundé, Nairobi et Libreville

Cela cause des difficultés aux pays africains tropicaux qui ont des climats très chaud et sec ou chaud humide. Parfois les résultats de certaines simulations sont incohérents avec les réalités de nos pays. Parmi les incohérences nous citons:

- Maximum d'heure d'ensoleillement estimé par l'ordinateur à dix (10) heures)

- A 15 heures temps universel, l'ordinateur estime que la composante directe de l'ensoleillement sur les murs nord du bâtiment est nul.

L'outil de simulation ne permet pas d'étudier l'influence des masques

Le bilan thermique maximal est observé par l'ordinateur aux mois de Juillet -Août.

- L'ordinateur à tendance à sous estimer les apports par l'ensoleillement dans les calculs du bilan thermique.

- Les toitures sont toujours considérées par l'ordinateur comme horizontale ce qui n'est pas toujours le cas.

Ces constats sont dus simplement au fait que l'ordinateur est conçu dans les perspectives occidentales

III.1.3 - Ecran de saisie des données

Dans H.A.P, les caractéristiques sont regroupées en unité appelé espace. Espace étant la partie de bâtiment comprenant un ou plusieurs éléments (murs, fenêtres, vitre éclairage, occupant, appareil électrique infiltration...etc.) ce qui signifie que HAP fait intervenir toute caractéristique du bâtiment associée aux apports ou déperdition de chaleur.

Deux types d'espace sont à signaler: espace simple et espace complexe, correspondant respectivement à l'écran de saisie des données de l'espace simple et écran des saisies des données de l'espace complexe.

(Les données à prendre en compte, relative à chaque élément sont détaillées dans le manuel d'utilisation du logiciel << volume 2, fonctionnement 4>>).

III.1.4 - Ecrans des sorties des résultats

H.A.P donne plusieurs écrans de sortie de résultats (voir manuel d'utilisation). Dans notre cas, nous avons les résultats tirés ou fournis par l'écran des <<calcul détaillé pour une seule heure : 15 heure, le mois d'Avril).

III.2 - CALCUL DU BILAN THERMIQUE

Nous avons effectué les calculs de bilan thermique de deux villas de la cité des professeurs (Villa N°1 et Villa N°3A) et de la cabane du département Génie Energétique et Froid Industriel).

Les résultats des calculs du bilan thermique de chaque villa ainsi que de la cabane sont fournis par l'annexe IV sous forme détaillée.

CHAP. IV: POSSIBILITÉS D'AMÉLIORER LE CONFORT THERMIQUE DANS LE BÂTIMENT À BURKINA FASO PAR SIMULATION D'EFFETS ARCHITECTURAUX.

IV - 1 SIMULATIONS D'EFFETS ARCHITECTURAUX

Avant de voir les perspectives en terme d'amélioration du confort thermique dans le bâtiment, il importe d'analyser l'influence relative des différentes structures, le masque : arbre implanté à côté du mur par exemple) sur le flux thermique à l'intérieur de ce dernier. Partir d'une situation de base définie ci-après, nous allons faire varier successivement chacune des structures pour évaluer leur influence sur le flux thermique. Afin de mieux visualiser ces influences sur le flux thermique, chaque cas de simulation sera accompagné de représentation graphique sous forme histogramme.

IV.1.1 - Situation de base

Il s'agit d'un bâtiment d'une pièce (voir figure N°3) situé à l'intérieur de l'EIER et réservé aux travaux de département Energie pour le développement rural.

IV.1.1.1 - Ses caractéristiques

- Murs: l'orientation des murs: (voir figure N°3) la hauteur des murs est de trois mètres et avec une épaisseur de 20 cm (épaisseur effective : enduits y compris). Les murs sont construits en parpaing d'aggloméré de ciment, deux enduits intérieur et extérieur d'épaisseur chacune 2,5 cm en mortier de ciment. les faces extérieurs des murs sont de couleur moyenne. Le coefficient global de transmission de $8,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

IV.1.1.2 - Les fenêtres et les portes

- Les fenêtres sont en vitre, de cadre métallique avec un coefficient global de transmission $5,00 \text{ W/m}^2 \text{ K}$.

IV.1.1.3 - Les apports internes:

Le temps d'utilisation du local est de huit heures (8 heures), on considère que le nombre d'occupant est de 5 personnes à la fois. Un éclairage fluorescent non encastré de 60 Watt. Le local abrite des appareils électriques de puissance 100 Watt.

IV.1.1.4 - L'infiltration

Le mouvement d'air externe fait que l'air chaud de l'extérieur s'infiltrer régulièrement à l'intérieur des locaux. L'infiltration se fait par le cadre des fenêtres et les portes et toutes autres ouvertures pratiqués dans les murs.

Cet air externe apporte à la fois des gains sensible et gains latents. Pour estimer cette quantité d'air qui s'infiltrer à travers les ouvertures évoqués ci-dessous:

Nous supposons que chaque heure le volume d'air du local se renouvelle avec le taux pris égal à 1 (cf. bibliographie [3])

$$Q = Tr \times V \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (3)$$

avec:

Q : Débit d'air qui s'infiltrer (m³/heure)

Tr : taux de renouvellement

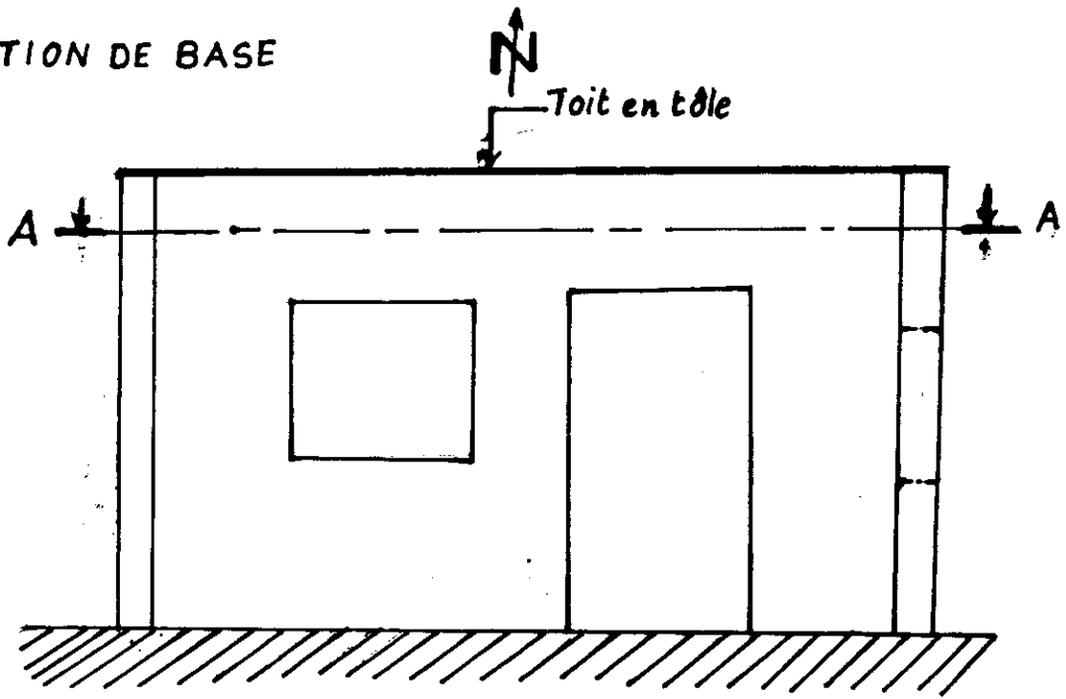
V: Volume du local

3, 4, et 5: sont respectivement la longueur, la largeur et la hauteur sous plafond du bâtiment (cf.: figure n°3)

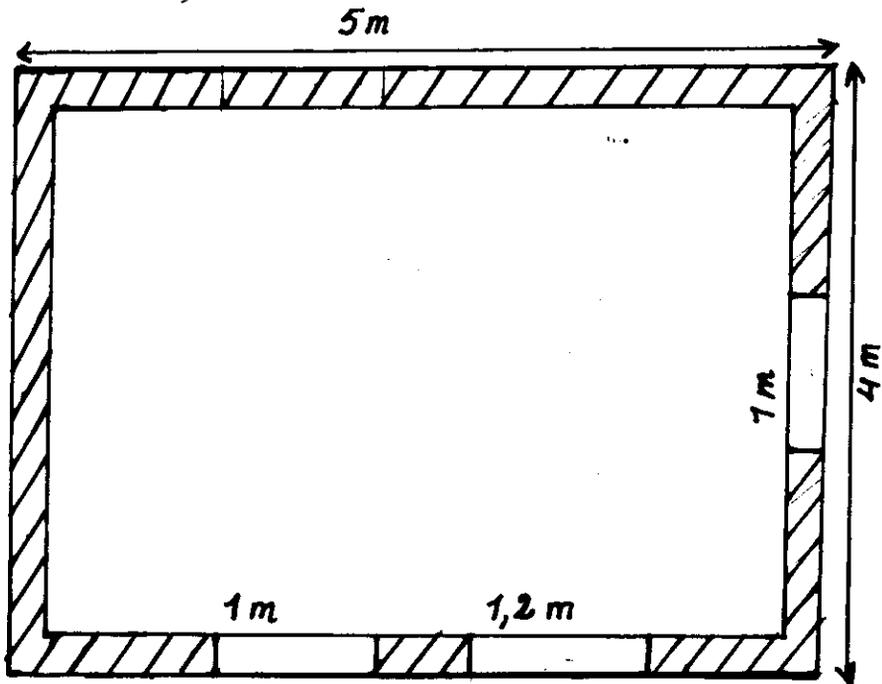
$$Q = 1 \times 5 \times 4 \times 3 = 60\text{m}^3/\text{h} = 17 \text{ l/s}$$

$$Q = 17 \text{ l/s}$$

SITUATION DE BASE



Vue de face



COUPE A-A

fig n° 3

Situation de base

TABLEAU N° 5

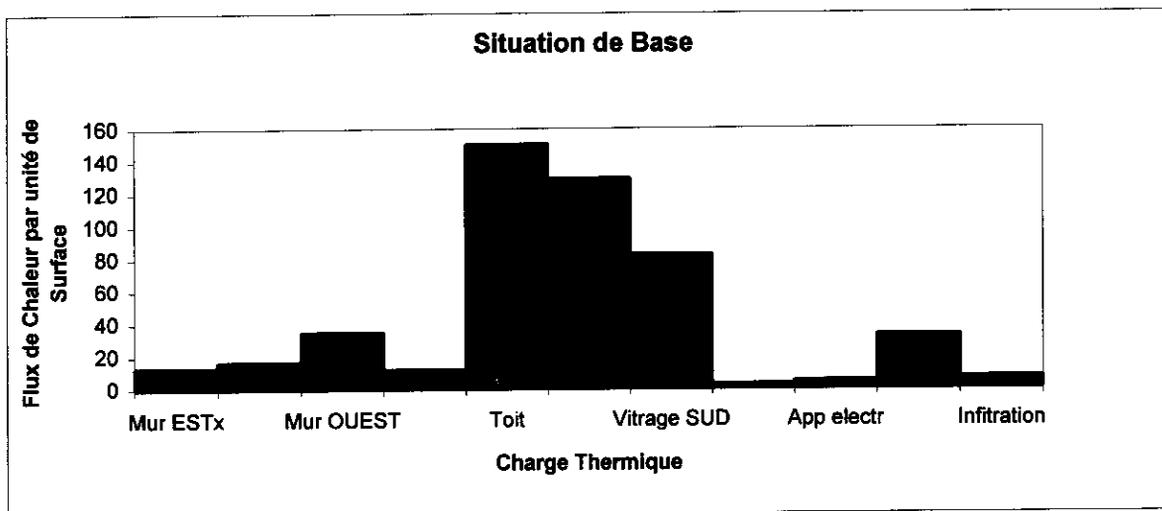
Elément	Sensibl e(W)	latent (W)	Coeff.K (W/m²K)	Surface m²	W/m²	%
Mur Est	144	0,00	2,35	10,80	13,33	2,7
Mur Sud	178	0,00	2,35	10,60	16,79	3,4
Mur Ouest	420	0,00	2,35	12,00	35,00	7,2
Mur Nord	183	0,00	2,35	15,00	12,20	7,00
Toit	3.012	0,00	8,5	20,00	150,60	30,80
Vitrage Est	155	0,00	5,00	1,20	129,17	26,5
Vitrage Sud	331	0,00	5,00	4,3	82,75	17
Eclairage	60	0,00	-	20,0	3,00	0,6
Appareil électrique	100	-	-	20	5,00	1,0
Occupant	395	300	-	20,00	33	6,7
infiltration	139	-	-	20,00	7,0	1,4
total	5.081				488	100,0

Les résultats de calcul du bilan thermique de la cabane montrent que la quantité de chaleur qui passe à travers les éléments suivent un ordre décroissant :

- 1) La toiture
- 2) vitrage sud
- 3) mur Ouest
- 4) Mur Sud
- 5) Mur Est
- 6) Mur Nord

Ce constat s'explique :

- La faible inertie thermique de la tôle son et son orientation par rapport au soleil.
- Par conséquent le mur Ouest reçoit à 15 Heure plus de rayons solaires du fait de la disposition de la tôle par rapport au soleil.
- Par contre au mois d'avril à 15 Heure, les murs situés au Sud ne reçoivent presque pas de rayons solaires du fait que le soleil est du coté nord.



Situation 1 : Toiture en terrasse, c'est une dalle en béton armé comprenant une couche d'isolation en feuille en bitume.

TABLEAU N° 6

Elément	Sensible (W)	latent (W)	Coeff.K (W/m ² K)	Surface m ²	W/m ²	%
Mur Est	144	0,00	2,35	10,80	13,33	5,60
Mur Sud	178	0,00	2,35	10,60	16,79	7,0
Mur Ouest	420	0,00	2,35	12,00	35,00	16,40
Mur Nord	183	0,00	2,35	15,00	12,20	7,10
Toit	496	0,00	1,42	20,00	24,80	19,30
Vitrage Est	155	0,00	5,00	1,20	129,17	6,0
Vitrage Sud	331	0,00	5,00	4,00	82,75	13,0
Eclairage	60	0,00	-	20,00	3,00	2,30
Appareil électrique	100	0,000	-	20,00	5,00	4,0
Occupant	395	300	-	20,00	33,00	14,0
Infiltration	139	0,000	-	20,00	7,00	5,40
total	2.565,0	300			362,20	100,0

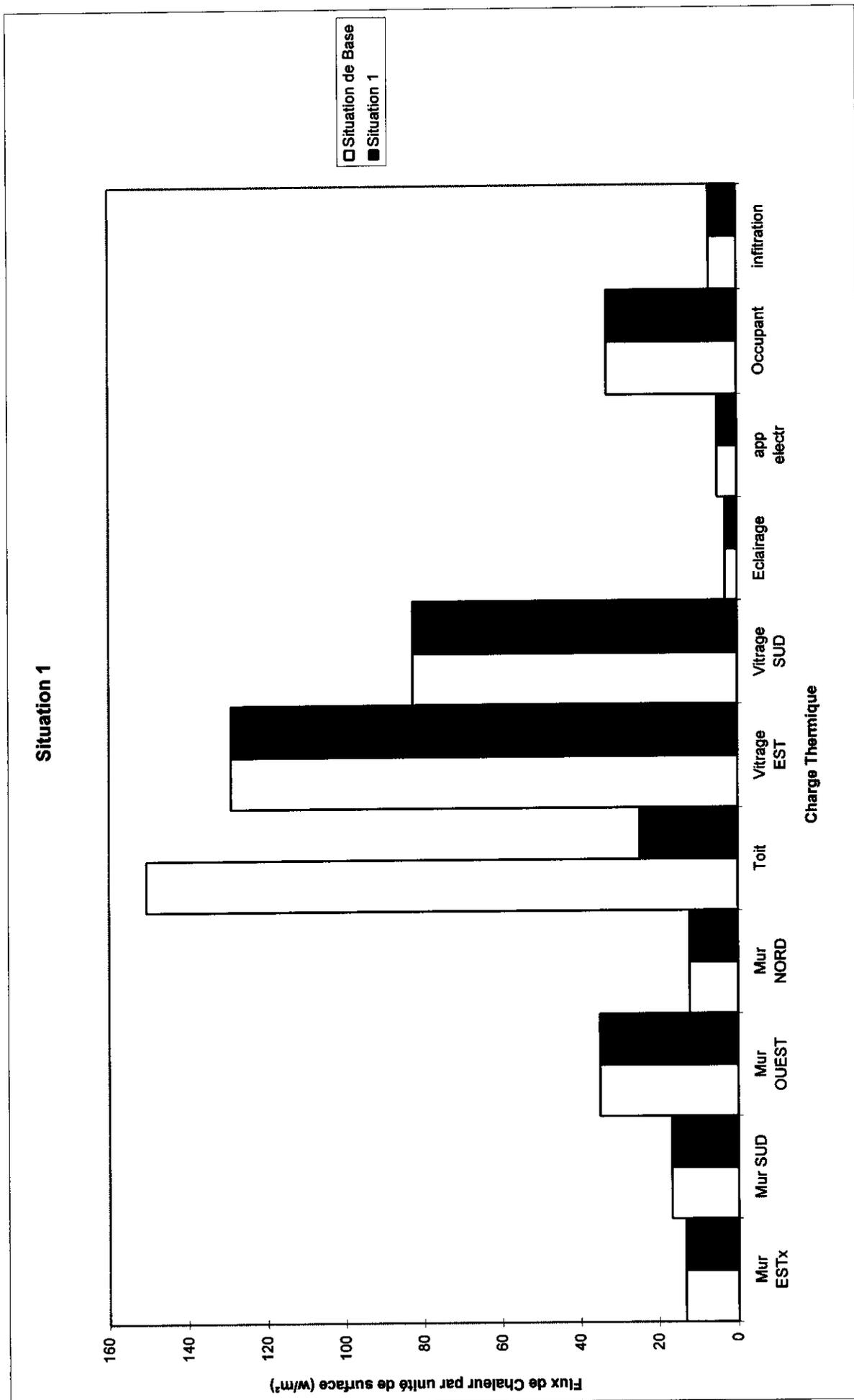
Comparée à la toiture en tôle, la toiture en terrasse (Dalle plus une couche de mortier de ciment de 5 cm)

réduit l'apport de chaleur par unité de $150,6 - 24 = 84\%$.

Ce constat s'explique par :

L'existence d'une inertie thermique relativement importante (le flux de chaleur qui passe à travers la dalle est amorti par cette inertie) elle entraîne un déphasage de huit heures de temps (le temps qui sépare les instants où les températures externes et internes de la paroi sont à leur maximum) voir l'annexe II.

NB: Du simple fait que le toit en terrasse (dalle plus 5 cm d'une couche de mortier) a le même coefficient global de transmission que le toit en terre damée 33 cm, nous avons jugé de ne pas faire la simulation.

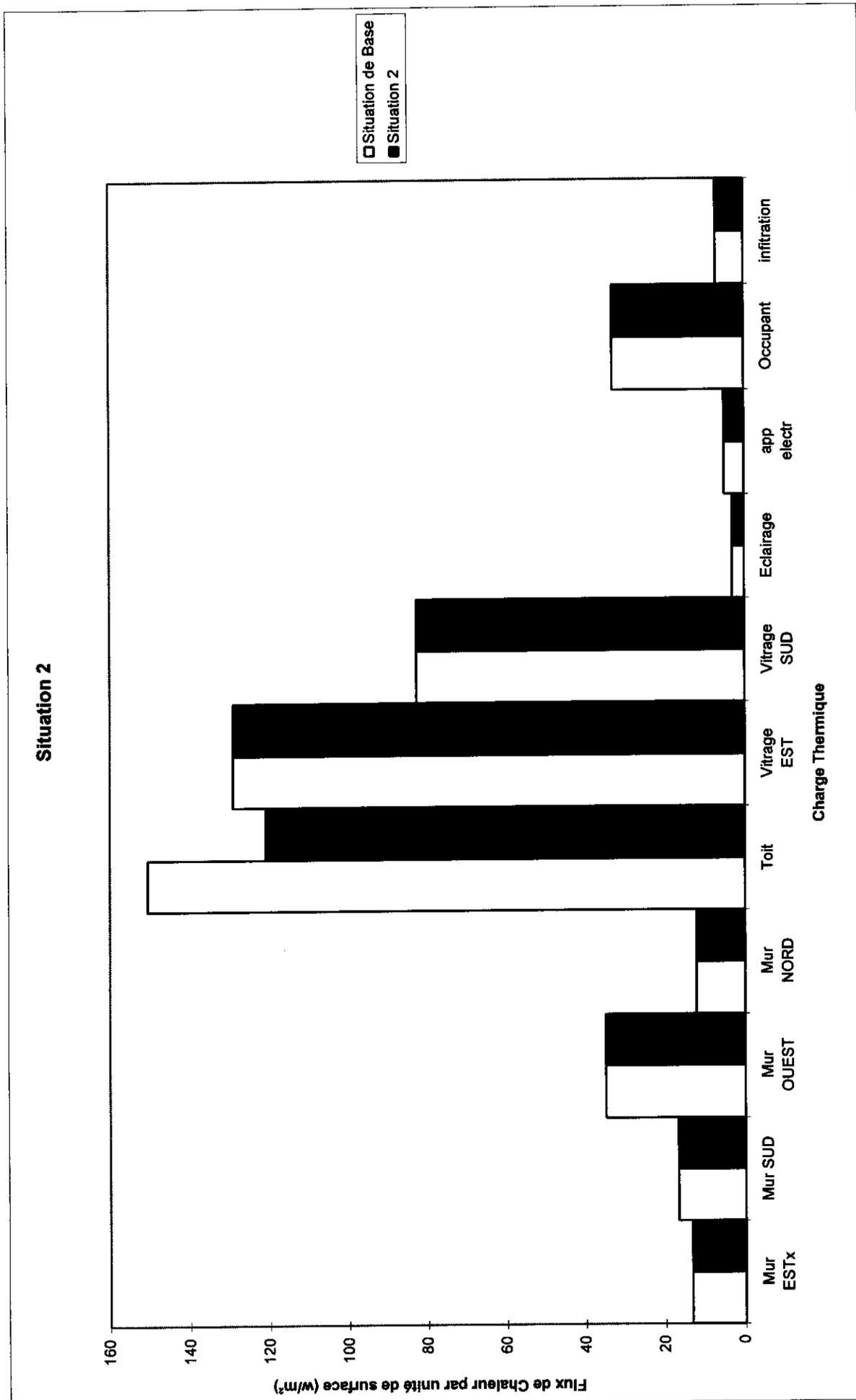


Situation 2: Toiture en tôle mais cette fois-ci de couleur claire (couleur blanche)

TABLEAU N° 7

Élément	Sensible (W)	latent (W)	Coeff.K (W/m ² K)	Surface m ²	W/m ²	%
Mur Est	144	0,00	2,35	10,80	13,33	3,21
Mur Sud	178	0,00	2,35	10,60	16,80	4,0
Mur Ouest	420	0,00	2,35	12,00	35,00	9,4
Mur Nord	183	0,00	2,35	15,00	12,20	4,0
Toit	2421	0,00	8,50	20,00	121,05	54,0
Vitrage Est	155	0,00	5,00	1,20	129,17	3,45
Vitrage Sud	331	0,00	5,00	4,00	82,75	7,4
Eclairage	60	0,00	-	20,00	3,00	1,3
Appareil électrique	100	0,000	-	20,00	5,00	2,0
Occupant	359	300	-	20,00	33,00	8,0
Infiltration	139	0,000	-	20,00	7,00	3,0
total	4490	300			458,45	100,0

De couleur moyenne (bleu, rouge vif, jaune, gris) à la couleur clair (gris, bleu, ou vers clair, rose, blanc) de la toiture en tôle le flux de chaleur qui passe à travers elle diminue de 20%. Cela s'explique du fait que le revêtement du toit de sa face exposée au soleil rend cette face réfléchissante, par conséquent, une partie du rayonnement absorbée est rejetée (20%).



Situation 3 : toiture constituée de tôle plus un contre plaqué séparé par une lame d'air.

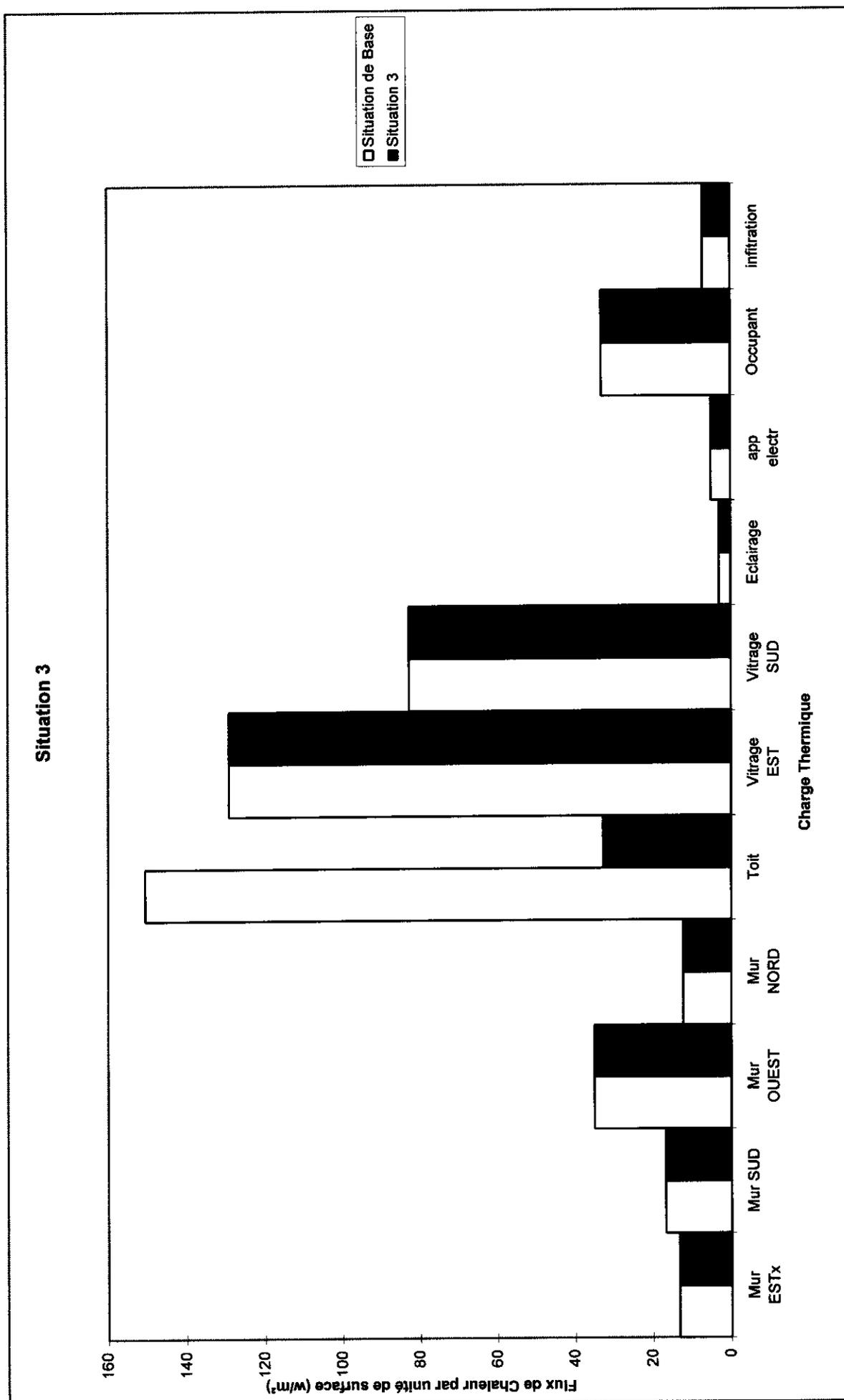
TABLEAU N°8

Elément	Sensible (W)	latent (W)	Coeff.K (W/m ² K)	Surface m ²	W/m ²	%
Mur Est	144	0,00	2,35	10,80	13,33	5,30
Mur Sud	178	0,00	2,35	10,60	16,80	6,5
Mur Ouest	420	0,00	2,35	12,00	35,00	15,5
Mur Nord	183	0,00	2,35	15,00	12,20	6,7
Toit	655	0,00	3	20,00	32,75	24
Vitrage Est	155	0,00	5,00	1,20	129,17	5,71
Vitrage Sud	331	0,00	5,00	4,3	82,75	12,2
Eclairage	60	0,00	-	20,00	3,00	2,2
Appareil électrique	100	0,000	-	20,00	5,00	3,7
Occupant	359	300	-	20,00	33,00	13,0
Infiltration	139	0,000	-	20,00	7,00	5,0
total	2715	300	-		389,76	

Ce cas de figure montre que la quantité de chaleur par unité de surface baisse plus de 70%. En effet, cette structure, très fréquente au Burkina-Faso (Tôle + lame d'air + faux-plafond), le contre plaqué joue le rôle de l'inertie thermique évoquée précédemment. Quant à l'isolation thermique elle est assurée par la lame d'air.

A la place d'air, on pouvait mettre de la laine de verre d'épaisseur de 5 cm.

Le principe est le même, seulement dans le dernier cas la quantité de chaleur par unité de surface baissera d'avantage, jusque 90%.

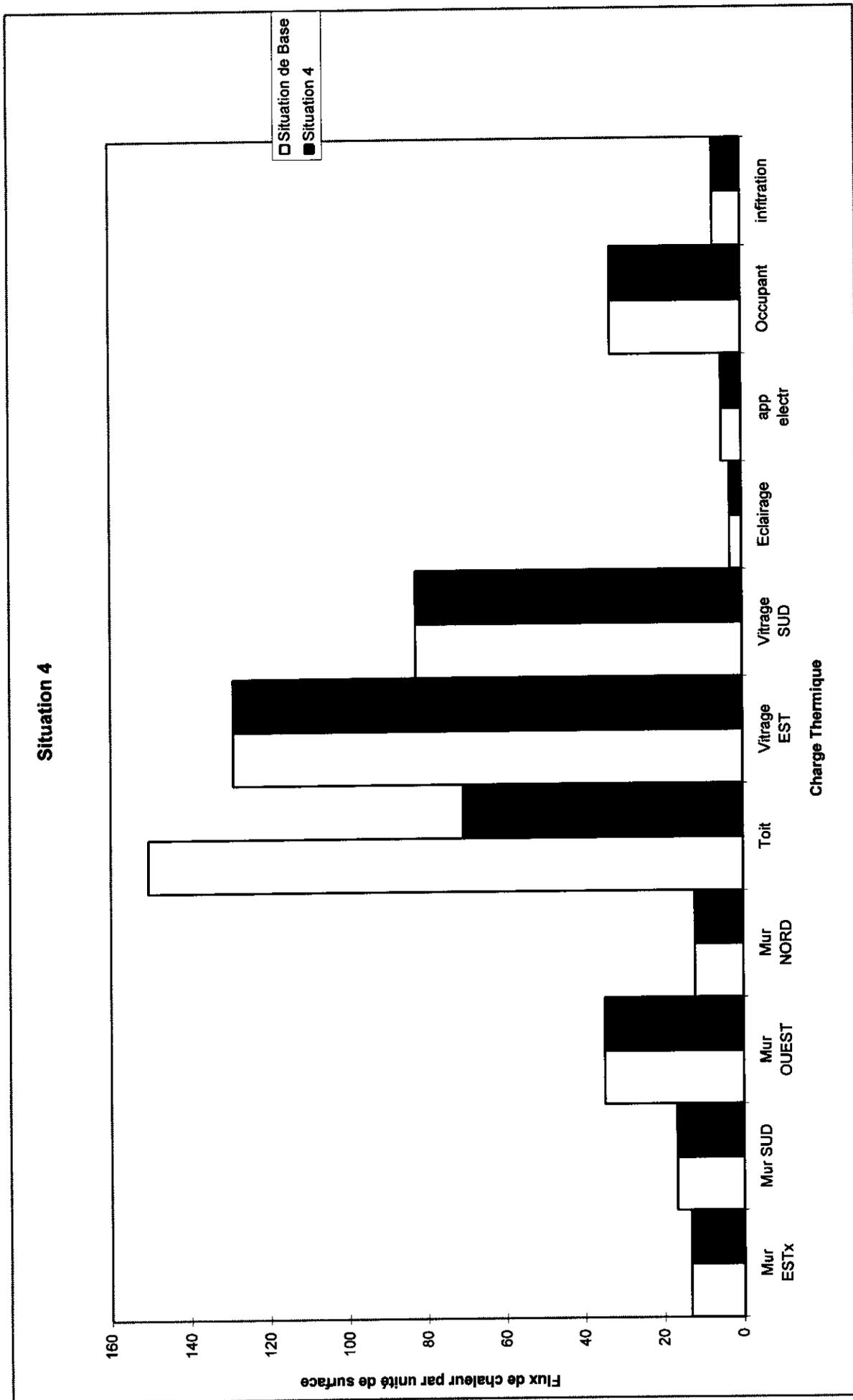


Situation 4 : toiture en tuile en terre stabilisée plus un faux plafond**TABLEAU 9**

Elément	Sensible (W)	latent (w)	Coeff.K (W/m ² K)	Surface m ²	W/m ²	%
Mur Est	144	0,00	2,35	10,80	13,33	4
Mur Sud	178	0,00	2,35	10,60	16,80	5
Mur Ouest	420	0,00	2,35	12,00	35,00	12,0
Mur Nord	183	0,00	2,35	15,00	12,20	5,25
Toit	655	0,00	3	20,00	32,75	40,0
Vitrage Est	155	0,00	5,00	1,20	129,17	414
Vitrage Sud	331	0,00	5,00	4,3	82,75	9,52
Eclairage	60	0,00	-	20,00	3,00	1,7
Appareil électrique	100	0,000	-	20,00	5,00	2,87
Occupant	359	300	-	20,00	33,00	10,3
Infiltration	139	0,000	-	20,00	7,00	4,0
total	2715	300	-		389,76	100,0

Nous constatons dans ce cas de figure la quantité de chaleur qui passe par la toiture diminue de 50%. Cela est lié non seulement à la couleur des tuiles légèrement plus claire mais aussi à son épaisseur relativement importante.

NB : Il existe d'autres tuiles tel que, les tuiles en terre cuite, tuile ciment fibreux ou tuile en amiante ciment. Du moment qu'ils présentent les mêmes caractéristiques que les tuiles en terre stabilisée nous avons jugé de ne pas étudier leur influence sur le bilan thermique.

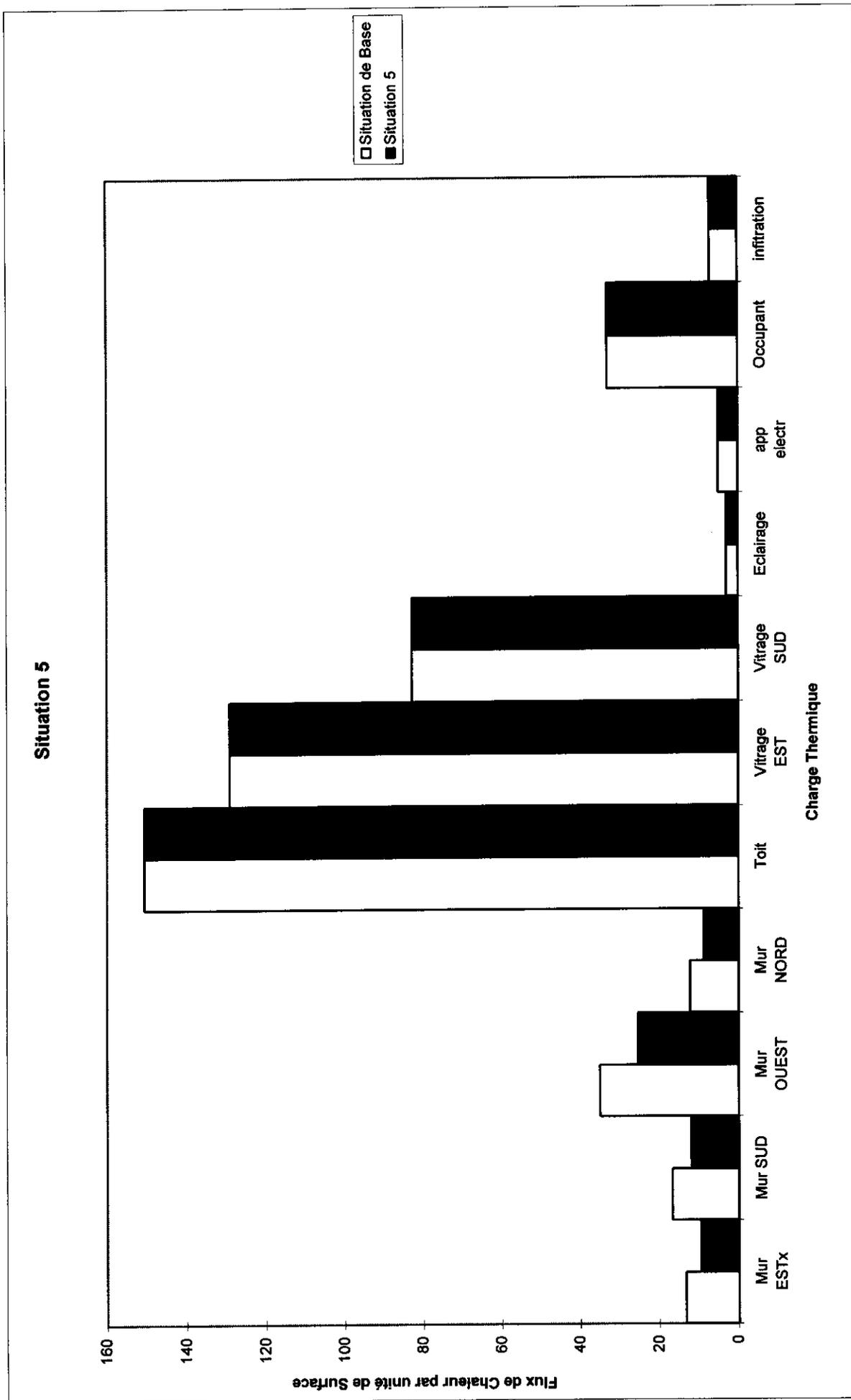


Situation 5 : Les murs sont de l'adobrique**TABLEAU 10**

Elément	Sensible (W)	latent (W)	Coeff.K (W/m ² K)	Surface m ²	W/m ²	%
Mur Est	104	0,00	1,70	10,80	9,63	2,15
Mur Sud	128	0,00	1,70	10,60	12,00	2,65
Mur Ouest	304	0,00	1,70	12,00	25,33	6,30
Mur Nord	132	0,00	1,70	15,00	8,800	2,74
Toit	3012	0,00	8,5	20,00	150,60	62,40
Vitrage Est	155	0,00	5,00	1,20	129,17	3,21
Vitrage Sud	331	0,00	5,00	4,0	82,75	6,90
Eclairage	60	0,00	-	20,00	3,00	1,24
Appareil électrique	100	0,000	-	20,00	5,00	2,0
Occupant	359	300	-	20,00	33,00	7,44
Filtration	139	0,000	-	20,00	7,00	2,9
total	4824	300	-	-	466,28	100,0

les murs sont en adobriques, le flux total thermique du local baisse de (5081 -4828) = 257, soit 5%.

Cette baisse de flux thermique par unité de surface de mur s'élève à 27% (comparé à celui de l'aggloméré de ciment). Le constat s'explique par la grande inertie thermique qu'offre l'adobrique. (Adobrique : épaisseur grande).



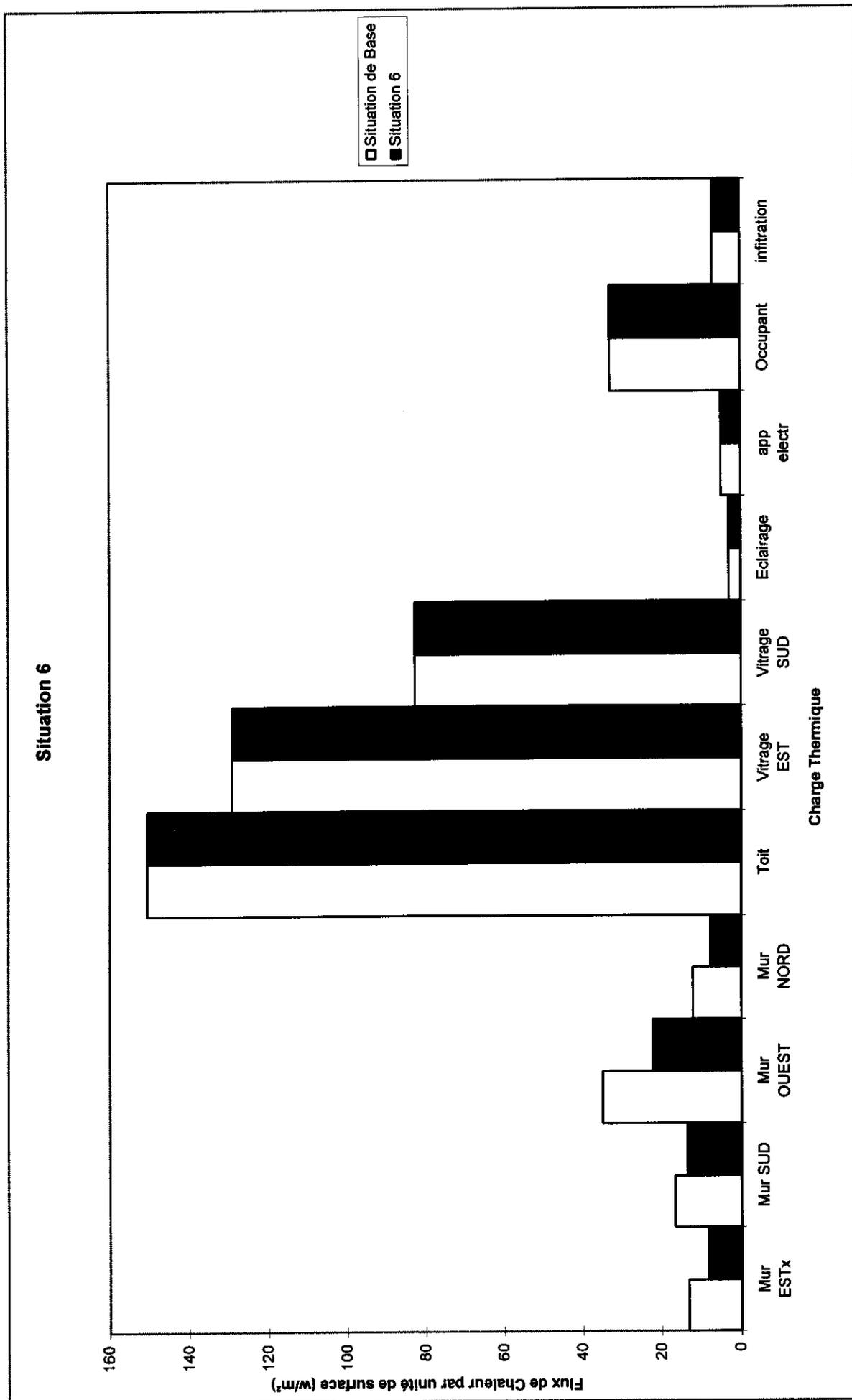
Situation 6 : Les murs sont en parpaing creux en aggloméré de ciment à double parement, avec deux enduits interne et externe.

TABLEAU N°11

Élément	Sensible (W)	latent (W)	Coeff.K (W/m ² K)	Surface m ²	W/m ²	%
Mur Est	92	0,00	1,5	10,80	8,52	1,92
Mur Sud	144	0,00	1,5	10,60	13,60	3,0
Mur Ouest	268	0,00	1,5	12,00	22,33	5,6
Mur Nord	117	0,00	1,5	15,00	7,80	2,45
Toit	3012	0,00	8,50	20,00	150,60	63,0
Vitrage Est	155	0,00	5,00	1,20	129,17	3,24
Vitrage Sud	331	0,00	5,00	4,0	82,75	7,0
Eclairage	60	0,00	-	20,00	3,00	1,25
Appareil électrique	100	0,000	-	20,00	5,00	2,0
Occupant	359	300	-	20,00	33,00	7,51
Filtration	139	-	-	20,00	7,00	3,0
total	4777	300,10	-	-	458,0	100,0

Nous constatons que les gains thermiques par unité de surface des murs Est, Ouest, Sud et Nord baissent respectivement de 36%, 36%, 19% et 36%. Cette forte baisse s'explique par simple raison de la forte inertie thermique (épaisseur de cloison des murs est relativement importantes.

L'essentiel de l'onde de chaleur est amorti par cette inertie.



Situation 7 : Les murs de couleur blanche.**TABLEAU N° 12**

Elément	Sensible (W)	Latent (w)	Coeff.K (W/m ² K)	Surface m ²	W/m ²	%
Mur Est	141,0	0,00	2,35	10,80	13,05	2,9
Mur Sud	163,0	0,00	2,35	10,60	15,70	3,4
Mur Ouest	341,0	0,00	2,35	12,0	28,42	7,0
Mur Nord	183	0,00	2,35	15,0	12,20	3,80
Toit	3012	0,00	5,0	20,00	150,60	62,0
Vitrage Est	155	0,00	8,50	20,00	129,17	3,20
Vitrage Sud	331	0,00	5,00	1,20	4	6,8
Eclairage	60	-	-	20,0	3,0	1,24
Appareil électrique	100	-	-	20,0	5,0	2,0
Occupant	359	300	-	20,0	33,0	7,4
Filtration	139	-	-	20,0	7,0	2,9
total	4844,0	300	-	-	396	100,0

Les parois extérieures des murs sont de couleur claire (blanche) Nous constatons que l'ensoleillement des murs est en baisse à l'exception du mur situé au Nord.

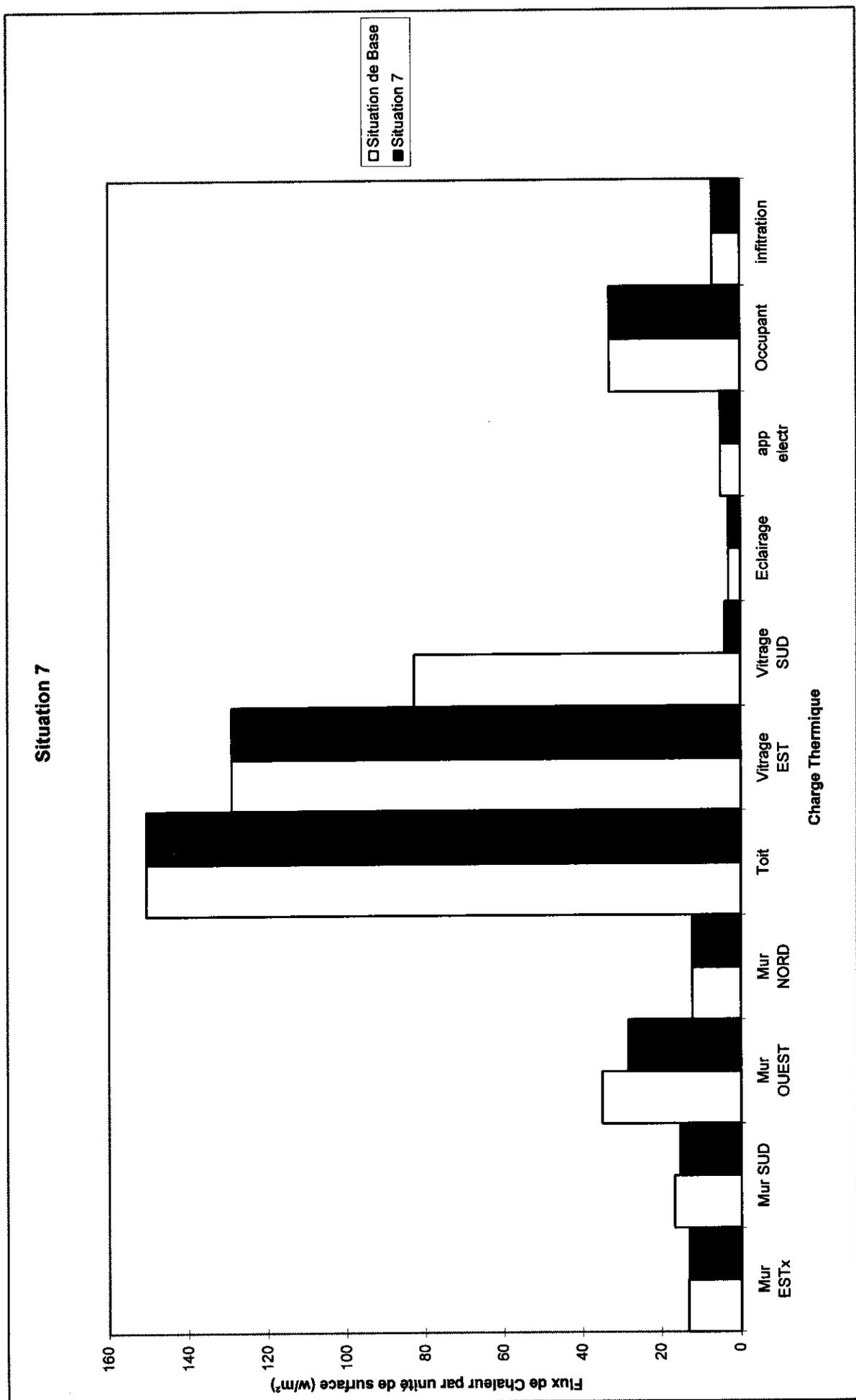
mur Est = 2%

mur Ouest = 19%

mur Sud = 8%

La quantité de chaleur qui passe à travers les murs par unité de surface diminue au fur et à mesure que la couleur des murs devient clair mais avec des proportions différentes.

Nous constatons aussi que l'influence de la couleur sur le mur situé au Nord est nulle (c'est un constat qui ne s'explique pas scientifiquement, mais il peut être lié à la qualité du logiciel de calcul).

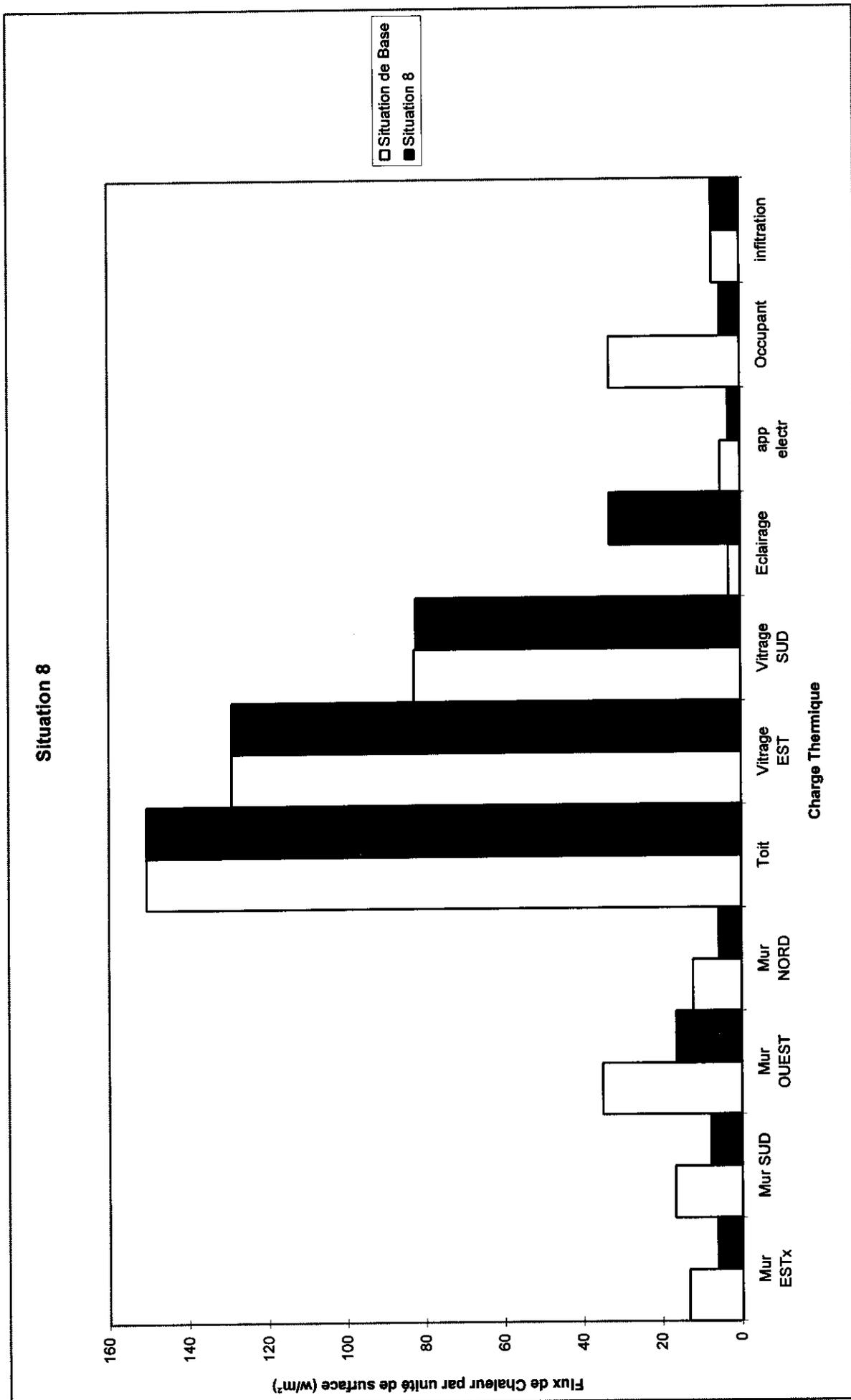


Situation 8 : Les murs sont cette fois-ci en brique pleines en terre stabilisée**TABLEAU 13**

Élément	Sensible (W)	Latent (W)	Coeff.K (W/m ² K)	Surface m ²	W/m ²	%
Mur Est	67,00	0,00	1,10	10,80	6,20	1,46
Mur Sud	83,00	0,00	1,10	10,60	7,83	1,80
Mur Ouest	197,00	0,00	1,10	12,00	16,42	4,30
Mur Nord	86,00	0,00	1,10	15,00	5,73	1,9
Toit	3012,00	0,00	8,5	20,00	150,6	65,60
Vitrage Est	155,00	0,00	5,0	1,20	129,17	3,4
Vitrage Sud	331,00	0,00	5,00	4,00	82,29	7,21
Eclairage	60,00	0,00	-	20,00	33	7,80
Appareil électrique	100,00	0,00	-	20,00	3,0	1,3
Occupant	359,00	300	-	20,0	5,00	2,18
Filtration	139,00	-	-	20,0	7,00	3,0
total	4589,00	300,00	-	-	446,24	100,0

Les murs sont cette fois-ci en terre stabilisée à froid (produit de SBF). Les résultats du bilan montrent, une baisse d'apport de chaleur à travers les murs de 53% par unité de surface :

Une brique en terre stabilisée possède une inertie thermique largement supérieure à celle de l'aggloméré de ciment. Les surfaces des alvéoles représentent 35 à 45% de la surface totale des murs.

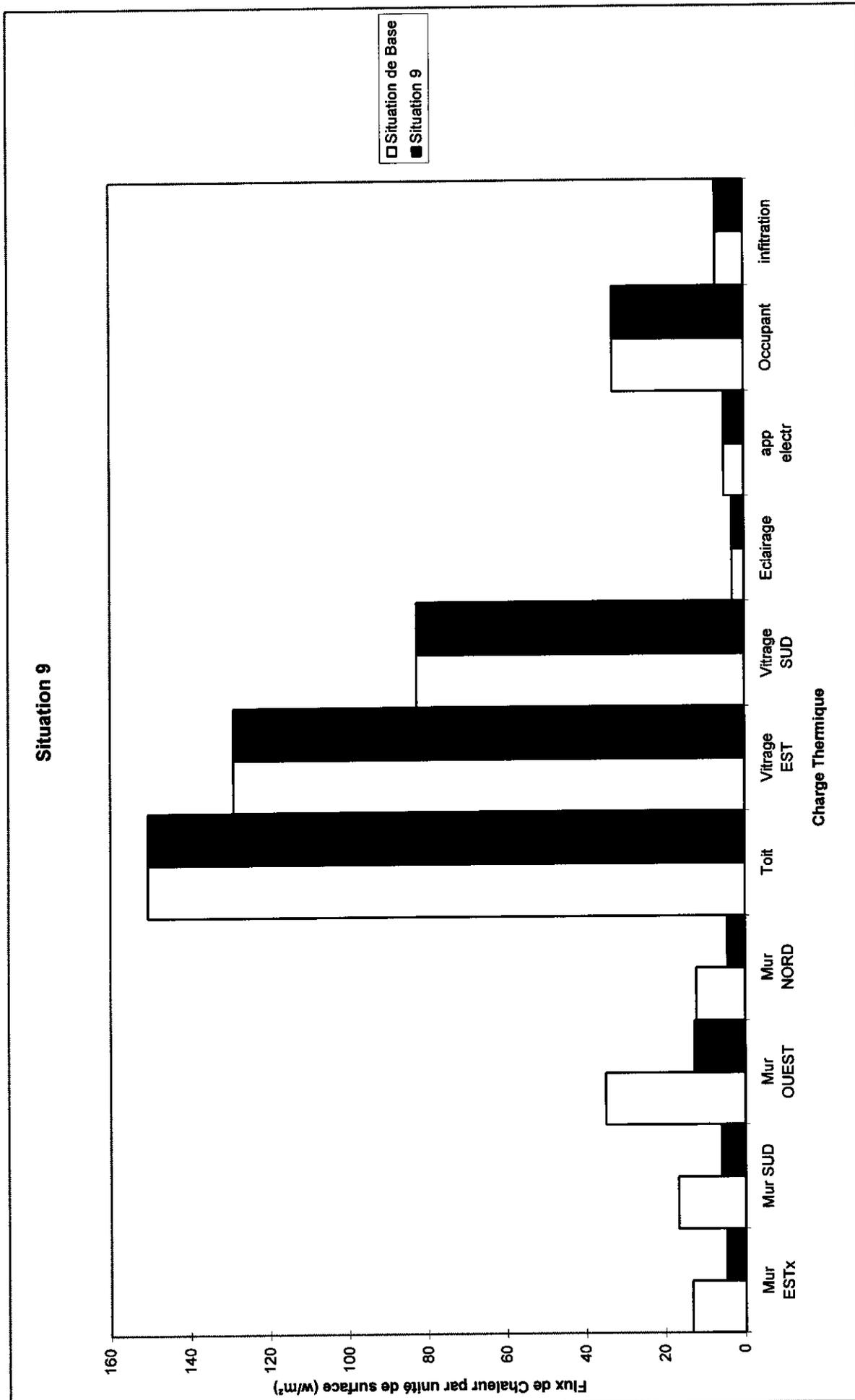


Situation 9 : Les murs sont cette fois-ci en parpaing en aggloméré de ciment à deux parements dissociés par une lame d'air.

TABLEAU 14

Elément	Sensible (W)	latent (W)	Coeff.K (W/m ² K)	Surface m ²	W/m ²	%
Mur Est	52,00	0,00	0,85	10,80	4,81	1,46
Mur Sud	64,0	0,00	0,85	10,60	6,00	1,4
Mur Ouest	152,0	0,00			12,67	3,4
Mur Nord	66,0	0,00	0,85	0,85	12,00	1,47
Toit	3012	0,00	8,5	20,00	150,60	67
Vitrage Est	155	0,00	5,00	1,20	129,17	3,45
Vitrage Sud	331	0,00	5,00	4,00	82,75	7,4
Eclairage	60	0,00	-	20,00	03,0	1,3
Appareil électrique	100,0	0,00	-	20,00	5,0	2,2
Occupant	359	300	-	20,00	5,00	8,0
Filtration	4490	300	-	20,00	33,0	3,0
total	4589,00	300,	-	-	441,40	100,0

Nous constatons une forte baisse de la qualité la chaleur par unité de surface de 64%. Pour permettre d'apercevoir les effets de lame d'air, nous comparons ces résultats de la situation 6 (deux permanent sans lame d'air), nous constatons que la lame a provoqué une baisse à travers les murs. Cette forte baisse du gain thermique s'explique par une grande inertie thermique (épaisseur grande) et en plus la présence de cette lame d'air comme isolant thermique entre les deux parements peut ralentir le passage de la chaleur à travers les murs.

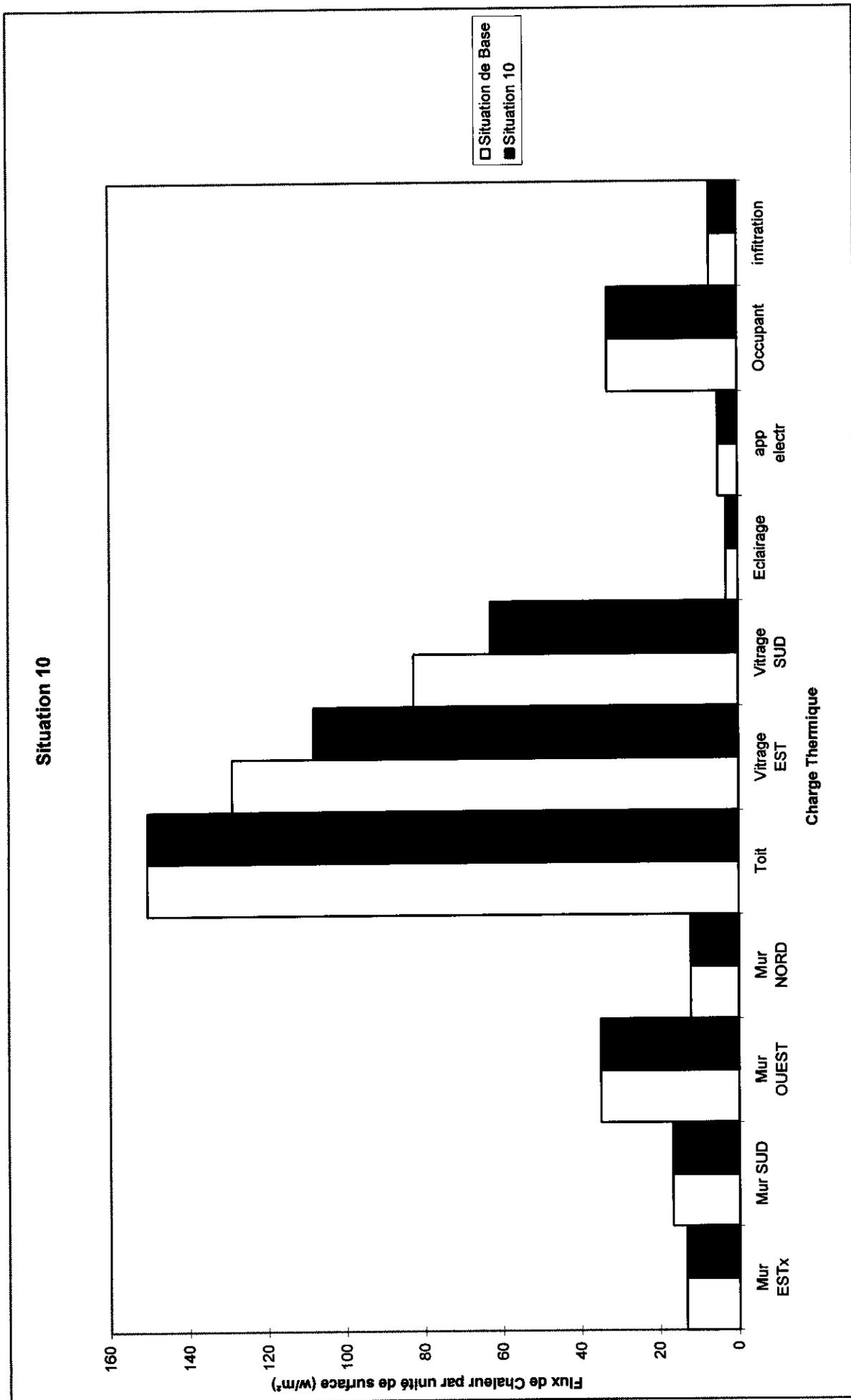


Situation 10 : Les fenêtres sont équipées chacune d'écran intérieur**TABLEAU 15**

Elément	Sensible (W)	latent (W)	Coeff.K (W/m ² K)	Surface m ²	W/m ²	%
Mur Est	144	0,00	2,35	10,80	13,33	6
Mur Sud	178	0,00	2,35	10,60	16,80	3,0
Mur Ouest	420	0,00	2,35	15,00	35,00	3,5
Mur Nord	183,00	0,00	2,35	15,00	12,20	8,40
Toit	3012	0,00	8,5	20,00	150,60	3,7
Vitrage Est	130	0,00	5,0	1,2	108,33	60,20
Vitrage Sud	271	0,00	5,0	4	63,0	2,60
Eclairage	60,00	0,00	-	20,0	3,0	5,42
Appareil électrique	100,00	0,00	-	20,00	5,00	1,20
Occupant	359,00	300	-	20,00	33,00	2,0
Filtration	139,0	300	-	20,00	7,00	7,20
total	4996	300,00	-	-	447,26	100,0

Placer des écrans intérieur au niveau des fenêtres, occasionne une baisse de chaleur à l'intérieur de local de 6%.

Cette baisse est due essentiellement au blocage des rayons solaires par l'écran. Ce Taux de baisse ne dépend que de la position de la fenêtre.



Situation 11 : Toiture en tôle avec le faux plafond renforcé par la laine de verre de 5 centimètre d'épaisseur.

TABLEAU N° 16

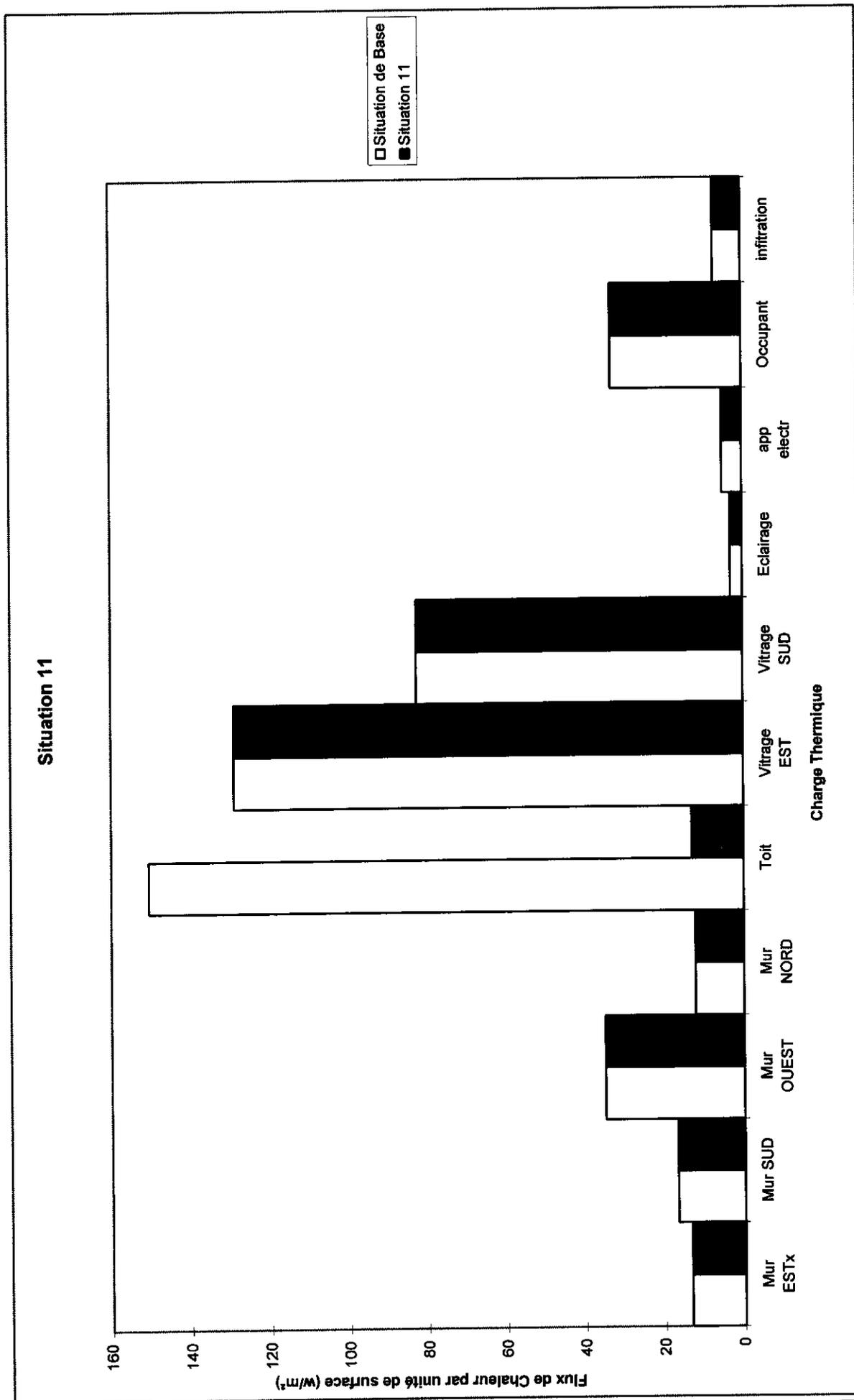
Élément	Sensible (W)	latent (W)	Coeff.K (W/m ² K)	Surface m ²	W/m ²	%
Mur Est	144,0	0,00	2,35	10,80	13,33	0,2
Mur Sud	178,0	0,00	2,35	16,60	16,79	7,6
Mur Ouest	420,0	0,00	2,35	12,00	35,00	18,0
Mur Nord	183,0	0,00	2,35	15,00	12,20	8,0
Toit	259	0,00	0,73	20,00	13,00	11,10
Vitrage Est	155	0,00	5,00	1,20	129,17	6,7
Vitrage Sud	331	0,00	5,00	4,0	82,75	14,0
Eclairage	60	0,00	-	20,0	3,0	2,60
Appareil électrique	100,0	0,00	-	20,0	5,00	430
Occupant	359	0,00	-	20,00	33,00	15,40
Filtration	139	300	-	20,0	7,0	6,00
total	2328	300	-			100,00

Le recours à la laine de verre d'épaisseur 5 centimètres sur le faux plafond afin de réduire le flux de chaleur qui passe à travers la toiture par unité de surface a été bénéfique;

Cette technique d'isolation a permis une réduction du flux de chaleur de 91% Par unité de surface de toit.

Ce constat s'explique par simple fait que laine de verre est un isolant de bonne qualité.

Si nous comparons cette situation à la situation 3 (tôle + le faux plafond) nous constatons le flux de chaleur est réduit de 58% par unité de surface. Cette baisse représente l'effet laine de verre comme isolant thermique (épaisseur 5 centimètres).

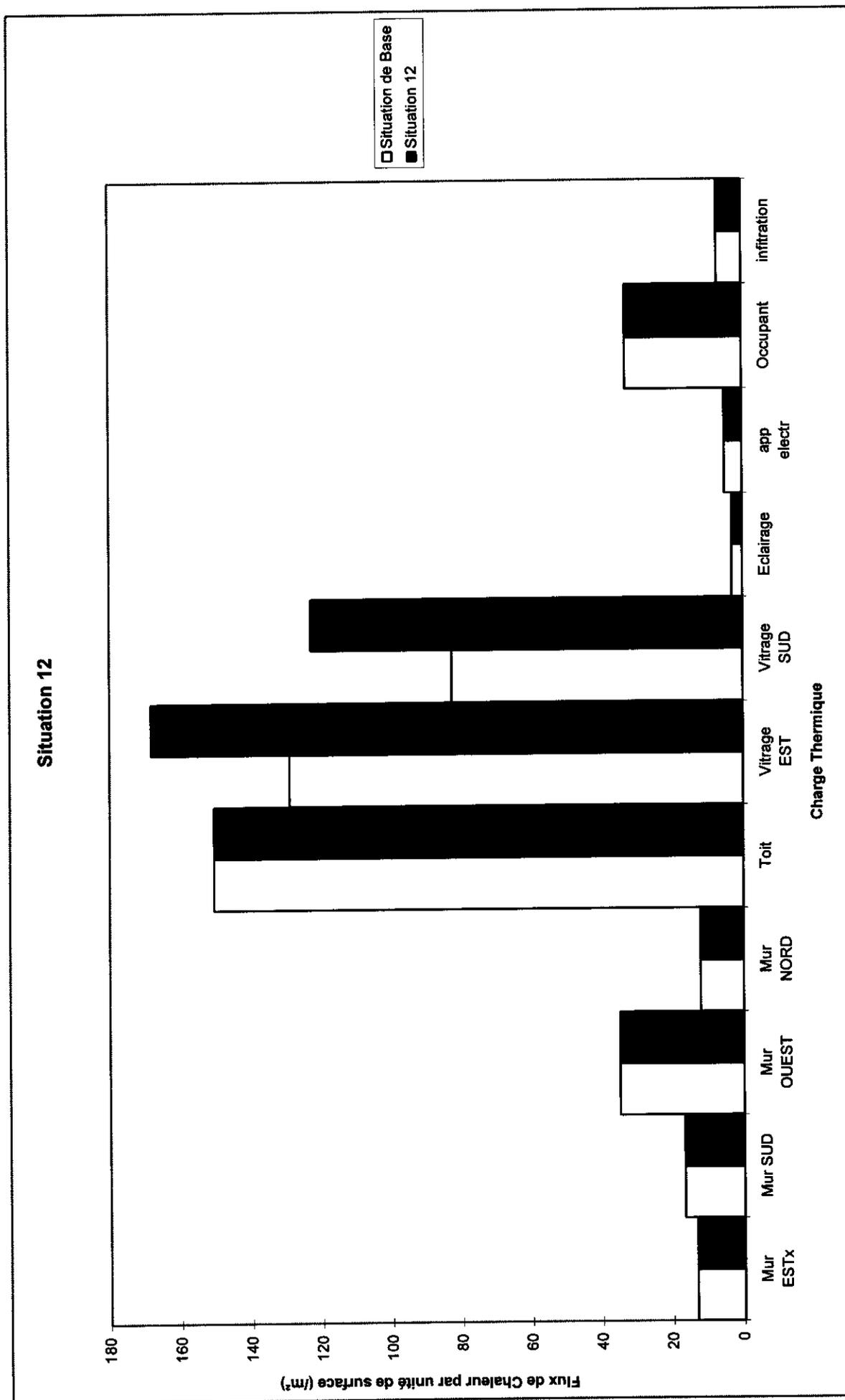


Situation 12 : Les portes et les fenêtres sont Ouvertes**TABLEAU N° 17**

Élément	Sensible (W)	latent (W)	Coeff.K (W/m ² K)	Surface m ²	W/m ²	%
Mur Est	144,00	0,00	2,35	10,80	13,33	2,7
Mur Sud	178,00	0,00	2,35	10,60	16,79	3,4
Mur Ouest	420,00	0,00	2,35	12,00	35,00	8,0
Mur Nord	183,0	0,00	2,35	15,00	12,20	3,5
Toit	3012	0,00	8,5	20,00	150,60	57,0
Vitrage Est	202,0	0,00	10,50	20,00	168,33	3,80
Vitrage Sud	492,0	0,00	10,50	4,0	123,0	9,30
Eclairage	60	0,00	-	20,00	3,0	1,13
Appareil électrique	100,0	0,00	-	20,00	5,0	1,9
Occupant	359	0,00	-	20,00	33,0	6,8
Filtration	139		-	20,0	7,0	2,6
total	5289	300				100,00

L'ouverture des fenêtres et des portes a modifié le bilan thermique global du local de 15%.

La température à l'intérieure est inférieure à celle de l'extérieur du local. Cette différence de température entraîne un courant d'air chaud de l'extérieur vers l'intérieur par conséquent la température du local augmente.



IV -2- POSSIBILITÉ D'AMÉLIORER LE CONFORT THERMIQUE DANS LE BÂTIMENT

A l'issue de cette étude de climatisation passive dans les régions chaudes et sèches d'une manière générale et Burkina Faso en particulier , le rayonnement solaire est l'une des principales sources d'échauffement de bâtiment (habitat).

Ce rayonnement peut être transmis directement au local, soit par l'intermédiaires des surfaces, ouvertures des murs: ou toit. Il s'avère donc nécessaire de diminuer l'exposition des bâtiments, de protéger efficacement les surfaces exposées et de rechercher une enveloppe externe présentant une inertie thermique suffisante.

Pour ce faire, nous proposons les mesures suivantes:

- Orientation du bâtiment par rapport aux rayons solaires
- Dispositifs de protection des surfaces exposées
- Matériaux , locaux de construction: enveloppe externe

IV.2.1 - Orientation du bâtiment par rapport aux rayons solaires

L'analyse du bilan thermique (situation 1) montre que les façades les plus frappées par le soleil sont les façades Est et Ouest. La solution est de construire des maisons allongées à l'Est et l'Ouest. C'est à dire que les grandes façades seront orientées Nord et Sud.

Pour une ventilation nocturne efficace, nous proposons que les ouvertures soient pratiquées sur les parties basses des façades orientées Nord- Sud. Deux ouvertures sont nécessaire (entrée d'air et sortie d'air) sur les murs opposés. Quant à la forme des ouvertures, de préférence de forme carrée (cf.: bibliographie [2])

IV.2.2 - Dispositifs de protection des surfaces exposées au soleil

Les dispositifs que nous proposons ci-après permettant de lutter contre le flux de chaleur accumulé ou transmis à l'intérieur du bâtiment.

A) Toiture:

Le choix de la toiture est particulièrement important, car c'est par elle que passe l'essentiel du flux solaire. Les solutions envisagées sont:

-La face extérieure de la toiture (exposée au soleil) doit être la plus réfléchissante possible à l'aide des revêtements de couleur claire. Dans ce cas une bonne partie du rayonnement solaire est rejetée (comme le montre situation 2) où nous constatons une baisse de 20% d'apport de chaleur.

- Quant il s'agit d'une toiture en tôle, il faut faire recours à ventilation, c'est une solution, c'est à dire que la tôle doit être complètement dissociée au faux-plafond (cf.: situation 3). Dans le même ordre d'idée, l'isolation du plafond par une épaisseur de 5 centimètres de laine de verre, permet aussi réduire le flux thermique de plus 90% comme le montre situation 11)

-l'usage des toits à grande inertie thermique réduit considérablement le flux thermique. Parmi ces toits nous pouvons citer:

Les Terrasses constituées de dalle en béton armé et revêtue d'une couche en mortier de ciment avec une épaisseur totale d'au moins 25 cm. Cette épaisseur offre en un déphasage de 8 heures de temps (cf. annexe II).

Les Terrasses constituées des hourdis creux

Le Banco: terre utilisée sous forme de brique moulée pour les murs et de la terre damée pour la toiture avec une épaisseur totale de 33 cm (déphasage huit heures).

L'Augmentation de la hauteur sous plafonds pour éloigner les occupants de la toiture, mais cette solution peut s'avérer coûteuse.

B Les murs externes

-L'isolation des murs ne doit pas être sur tous les cotés du bâtiment. Nous recommandons la présence des matériaux isolants ou une grande inertie ou de pratiquer des doubles cloisons séparées par une lame d'air sur les murs Est ou Ouest. On doit par contre éviter d'isoler les murs nord ou sud pour faciliter l'évacuation de la chaleur stockée pendant la nuit quand la température externe baisse (Cf. Bibliographie [1]).

-Quand il s'agit du revêtement des murs, c'est sans exception.

-Il importe que les fenêtres soient munies des fermetures afin d'éviter la ventilation passive, les heures ou la température de l'air externe du local est supérieur à celle du confort thermique.

-La ventilation nocturne est à favoriser par les ouvertures enfin d'évacuer la chaleur accumulée pendant le jour.

Protection des murs extérieurs contre le rayonnement solaire nous préconisons:

- des avancées des toitures au moins 0,5m.
- Implantation des arbres à une distance de deux mètres aux murs en question.

IV-2-3 Matériaux locaux de constructions

Les matériaux locaux de constructions sont une donnée à prendre en considération dès la conception. Ils interviennent tant par la nature intrinsèque d'isolant que par la qualité des matières utilisées (inertie thermique). Suite à ce constat, nous proposons les matériaux locaux de construction en fonction des structures pour lesquelles nous les utilisons au Burkina Faso.

Tableau N°18

Matériaux	mur	toit
Argile (terre)	brique moulée	terre damée épaisseurs 33 cm
Terre stabilisé à froid	brique pleine ou creuse	Tuile stabilisé épaisseur 12 mm
Elément périphérique	agglomerit de ciment (parping) creux	-Dalle en béton armée -(hourdis creux)
Amiante ciment		Tuiles (12 mm)
Terre cuite	brique pleine	tuile (12 mm)
adobe	adobrique	

CONCLUSION

Nous avons abordé cette étude avec pour objectif d'apporter une contribution à la recherche de solutions bioclimatiques (**climatisation passive**), permettant de se protéger du rayonnement solaire, minimiser les apports externes (**climatisation active**) et refroidir naturellement afin d'assurer le confort thermique minimal dans le bâtiment.

Au terme de celle-ci, il apparaît que les matériaux locaux de construction sont une donnée à prendre en considération dès la conception.

Il apparaît aussi clair que le concepteur de bâtiment peut apporter sa contribution à la recherche de solution bioclimatique par emploi des modèles informatiques de simulation dont le développement est en cours, permettant de réduire les apports calorifiques dans le bâtiment.

Nous n'avons pas pu atteindre le bout notre objectif pour la simple raison : le peu de temps accordé a la réalisation de cette étude , qui consiste à vérifier le confort thermique et son évolution au cours de l'année par des mesures de températures dans des constructions bioclimatiques.

Donc cette étude mérite d'être poursuivie dans ce sens.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]: **Yezouma coulibaly, cours de climatisation** EIER Ouagadougou 1997.
- [2]: République Française ministère de la coopération programme interministériel Rexcoop, **„BIOCLIMATISME EN ZONE TROPICALE** édition G R E T (groupe de recherche et d'échanges technologiques) .
- [3]: André Bonhomme, **L'ISOLATION THERMIQUE DES LOCAUX D'HABITATION LEGERE ET DES CONSTRUCTION SCOLAIRES** ,édition MINUTEUR DES TRAVAUX PUBLICS ,1967.
- [4]: **MEMOSOL MEMENTO D'HELIOCHNIQUE**, édition EUROPEENNE : technique et industrie.
- [5]: **YVES JANNOT, COURS ECHANGE THERMIQUE**, EIER Ouaga, 1992.
- [6] : **TOITURES EN ZONES TROPICALES ARIDES** , édition G R E T (groupe de recherche et d' échanges technologiques)
- [7]: **ZOUKATE ALPHONSE TUINA, COURS D' HABITAT**, EIER Ouagadougou , 1997
- [8]: **Y JANNOT et THOMAS DJIAKO**, International of réfrigération, 1994 liance house Jordan Hills ox2 8 DP 4K.
- [9]: **CARRIER MANUEL 1^{er} BILAN THERMIQUE**, carrier corporation 1960 2^e édition
- [10]: **Y JANNOT, T . DJIAKO, économie d'énergie et le confort thermique dans l' habitat en zone tropicale** EIER mars 1992.
- [11]: **A LIBERT INGEENIEUR -CIVIL, LE CALCUL DES CHARGES CALORIFIQUES EN CONDITIONNEMENT D'AIR**, numéro spécial de chaud . froid . plomberie.

ANNEXE I

L'influence relative des différents paramètres

A partir d'une situation de base: (individu assis, un travail de source ($n_t = 125 \text{ W}$), habillé en tenue d'été (pantalons + chemise : $RV = 0,078 \text{ m}^2 \text{ c/W}$ dans l'ambiance suivante: $\theta = 32^\circ \text{C}$; $\theta_r = 32^\circ \text{C}$ $E = 50\%$ et $V = 0,5 \text{ m/s}$ conduisant à un $PMV = 2,2$ (chaud), nous allons faire varier successivement chacun des paramètres pour évaluer leur influence sur la sensation thermique

θ = température de l'air $^\circ\text{C}$

θ_r = température radiante $^\circ\text{C}$

E = humidité relative de l'air

V = vitesse de l'air

PMV = note moyenne prévisible

RV = résistivité thermique moyenne de vêtements

a) Température

θ $^\circ\text{C}$	24	26	28	30	32	34	36
PMV	0,2	0,7	1,2	1,7	2,2	2,7	3,2

a) Température radiante

θ_r ($^\circ\text{C}$)	24	26	28	30	32	34	36
PMV	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6

Notons qu'un écart supérieur à 3°C entre θ et θ_r peut conduire à une situation d'inconfort.

c) Vitesse de l'air

V (m/s)	0,00	0,10	0,30	1,0	1,5
PMV	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1

La vitesse de l'air doit être limitée à 1,5 m/s. Une vitesse supérieure à 0,5 m/s peut provoquer une gêne.

d) Humidité relative de l'air

e%	5%	20%	40%	50%	60%	80%	100%
PMV	1,7	1,8	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8

L'humidité relative doit être comparative entre 30 et 80 % : en dessous de 30 30% (cas de Ouagadougou en saison sèche), il se produit une irritation de muqueuses et au dessus de 80% On peut observer une gêne respective

e) Résistance du vêtement

Rv (m ² e/w)	0,016	0,047	0,078	0,124	0,155
PMV	1,80	2,04	2,2	2,3	2,4

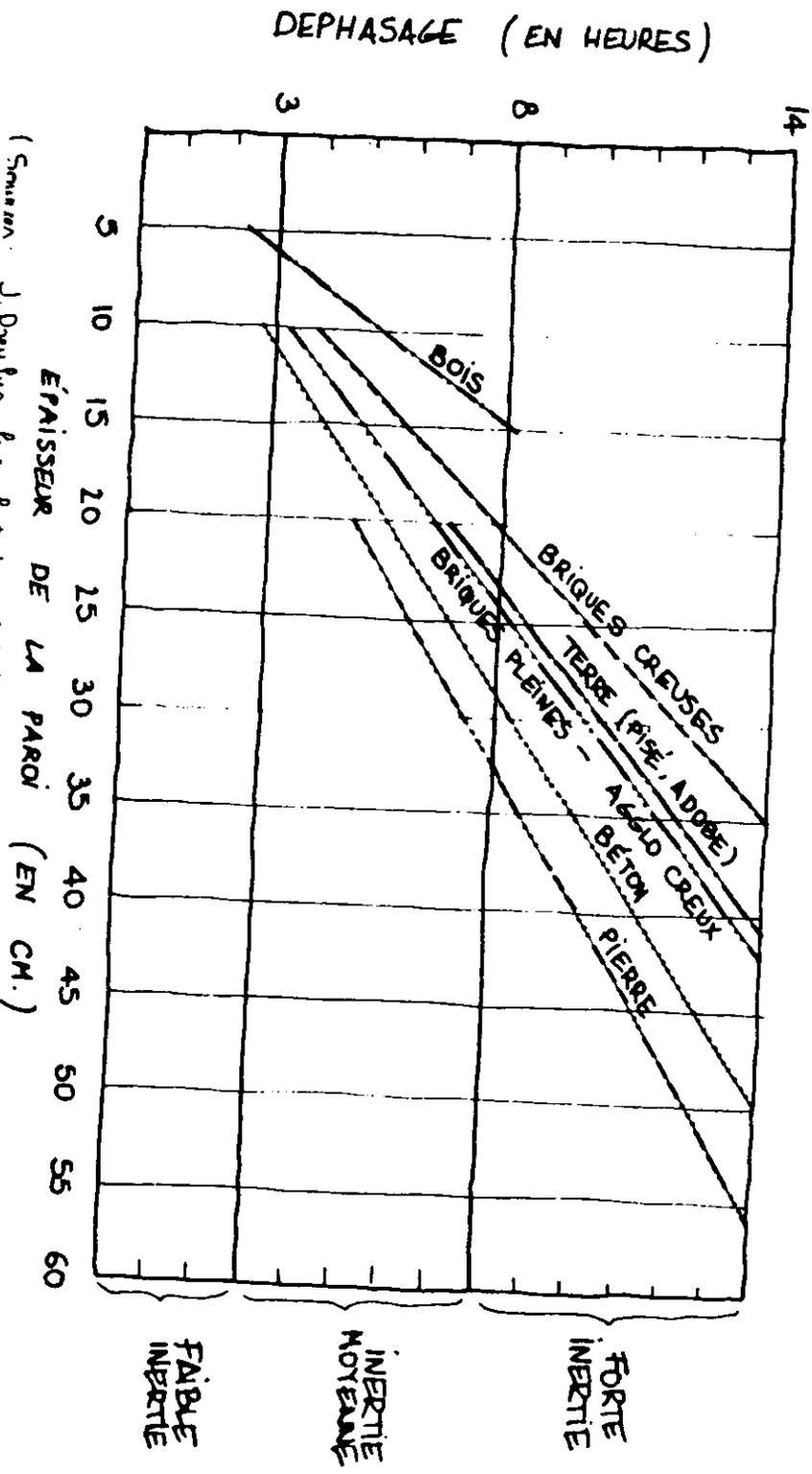
F) Métabolisme

(h(w))	75	110	125	130	210
PMV	2,1	2,2	2,2	2,2	2,4

ANNEXE II

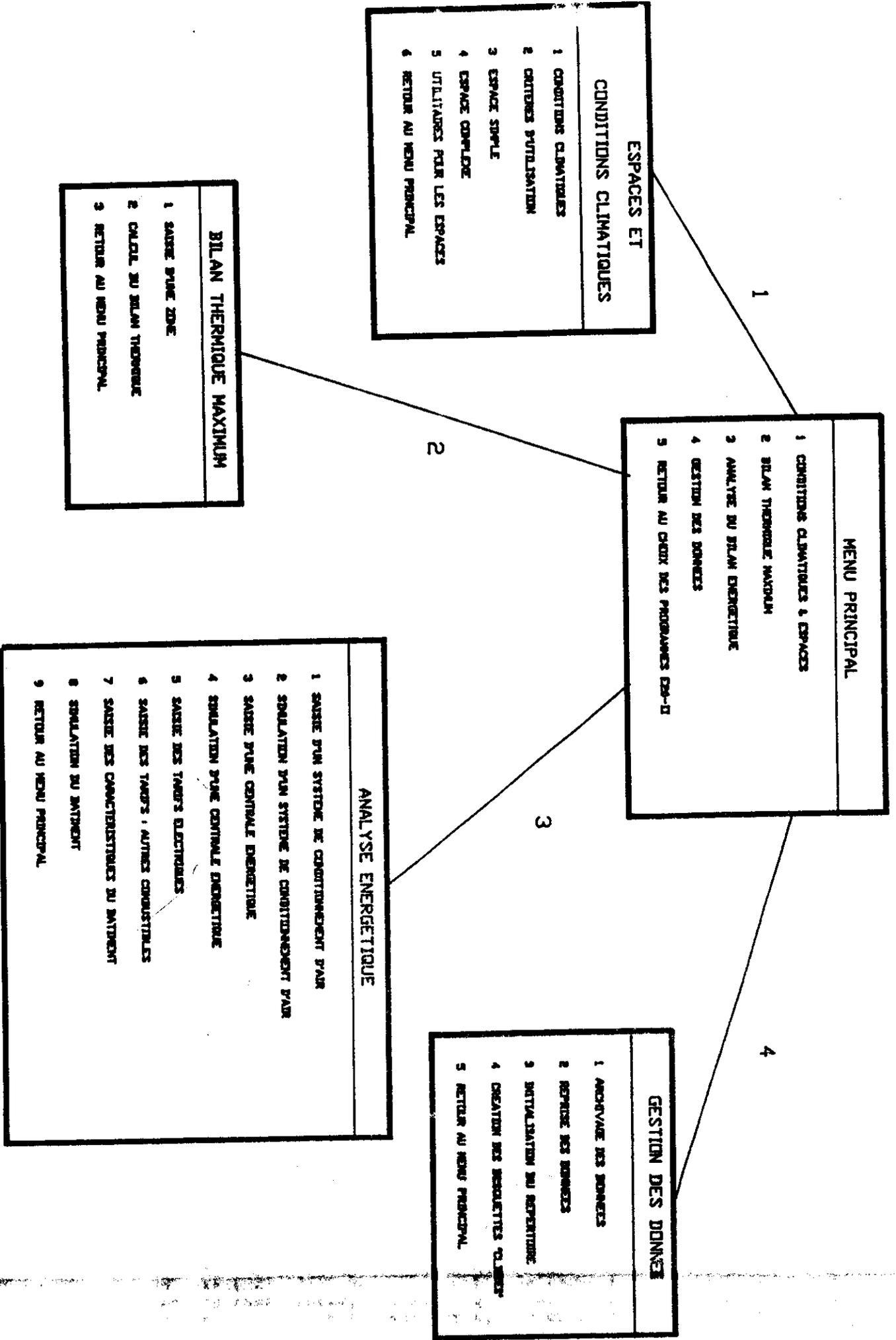
INERTIE (DÉPHASAGE)

Il est facile de calculer le déphasage pour des Acier homogènes, en régime périodique (c'est à dire en supposant que les températures sont régulières et uniformes varient régulièrement sur une période de 24 heures).



(Sources : J. Duru Lavo : Le confort dans l'habitat et C. Haberman : Climatologie)

ANNEXE III



MENU PRINCIPAL

- 1 CONDITIONS CLIMATIQUES & ESPACES
- 2 BILAN THERMIQUE MAXIMUM
- 3 ANALYSE DU BILAN ENERGETIQUE
- 4 GESTION DES DONNEES
- 5 RETOUR AU CROIX DES PROGRAMES ESP-D

ESPACES ET CONDITIONS CLIMATIQUES

- 1 CONDITIONS CLIMATIQUES
- 2 CRITERES D'UTILISATION
- 3 ESPACE SIMPLE
- 4 ESPACE COMPLEXE
- 5 UTILITAIRES POUR LES ESPACES
- 6 RETOUR AU MENU PRINCIPAL

BILAN THERMIQUE MAXIMUM

- 1 SAISIE PUNE ZONE
- 2 CALCUL DU BILAN THERMIQUE
- 3 RETOUR AU MENU PRINCIPAL

ANALYSE ENERGETIQUE

- 1 SAISIE PUN SYSTEME DE CONDITIONNEMENT D'AIR
- 2 SIMULATION PUN SYSTEME DE CONDITIONNEMENT D'AIR
- 3 SAISIE PUNE CENTRALE ENERGETIQUE
- 4 SIMULATION PUNE CENTRALE ENERGETIQUE
- 5 SAISIE DES TAMPERS ELECTRIQUES
- 6 SAISIE DES TAMPERS : AUTRES CONDUCTIBLES
- 7 SAISIE DES CARACTERISTIQUES DU BATIMENT
- 8 SIMULATION DU BATIMENT
- 9 RETOUR AU MENU PRINCIPAL

GESTION DES DONNEES

- 1 ARCHIVAGE DES DONNEES
- 2 REPRISE DES DONNEES
- 3 INITIALISATION DU REPERTOIRE
- 4 CREATION DES BROCHETTES 'CLIMATS'
- 5 RETOUR AU MENU PRINCIPAL

ANNEXE IV

RESULTATS DETAILLE ELEMENT PAR ELEMENT

Nom de la zone : EIER
Site : Ouagadougou
Projet : Mémoire de fin d'étude
Date : 12-05-97
Heure : 15 heures

Nom d'espèce: Cabane

Elément	Sensible (w)	Latent (w)	coefficient K	Surface (m ²)	w/ m ²	%
Mur Sud	179	0	2.35	11.1	16.13	8.13
Mur Ouest	349	0	2.35	12.	29	14.62
Vitre Sud	40	0	5	1.0	40	20
Infiltration	73	29		20	5	1.82
Gain électrique	100	0		20	5	2.52
Mur Nord	203	0	2.35	15	13.53	6.82
Mur Est	154	0	2.35	10.8	14.26	7.2
Toit	241	0	.73	20.0	12.05	6.07
Vitrage Est	52	0	5	1.2	43	21.67
Eclairage	75	0	0	20	3.75	1.9
Occupant	359			20	18	9
Total	1852	29				100

Malgres, l'isolation thermique du toit à l' aide fe laine de verre d' une épaisseur de 5 cm ,la quantité de chaleur qui passe à travers le toit demeure non négligeable;

Le flux de chaleur par unité de surface par element de structure varie de 5 w/m² à 43w/m²;

Villa N°3 A EIER cité EER

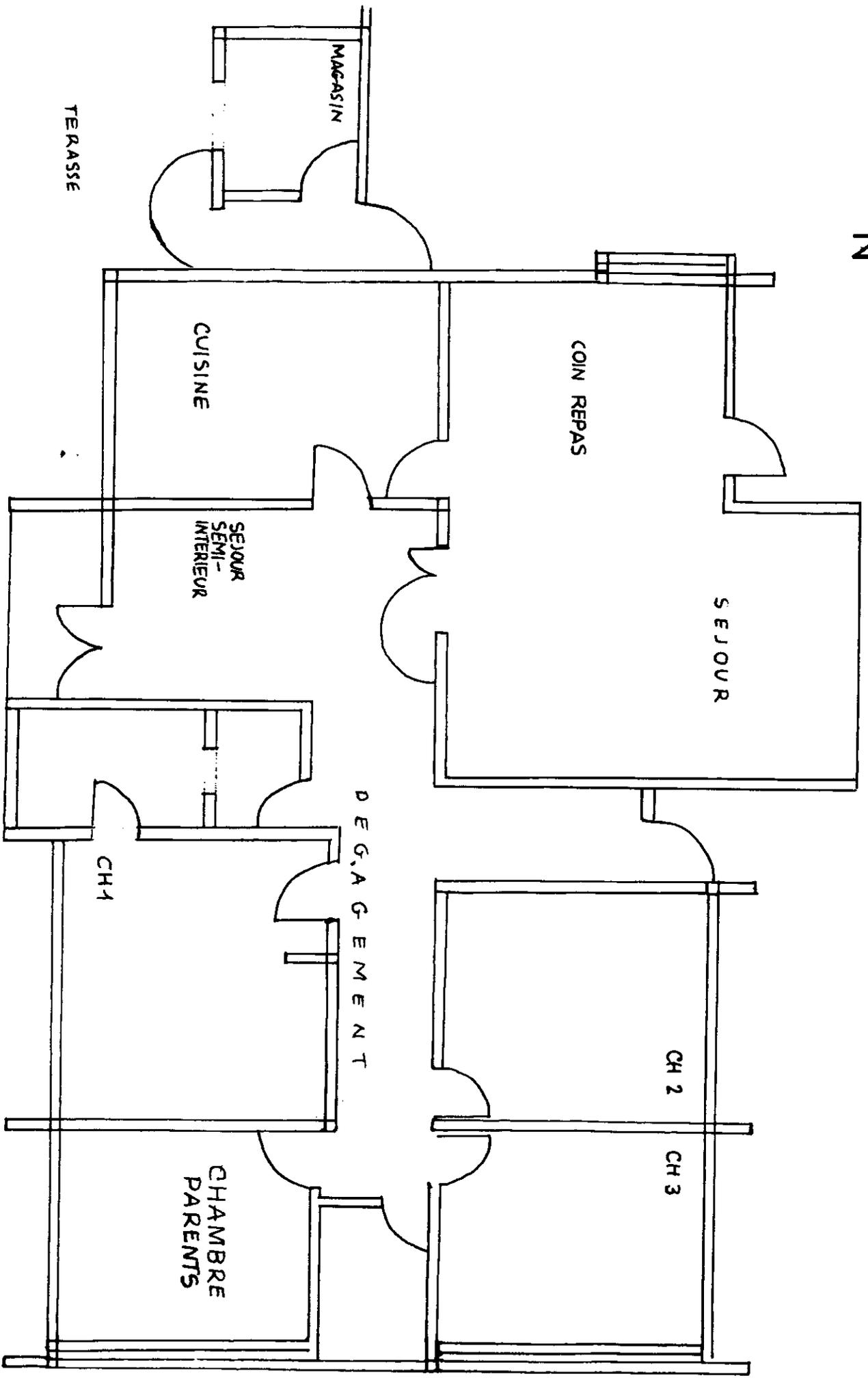
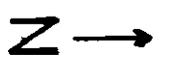


Fig 4

Nom de la zone : Villa N°3A Cité EIER
Site : Ouagadougou
Projet : Mémoire de fin d'étude
Date : 12-05-97
Heure : 15 heures

Nom de l' espèce: coin de repas

Element	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient k	Surface m ²	w/m ²	%
Mur Est	99	0	2.35	6.8	14.56	3.34
Mur Ouest	213	0	2.35	6	35.5	8.14
Mur Nord	111	0	2.35	8.3	13.37	3.06
Mur Ouest	214	0	1.35	10.5	20.38	4.68
Toit	749	0	.73	56	13.19.	3.03
Vitrage Est	644	0	5	5	128.8	29.55
Vitrage Sud	137	0	5	1.9	72	16.54
Vitrge Nord	718	0	5	5.9	121.69	28
Mur de separ;	111	0	6.8	2.35	16.32	3.74
Infiltration	73	29		20	5	1.8
total	3069	29				100

Dans cette espace , il existe deux types de murs coté ouest :

- Un mur simple
- un mur avec un parement double dont le coeffecient global de transmission k= 1.35

Nom de l' espèce: chambre 1

Element	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient k	Surface m ²	w/m ²	%
M Sud	186	0	2.35	10.9	17	16
Toit	224	0	0.73	17	13	12
Vitrge Sud	135	0	5.00	1.9	71	66
Infiltration	73	29	-	17	6	6
total	618	29		46.8	107	100

Nom de l' espèce: chambre 2

Element	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient k	Surface m ²	w/m ²	%
Mur Nord	117	0	2.35	8.6	13.6	8
Toit	343	0	0.73	26	13.2	7.8
Vitrge Nord	231	0	5.00	1.9	121.58	72
Séparation	73	29	-	26	4	2.4
Infiltration	35	0	2.35	2.1	16.67	10
total	726				169.05	100

Nom de l' espèce: chambre 3

Element	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient k	Surface m ²	w/m ²	%
Mur Nord	169	0	2.35	12.5	13.52	9
Toit	185	0	0.73	14	13.21	9
Vitrge Nord	196	0	5	1.9	103.16	71
M Est	95	0	1.35	12	8	5.5
Infiltration	73	29	-	14	7.3	5.03
total	712	29	-	54.4	145.19	100

Nom de l' espèce: chambre 4

Element	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient k	Surface m ²	w/m ²	%
Mur Est	167	0	2.35	11.4	14.65	12
Toit	167	0	0.73	12.7	13.15	11
Vitrge Sud	135	0	5	1.9	71.05	58
M Sud	135	0	2.35	7.8	17.3	14
Infiltration	73	29	-	14	7.3	6
total	677	29		47.8	123.45	100

Nom de l' espèce: Cuisine

Elément	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient K	Surface (m ²)	w/ m ²	%
Mur Sud	68	0	2.35	3.9	17.44	4
Mur Ouest	277	0	2.35	7.8	35.51	8
Toit	119	0	0.73	9	13.12	3
Vitrage Sud	89	0	5	1.3	68.46	16
V. Ouest	343	0	-	1.2	285	66
Infiltration	73	29		9	11	3
Total	969	29		32.2	431	100

Nom de l' espèce: Magasin

Elément	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient K	Surface (m ²)	w/ m ²	%
Mur Sud	120	0	2.35	7	17	7
Mur Ouest	266	0	2.35	7.5	35.5	15
Toit	185	0	0.73	14	13	6
Vitrage Sud	325	0	5	3.2	102	44
V. Nord	76	0	5	2	38	16
Infiltration	73	29	-	9	11	5
Séparation	132	0	2.35	8	16.45	7
Total	1177	29		51	233	100

Nom de l' espèce: W1

Elément	Sensible (w)	Latent (w)	coefficient K	Surface (m ²)	w/ m ²	%
Mur Est	22	0	2.35	1.5	15	12
Mur Sud	71	0	2.35	4.2	17	14
Toit	132	0	0.73	10	13.20	11
Vitrage Sud	71	0	5	1	71	58
Infiltration	73	29	-	1	7.3	6
Total	369	29		28	123	100

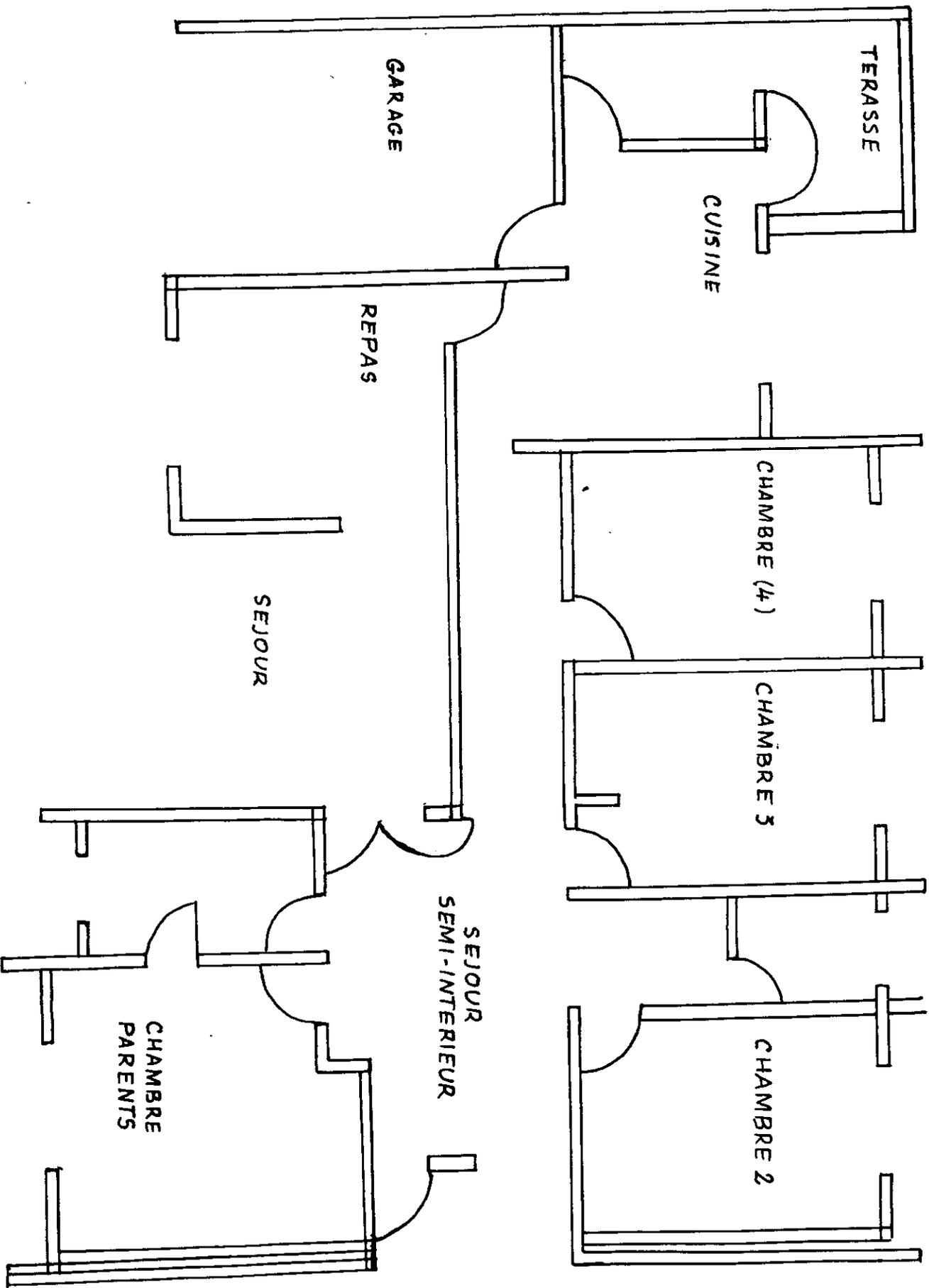
Nom de l' espèce: Toilette

Element	Sensible (w)	Latent (w)	coefficient k	Surface m ²	w/m ²	%
Mur Nord	69	0	2.35	4.3	16	10
Toit	253	0	0.73	19.2	13.2	8
Vitrge Nord	129	0	5	1	129	79.8
Infiltration	73	0	-	19	3.8	2.3
total	524	72			177	100



villa n°1A cité EIER

Fig 5



Nom de la zone : Villa N°1 DIACK
Site : Ouagadougou
Projet : Mémoire de fin d'étude
Date : 12-05-97
Heure : 15 heures

Nom de l' espèce: chambre Parent

Element	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient k	Surface m ²	w/m ²	%
M Sud	174	0	2.35	10.1	17	15
M Est	113	0	1.35	13.5	8	7
Toit	243	0	0.73	18.4	13	12
Vitrge Sud	128	0	5	1.8	71	63
Infiltration	141	56		18	2.52	3
total	799			63	112	100

Nom de l' espèce: chambre 2

Element	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient k	Surface m ²	w/m ²	%
Mur Nord	122	0	2.35	9	13	15
Mur Est	95	0	1.35	12	7.9	9
Toit	102	0	0.73	7.7	13.25	15.6
Vitrage N.	53	0	5	1.4	37.85	45
Infiltration	141	56		15	13	15
total	513	56		45.1	85	100

Nom de l' espèce: chambre 3

Element	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient k	Surface m ²	w/m ²	%
Mur Sud	110	0	2.35	8	14	5
Toit	166	0	0.73	13	13	5
Vitrge O.	229	0	5	1	172	67
Vitrage N.	310	0	5	8	37	15
Infiltration	70	28		13	3	1
Séparation	329	0	2.35	20	16	6.5
total	1214	28		63	254	100

Nom de l' espèce: chambre 4

Element	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient k	Surface m ²	w/m ²	%
Mur Sud	110	0	2.35	8.2	13.41	3.6
Toit	166	0	0.73	12.6	13.17	3.5
Vitrge O.	229	0	5	0.8	286.25	77
Vitrage N.	310	0	5	8.2	37.8	10
Infiltration	70	28		13	5.4	1.5
Séparation	329	0	2.35	20	16.45	4.5
total	1214	28		63	372.5	100

Nom de l' espèce: Séjour-Repas

Elément	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient K	Surface (m ²)	w/ m ²	%
Toit	616	0	0.73	46.7	13	12
Vitrage Sud	83	0	5	2.2	38	34
V. Ouest	32	0	5	0.8	40	36
Infiltration	141	59		34	4.15	4
Séparation	612	0	2.35	37.2	16.45	15
Total	1484	59		121		100

Nom de l' espèce: RANGT Cuisine

Elément	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient K	Surface (m ²)	w/ m ²	%
Mur Ouest	319	0	2.35	9	35	11
Toit	617	0	0.73	46.7	13	4
V. Ouest	229	0	5	0.8	286	54
V. Sud	76	0	5	2	38	12
V. Nord	140	0	5	3.7	38	12
Infiltration	141	59		30	2.5	1
Séparation	329	0	2.35	20	16.45	5
Total	1851	59		112.2	315.37	100

Nom de l' espèce: WC - Salle de Bain

Elément	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient K	Surface (m ²)	w/ m ²	%
Mur Sud	93		2.35	5.7	17	25
Toit	100		0.73	7.6	13	19
Vitrage Sud	25		5	0.7	36	52
Infiltration	70	28		8	3	4
Total	288	28			69	100

Nom de l' espèce: Toilette

Element	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient k	Surface m ²	w/m ²	%
Mur Nord	63	0	2.35	4.7	1.3	2
Toit	84	0	0.73	7.7	11	15
Vitrge Nord	23	0	5	0.6	38	51
Infiltration	70	28		4	25	33
total	240				75	100

Nom de l' espèce: Séjour

Element	Sensible (w)	Latent (w)	coeffecient k	Surface m ²	w/m ²	%
Mur Est	131	0	2.35	9	15	38
Toit	251	0	0.73	19	13	35
Infiltration	141	56		19	10	27
total	523				38	100

