



UNIVERSITAS INDONESIA



UNIVERSITE DE LA ROCHELLE

**ETUDÉ DU COMPORTEMENT THERMO-AÉRAULIQUE DE
BATIMENT COMMERCIAUX DE GRAND VOLUME**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

REMON LAPISA

0906579336

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

DEPOK

AGUSTUS 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
Telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Remon Lapisa

NPM : 0906579336

Tanda tangan : 

Tanggal : 2 Agustus 2011

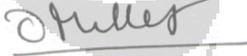
HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Remon Lapisa
NPM : 0906579336
Program studi : Teknik Mesin
Judul tesis : Etude du comportement thermo-aéraulique de
bâtiment commerciaux de grand volume

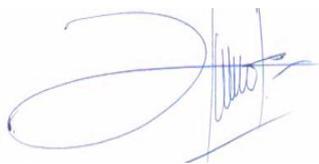
Telah berhasil dipertahankan dihadapan dewan penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Master 2 Université de la Rochelle (Perancis) dan Magister Teknik Progran Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing	: Prof. Patrick Salagnac	
Pembimbing	: Dr. Emmanuel Bozonnet	
Penguji	: Prof. Olivier Millet	
Penguji	: Prof. Patrick Salagnac	
Penguji	: Dr. Karim Limam	
Penguji	: Dr. Emmanuel Bozonnet	

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 2 Agustus 2011

Mengetahui kepala departemen Teknin Mesin UI



Dr. Ir. Harinaldi, M. Eng

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar ganda (*Double Degree*) Magister Teknik Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia dan Master 2 *Gestion et Intégration de l'Efficacité Energétique et des Energies Renouvelables* dari *Universite de La Rochelle* Perancis.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Patrick Salagnac dan Dr. Emmanuel Bozonnet selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini.
2. Seluruh dosen pengajar magister teknik mesin Universitas Indonesia
3. Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
4. Sahabat DDIP yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok , 2 Agustus 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Remon Lapisa
NPM : 0906579336
Program studi : Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia hak bebas royalti non eksklusif (non-exclusive royalty-free right) atas karya saya yang berjudul : *Etude du comportement thermo-aéraulique de bâtiment commerciaux de grand volume*, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan hak bebas royalti noneklusif ini Univesitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan. Mengolah dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok

Pada tanggal: 2 Agustus 2011

Yang menyatakan



Remon Lapisa

ABSTRAK

Nama : Remon Lapisa
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Etude du comportement thermo-aéraulique de bâtiment commerciaux de grand volume

Upaya mengurangi konsumsi energi pada bangunan komersial bervolume besar menjadi salah satu fokus penelitian di Perancis saat ini, mengingat konsumsinya 24,1% dari total energi untuk seluruh bangunan di Perancis. Salah satu cara yang banyak dikembangkan adalah penempatan *Lanterneau* (jendela atap) yang berfungsi sebagai sumber pencahayaan alami, saluran ventilasi udara dimusim panas yang bisa menjadi sumber pendinginan gratis (*free cooling*) dan sebagai sumber energi surya gratis yang ditransmisikan oleh kaca *lanterneau* yang transparan. Pada penelitian ini, dengan menempatkan *lanterneau* 2,43% dari total luas permukaan atap, energi listrik untuk lampu berkurang sebesar 12,25 kWh/m².an (59,6% dari kebutuhan). Disamping itu, kita bisa membuang energi kalor dari interior bangunan pada musim panas sebesar 6,9kWh/m².an, yang seharusnya diredam oleh sebuah sistem pendingin (*Air conditioner*).

Kata kunci : *Atap teras, Ventilasi alami, Pencahayaan alami , sistem pendingin pasif , Kenyamanan termal dan Lanterneaux (skylight).*

ABSTRACT

Name : Remon Lapisa
Program Study: Teknik Mesin
Title : Etude du comportement thermo-aéraulique de bâtiment
commerciaux de grand volume

Efforts to reduce energy consumption in commercial buildings are large-volume became one focus of research in France today, because 24.1% of total energy consumption for all buildings in France, used by commercial buildings. One way that often is the placement Lanterneau developed on the roof of the building, which serves as a source of natural lighting, natural ventilation channel in the summer (as free cooling), and the media transmit solar energy through a transparent glass layer. In this study, by placing lanterneau 2.43% of the total surface area of the roof, electrical energy for lighting was reduced by 12.25 kWh/m².an (59.6% of needs). On the other hand, we can evacuate the heat energy from the interior of the building, in the summer by 6.9 kWh/m².an, which should be done by a cooling system (air conditioner).

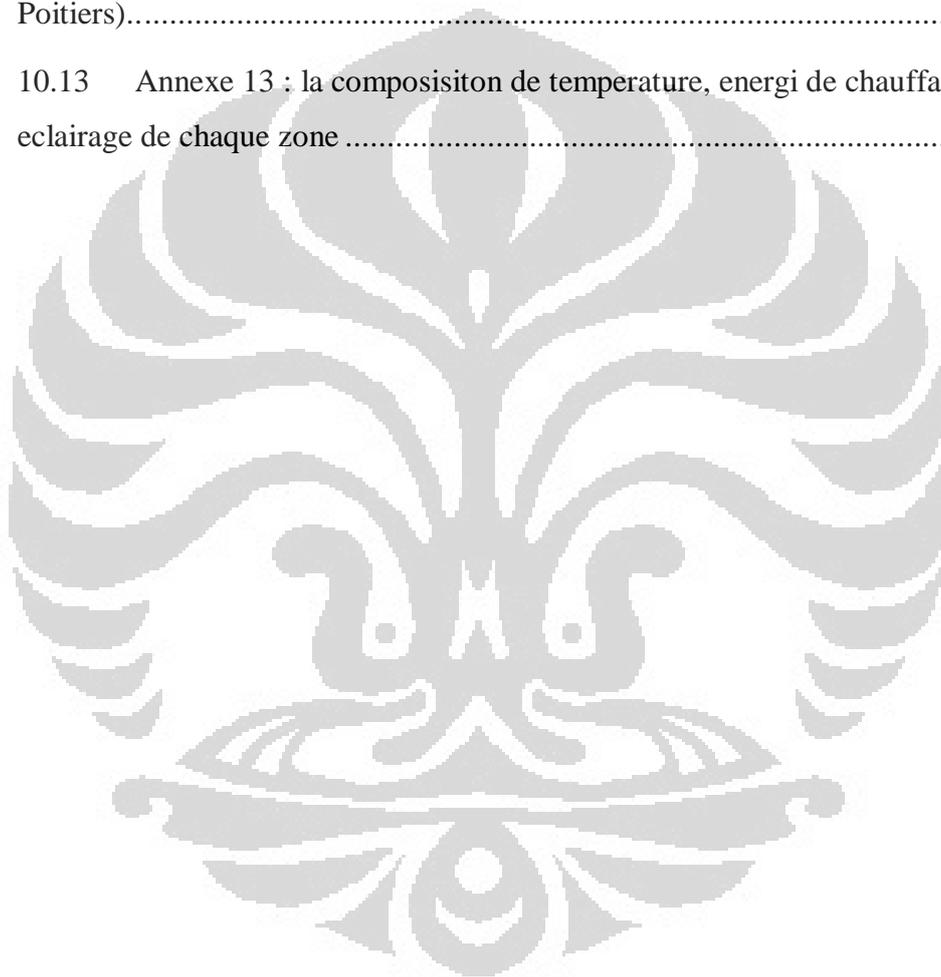
Keyword: *Flat roof, natural ventilation, natural lighting, passive cooling, thermal comfort and skylight*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
1 CHAPTER 1 : INTRODUCTION.....	1
2 CHAPTER 2 : PRÉSENTATION DE LEPTIAB	3
3 CHAPTER 3 : PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE – ETAT DE L'ART	4
3.1 La toiture terrasse	4
3.2 Les ouvrants en toiture terrasse	6
3.2.1 La fonction des lanterneaux	7
3.2.2 Les éléments constituant un lanterneau	8
3.2.3 Exigences relatives aux lanterneaux	10
3.2.4 Rôle de la ventilation par lanterneaux	11
4 CHAPTER 4 : ÉTUDES DU COMPORTEMENT THERMO- AÉRAULIQUE DE BATIMENTS	13
4.1 Transferts aérauliques dans les bâtiments	14
4.1.1 La ventilation naturelle	15
4.1.2 Calcul des débits d'air.....	15
4.2 Comportement thermique.....	16
4.3 Modélisation du couplage thermo-aéraulique	16
5 CHAPTER 5 : OBJECTIF DE L'ÉTUDE.....	18

6	CHAPTER 6 : PRÉSENTATION DE L'OUTIL DE SIMULATION : ENERGYPLUS	19
7	CHAPTER 7 : ÉTUDE D'UN BATIMENT MODELE.....	20
7.1	Présentation du bâtiment	20
7.2	Résultats et discussion	21
7.2.1	Impact de l'isolation du plancher	21
7.2.2	Les apports gratuits.....	23
7.2.3	Différents niveaux d'isolation.....	25
7.2.4	Impact de l'orientation.....	28
7.2.5	Impact du climat	30
7.2.6	Effet de l'éclairage naturel par les lanterneaux.....	35
7.2.7	La ventilation mécanique	38
7.2.8	Etude de l'impact des lanterneaux	38
8	CHAPTER 8 : ÉTUDE D'UN BATIMENT EXISTANT–MULTIZONE..	48
8.1	Présentation du bâtiment	48
8.2	Résultats et discussion	49
8.2.1	Impact des lanterneaux en position fermée	50
8.2.2	Impact des lanterneaux en position ouverte	52
9	RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUE	55
10	ANNEXE	58
10.1	Annexe 1 : Les différentes causes du transfert aéraulique	58
10.2	Annexe 2 : Le coefficient de pression	60
10.3	Annexe 3 : Méthode de calcul du débit de ventilation	62
10.4	Annexe 4 : Calcul des débits d'air	62
10.5	Annexe 5 : Transfert de chaleur dans un bâtiment	63
10.6	Annexe 6 : Évaluation des propriétés thermo-optiques	67

10.7	Annexe 7 : Calcul réglementaire du débit pour un ouvrant	68
10.8	Annexe 8 : Impact de l'épaisseur d'isolant.....	70
10.9	Annexe 9 : Eclairage naturel par les lanterneaux	74
10.10	Annexe 10 : Impact de la ventilation naturelle	75
10.11	Annexe 11 : Apprentissage de EnergyPlus et de Google SketchUp .	77
10.12	Annexe 12 : Les paramètres de simulation 2 (bâtiment existant à Poitiers).....	84
10.13	Annexe 13 : la composition de température, énergie de chauffage , éclairage de chaque zone	85



CHAPTER 1

INTRODUCTION

Pour un bâtiment commercial, en raison de la taille de la toiture, la conception de celle-ci et de ses ouvrants est un enjeu important pour obtenir de bonnes performances énergétiques. Le choix des matériaux de la couverture et du type de lanterneau peuvent permettre de réduire considérablement les dépenses d'énergétique liées au chauffage.

Cette étude examine les caractéristiques des toitures terrasses et l'impact des ouvrants en toitures. On analyse quelle l'impact de la mise en place de lanterneaux sur le comportement thermo-aéraulique, éclairage naturel et confort d'occupation de bâtiments commerciaux. D'autres impacts significatifs sont l'orientation des bâtiments, effet du climat, caractéristiques de l'isolant et système de ventilation.

Plusieurs études ont été réalisées afin de discuter de cette question. Une étude menée par A. Trabelsi[1] à l'aide du logiciel TRNSYS combiné avec Contam a expliqué cette analyse. Pour ce moment, on ré-analyse l'impact des ouvrants dans une perspective thermo-aéraulique sur la performance énergétique et le confort thermique. Cette étude réalisée grâce à l'aide d'EnergyPlus de version 6.00 combiné avec Google Sketchup

Les propriétés des bâtiments (dont l'isolation, l'orientation et les ouvrants) peuvent être attribuées au bilan thermique. Pour le climat, les éléments intervenants sont la température extérieure, la vitesse du vent et l'humidité. Il est aussi important en sachant la rugosité du terrain car il affecte la vitesse du vent. Par ailleurs, l'orientation optimale porte les apports solaire gratuite maximum à réduire la consommation d'énergétique. Elle est liée à la quantité du rayonnement solaire transmis par les translucides. L'orientation optimale de chaque région différents et dépend de son latitude [2].

En Europe, le secteur résidentiel est l'un des plus grands consommateurs d'énergie. En 2004 dans l'UE [3], la consommation d'énergie électrique des

bâtiments prends 37% de l'énergie totale. Parmi ces 37% de consommation, peut être différé à 11% pour les bâtiments commerciaux et 28% pour les bâtiments résidentiels. Les besoins d'énergie dans les bâtiments sont notamment pour les systèmes de chauffage, climatisation, éclairage et autres usages particulière. Dans l'UE en 2000, la consommation d'énergie de chauffage elle-même prends 65% [4] de l'énergie totale électrique disponible.

Dans un d'objectif de réduire la consommation d'énergétique, le code RT 2012 a exigé au nouveaux bâtiments à répondre aux exigences de la consommation d'énergie maximum de 50 kWh.ep/m².an [5]. Afin de le réaliser, les recherches continues à améliorer la qualité de l'isolation d'une enveloppe (dont la toiture). On a un intérêt d'installer une bonne isolation thermique sur les enveloppes. Elle permettra de réduire la déperdition thermique

Une autre manière d'économiser d'énergie est en profitant des apports gratuits solaires transmis par les translucides. Les bâtiments munies par les translucides d'être capable de capturer plus d'énergie solaire. À la différence de surface opaque, les translucides (fenêtres-lanterneaux) pourraient transmettre le rayonnement direct solaire à l'intérieur.

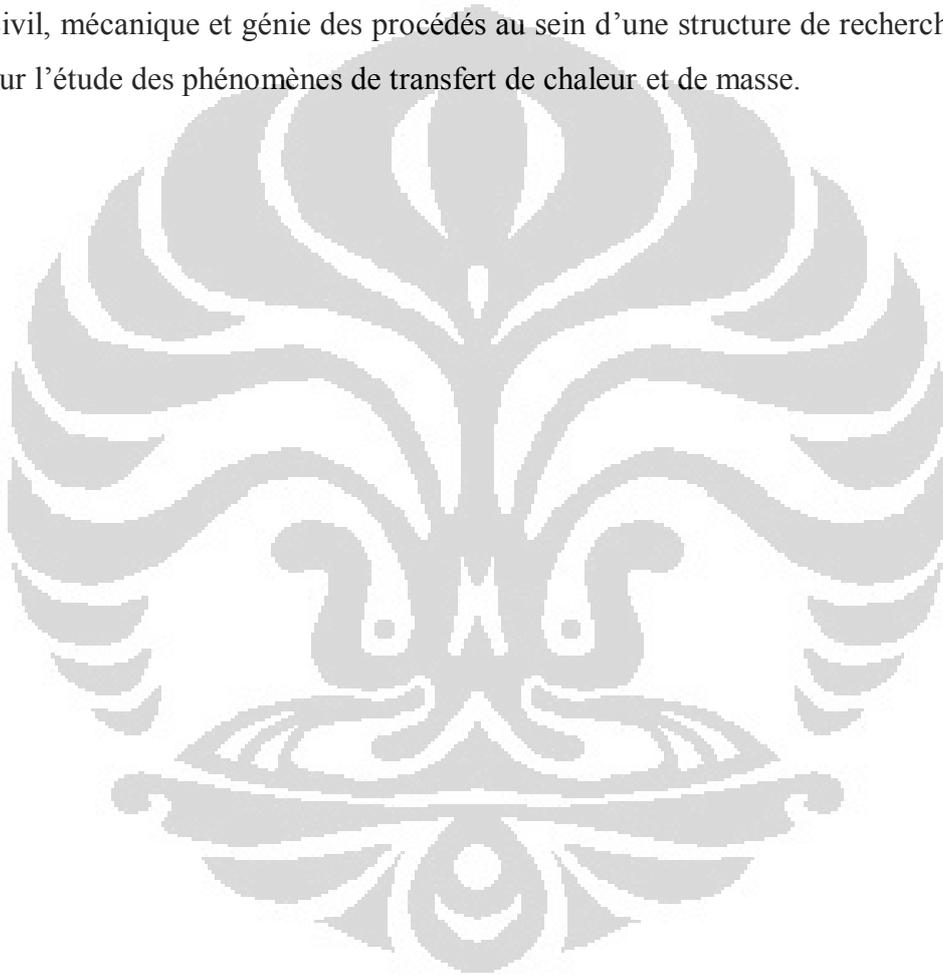
Le rayonnement transmis à intérieur, partiellement absorbée et reflété selon de caractère thermique d'une surface. Toute le rayonnement transmis /réfléchi prend en contact direct avec l'air intérieur. Par conséquent, il accroître la température opérative d'ambiante. On peut réduire le besoin énergétique en utilisant cette ressource gratuite.

Par contre en été, on trouve la condition opposée. L'isolation thermique excessive et le nombre très important d'apport solaire ont un risque de surchauffe. La température dépasse d'une limite maximale de confort [28⁰]. Selon la recherche menée par John Martin evans [6], la température confort des occupants est de 18⁰C à 28⁰C. En été, l'élargissement de surface de lanterneaux augmente le taux d'inconfort

CHAPTER 2

PRESENTATION DE LEPTIAB

Cette étude comparative, sous la supervision de M. Patrick Salagnac et de M. Emmanuel Bozonnet, a été menée en **LEPTIAB**, un laboratoire de recherche de La Rochelle. Ce laboratoire a été fondé en 2008 par le regroupement du LEPTAB et du LMTAI. Son objectif est de fédérer les enseignants-chercheurs en génie civil, mécanique et génie des procédés au sein d'une structure de recherche ciblée sur l'étude des phénomènes de transfert de chaleur et de masse.



CHAPTER 3

PRESENTATION DE L'ETUDE – ETAT DE L'ART

La réduction de la consommation d'énergie dans les bâtiments ne doit pas uniquement se concentrer sur le résidentiel, mais également sur les bâtiments tertiaires de grand volume et les bâtiments industriels. Bien que leur période d'occupation soit intermittente, leur consommation d'énergie totale est importante. Dans ce rapport, on va s'intéresser à l'impact des ouvrants en toiture de bâtiments commerciaux sur la consommation d'énergie de ces bâtiments.

Les ouvrants translucides en toiture ont une double fonction que sont le renouvellement d'air et une source d'éclairage naturel. En termes d'éclairage naturel, ils permettent un transfert par rayonnement important au sein du bâtiment. Par contre, dans le cas où ces ouvrants restent ouverts en hivers, ils se transforment en une source de perte de chaleur par renouvellement d'air. À la nuit en période estivale, la température extérieure a fortement diminué. On exploite cette condition afin d'abaisser la température ambiante du bâtiment. N. Artman [7] a montré que l'augmentation de la ventilation naturelle nocturne améliore significativement du taux de confort thermique. Par exemple, la surchauffe d'une construction a été réduite de 466 à 138 kWh/m²/an lorsque le taux de renouvellement d'air a été augmenté de 2 à 8 vol/heure.

Le système de chauffage et renouvellement d'air sont éléments importantes en période hivernale. Par contraire, en période estivale, on a besoin d'un system climatisation afin de réduire la température ambiante surchauffe. Pour les bâtiments qui n'ont pas le système de refroidissement, la ventilation naturelle est capable d'exécuter son fonction. On appelle le système de refroidissement passif (free cooling). Un bon scénario doit être précisé afin de ne pas provoquer une surchauffe

3.1. La toiture terrasse

La toiture terrasse est généralement divisée en deux catégories; accessible et non accessible. Pour une ville, la toiture terrasse est une bonne solution alternative

d'augmenter la superficie de l'espace ouvert. La toiture terrasse peut être utilisée en plusieurs espaces, comme, espaces de jeu, séjour et jardin (toiture végétalisée).

La toiture terrasse a une pente de moins de 5°. Elle est destinée à évacuer l'eau. On peut mettre l'équipement technique au dessus de la toiture terrasse ; les panneaux photovoltaïque, évaporateur, les moteurs de ventilation mécanique, les ballons d'ECS. A la pente est supérieure à 5°, il est difficile de placer cet instrument.

Elle doit être capable de s'adapter à tous les climats ; tempérés et pluvieux. Quand l'été, autant que possible le sol ne provoque pas de surchauffe dans la pièce. Par contre, en hiver ne cause pas de déperdition thermique. Il faut que le sol doive être en mesure d'empêcher l'eau afin de ne pas se pénétrer à la zone.

Afin de donner la haute performance thermique, toiture terrasse doit être traitée en ajoutant d'une protection :

- a. Le revêtement d'étanchéité. Toiture terrasse doit être recouvert par un revêtement d'étanchéité qui placé sur la surface extérieure. Il empêche l'eau de pénétrer dans l'espace. Cette couche protège le plancher de l'humidité quand il y a de la condensation. Les matériaux utilisés peuvent être Bitume, asphalte et matière synthétique.
- b. L'isolation thermique de sorte que la déperdition thermique peut être réduite. Cet isolant protège les pièces de sous refroidissement hiver, également bloquer les pièces de surchauffe en été. L'isolation thermique doit toujours être placée au dessous de l'élément porteur pour éviter l'ensoleillement et la forte variation de température
- c. La structure solide pour supporter la charge du poids propre, humain, la neige et certains équipements techniques sont placés au-dessus.
- d. Une poignée pour éviter le risque de chute. Il faut la toiture terrasse ayant une hauteur plus de 1 m soit équipés pour la sécurité des occupants surtout pour les enfants,



Figure.1. Un exemple d'une toiture terrasse d'un bâtiment commercial à Poitiers

3.2. Les ouvrants en toiture terrasse

Les ouvrants peuvent être transparents ou opaques, selon les besoins et ses fonctions. Lanterneau est un type des Ouvrants transparentes placée en toiture. Le lanterneau est divisé en plusieurs types ; *tubulaire*, *Shelve et lightwell*, Ici, on se concentre discuter sur *lightwell* [8]. Dans ce modèle, le rayonnement transmis est atténuaté depend de l'hauteur de son costière. L'efficacité de ce lanterneau est compté en comparant entre le rayonnement incidence et de celle transmis à travers de surface arrière. On confirme que l'atténuation qui se produit en costière tout simplement jouera dans partie l'éclairage. La **Error! Reference source not found.** représente un exemple type de lanterneau plat avec profils porteurs (NF EN 14963) [9]



Figure.2. Un exemple de l'ouvrant en toiture terrasse

3.2.1. La fonction des lanterneaux

La mise en place des lanterneaux en toiture terrasse à impact thermo-aérodynamique. Un bon scénario de l'ouverture apporte le confort thermique optimal. On s'attend à réduire la consommation énergétique pour le chauffage et l'éclairage grâce aux lanterneaux.

Selon la norme (EN 12101-2:2003) [10], lanterneau a des fonctions :

- L'évacuation de la fumée

La fumée de cigarettes, la cuisine et l'autre appareil électrique doivent être évacués afin de ne pas polluer l'air intérieur liés au problème de santé. La position des lanterneaux devrait faciliter la fumée de s'échapper. Au contraire, les lanterneaux risquent d'augmenter la poussière par renouvellement d'air. T. Paul [11] dans sa recherche, dit que la concentration de poussière augmente de 4 fois lorsque la ventilation mécanique est en marche par rapport à désactivée. La fumée et la poussière provoquent des plusieurs maladies ; la pneumonie et l'asthme. La recherche menée par Roberta Pirastu [12] affirme que 4,9% des enfants dont ses deux parents sont fumeurs éventuellement souffrent l'asthme. La fumée de cigarette contient plus de 4000 [13] composants chimiques toxiques dangereuse

- **Ventilateur**

Afin d'atteindre un bon confort thermique, on permet aux fenêtres contrôle la température de l'air intérieur. Lorsque la température extérieure tombe brusquement, on ferme tous les lanterneaux. Ils ouvriront lors de la température de l'air est thermiquement confortables. Mais en l'été, l'ouverture de lanterneaux non contrôlées risque de surchauffe. On devrait donc la mis en œuvre d'ouverture de lanterneaux en fonction de température ambiante.

- **Source d'éclairage naturel.**

Les lanterneaux translucides ont le coefficient de transmissivité élevée vis-à-vis à l'irradiation solaire. Ils permettront le rayonnement à pénétrer dans la zone. Un pourcentage optimal de couverture de lanterneaux doit être précisé afin d'obtenir l'éclairage maximal donc les lampes peuvent être annulées

3.2.2. Les éléments constituant un lanterneau

Dans un lanterneau l'ensemble il existe des pièces qui fonction uniquement. Ci-dessous des listes d'éléments construisent un lanterneau

1. Skylight.

Il s'agit d'une plaque de verre est directement exposée aux rayons du soleil. Cette section faite d'un matériau transparent, capable de transmettre la lumière du soleil dans la pièce. Coloré ou non, fabriqué pour être autoportant ou non. Il est constitué d'une ou de plusieurs parois, planes ou profilées, translucides ou transparentes, comprenant des plaques pleines ou structurées, formées ou non à froid. Il peut requérir l'utilisation de profils de jonction à des fins d'étanchéité à l'eau

2. Frame.

C'est un cadre qui tient le verre de rester en position. Dans cette section, il ya eu une réduction de la surface vitrée causés par le cadre et dévider. Pour les grande vitrages, fréquemment rencontrés sa surface est équipé par un diviseur afin de bien s'en tenir à ses cadres. Pourtant, pour l'instant, nous prenons

l'hypothèse que toutes les surfaces en verre. Nous ignorons la présence du cadre, dont le pourcentage n'est pas significatif.

3. Curb/ parclose

Permet de maintenir l'élément de vitrage restant sur un encadrement

4. Roof line.

Il est une ligne de l'intersection avec la toiture. La surface des lanternes sur cette section directement exposé au rayonnement solaire.

5. Ceiling line.

La ligne de diamètre de lanterneau qui pénètre jusqu'au plafond. *Ceiling line* peut être différent de celui de *roof line*, selon leur géométrie. On l'appelle une surface inférieure de lanterneau

6. Les murs entre *ceiling line* et *roof line*.

C'est qu'on appelle la costière. Toutes les parois de la costière ont la même réflectivité. Il reflète le rayonnement incident en toutes les directions. L'augmentation de l'hauteur de la costière augmenter le niveau de atténuation donc le niveau d'éclairage reçu par la zone sera réduit.

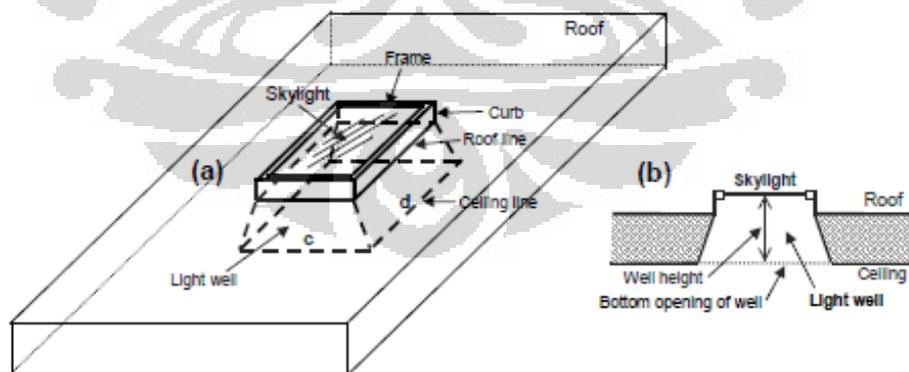


Figure.3. Profile des lanternes (NF EN 14963).

Les lanternes peuvent être intégrés en toiture qui permet de désenfumage ou de ventilation

3.2.3. Exigences relatives aux lanterneaux

Afin d'assurer correctement l'éclairage zénithal naturel et dans un deuxième temps la ventilation des espaces intérieurs au moyen de dispositifs d'ouverture, la norme européenne NF EN 14963 spécifie un certain nombre d'exigences relatives aux aspects suivants :

- **Transmission du rayonnement :**

Le degré de transmission lumineuse, le degré de transmission directe pour le rayonnement solaire de chaque vitrage et le facteur solaire doivent être caractérisés expérimentalement.

- **Durabilité :**

Elle est évaluée en mesurant la variation de la transmission lumineuse totale et des caractéristiques mécaniques après exposition à un vieillissement du matériau du lanterneau avec le même niveau d'énergie sur des plaques planes et/ou le produit fini.

- **Étanchéité à l'eau**

Elle est évaluée à partir des essais normalisés. Lors de ces essais, aucune goutte d'eau ne doit tomber de la surface interne. La conception du lanterneau doit assurer l'évacuation de l'eau.

- **Perméabilité à l'air**

Elle doit être appréciée si celle-ci est soumise à des exigences réglementaires et peut être évaluée par ailleurs.

- **Résistance thermique**

La valeur calculée ou mesurée de la conductance thermique doit être déterminée. La résistance thermique des lanterneaux dépend de nombreux éléments de remplissage et combinaisons de profils porteurs. Les calculs doivent être effectués sur la base des propriétés thermiques des produits

constitutifs. L'effet des zones de pontage thermique doit être inclus par pondération à la résistance thermique de l'ensemble du produit.

3.2.4. Rôle de la ventilation par lanterneaux

La ventilation peut se diviser en deux catégories, la ventilation mécanique et la ventilation naturelle. La différence fondamentale vient du mécanisme qui fait circuler l'air. En ventilation naturel, l'air se déplace en raison de la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur. Par contraire, en ventilation mécanique, l'air est mis en mouvement par un ventilateur.

Avant de définir la ventilation d'une salle, on identifie les objectifs à atteindre. Une bonne connaissance du rôle de la ventilation se traduira par des économies d'énergie. Ce sont généralement les fonctions de lanterneau.

- ***Qualité de l'air intérieur***

L'un des principaux objectifs de la ventilation est de réduire la concentration de polluants dans un bâtiment (espace confiné) en évacuant les différents polluants présents par renouvellement d'air. Le taux de réduction de la concentration dépend principalement de la production volumique de polluant, de leur nature et du taux de renouvellement de l'air. Une bonne estimation des débits engendrés par la ventilation est primordiale pour l'évaluation du risque sanitaire et par conséquent le prévenir.

Mumovic *et al.* [14] ont effectué des mesures in-situ sur la qualité de l'air intérieur. L'étude a porté sur neuf écoles secondaires récemment construites en Angleterre. Il a été constaté que dans la plupart des salles de classe, l'exigence qui consiste à limiter la concentration de dioxyde de carbone par jour en moyenne au-dessous de 1500 ppm est satisfaite. Wong *et al* quant à eux, ont réalisé des mesures de qualité de l'air intérieur sur 3 habitations à Singapour utilisant deux systèmes différents. Il a été montré que lorsque les occupants utilisent des climatiseurs, pendant le sommeil, il y a une importante accumulation du dioxyde de carbone (1000 ppm) pour tous les types de

climatiseurs. Ces niveaux sont sensiblement plus élevés par rapport aux chambres à ventilation naturelle.

- ***Confort thermique***

Le confort thermique des occupants se traduit principalement par un équilibre thermique entre le corps humain et l'ambiance où tous les phénomènes de transferts et leurs paramètres doivent être pris en compte. La ventilation améliore le confort thermique des occupants à plusieurs égards. Le premier réside dans le fait que le mouvement d'air affecte le transfert de chaleur par convection entre le corps humain et le milieu environnant. En été, une vitesse d'air plus importante augmente le taux d'évaporation au niveau de la surface de la peau et par conséquent apporte une sensation de fraîcheur. Le deuxième effet vient de l'évacuation d'une partie de l'énergie provenant des apports internes de chaleur. Ceci a pour conséquence de limiter l'augmentation de la température à l'intérieur d'un bâtiment en apportant un air plus froid de l'extérieur. Cette technique de rafraîchissement ne peut fonctionner que si le bâtiment est muni d'un système de ventilation efficace et que la température de l'air extérieur se trouve dans la zone de confort thermique.

CHAPTER 4

ÉTUDES DU COMPORTEMENT THERMO-AÉRAULIQUE DE BATIMENTS

L'écoulement de l'air inter-zone dépend de la distribution de pression d'air sur la surface extérieure, la direction du vent, la fraction de l'ouverture du vitrage, et la différence de température entre les zones (intérieur et/ou extérieur)

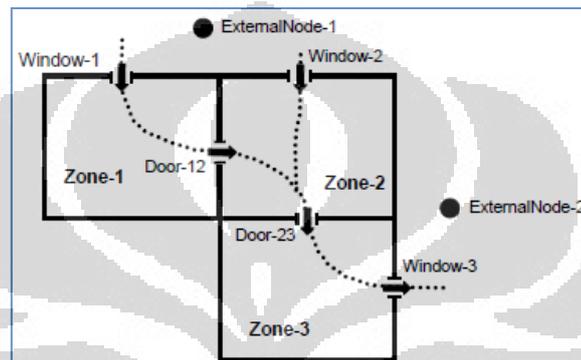


Figure.4. Exemple d'écoulement d'air.

Un exemple simple d'écoulement d'air est indiqué sur la figure précédente. L'air s'écoule des vitrages 1/2 vers le vitrage 3 en raison de la pression et de la vitesse du vent plus important aux nœuds 1/2 par rapport au nœud 3.

A partir des fonctions définies, les caractéristiques d'un lanterneau en toiture terrasse doit vraiment être calculée à générer la performance énergétique optimale. La surface de lanterneaux, les caractéristiques optiques du verre et lame d'air entre la vitre doivent être considérés sur le code de calcul thermique. Au niveau de l'éclairage, on a besoin de connaître les caractères supplémentaires liés au transfert thermique par rayonnement ; sont le coefficient de réflexivité, transmissivité, la couleur et le degré de salissure de verre.

Dans cette étude, on se concentre à traite de l'impact des lanterneaux vis-à-vis au comportement thermo-aéraulique d'un espace de grand volume dans les aspects:

a. Thermique

Il s'agit d'un impact des lanterneaux sur la variation de température ambiante due au gain thermique solaire transmis par le vitrage. La vitre transmet le

rayonnement solaire vers l'intérieur en fonction de caractéristiques optiques du vitrage. Ainsi la quantité de gain solaire transmis est proportionnelle à la surface de lanternes. En élargissant la surface entraîne l'augmentation de la température ambiante et diminution de consommation d'énergie électrique pour le chauffage.

b. Aéraulique

Débit de l'air à travers les lanternes dépend de la différence de pression et de température entre extérieur et intérieur. Naturellement, l'air a été poussé vers l'intérieur qui a la plus basse pression. Aérauliquement le débit de l'air à travers de lanternes est déterminé en fonction de la surface. Ce renouvellement d'air génère une déperdition ou bien le gain thermique

c. Éclairage naturel

Par ailleurs, le rayonnement solaire qui pénètre est une source d'éclairage naturel. Une bonne conception et sélection des matériaux translucides permet d'éliminer le besoin d'énergie électrique pour éclairage artificiel lorsque l'illuminance solaire atteint la exigence minimale. Le nombre total d'illuminance en fonction de l'albédo, la surface, la géométrie et l'angle de lanterne.

d. Confort thermique

La mise en place des lanternes en toiture terrasse risque d'entraîner surchauffe de température d'ambiante en période d'été. Par conséquent, il faut chercher la bonne connaissance sur l'impact de couverture de lanternes en toiture terrasse par rapport le taux d'inconfort thermique. Le calcul d'inconfort est réalisé à l'aide de code PMV et PPD

4.1. Transferts aérauliques dans les bâtiments

Transfert Aéraulique dans un bâtiment divisé en 2 catégories: par ventilation naturelle et mécanique. Ces deux catégories thermiquement ont le propre caractère, les avantages et les inconvénients.

4.1.1. La ventilation naturelle

La ventilation naturelle a favorisés automatiquement par la différence de pression et de température. Il existe deux types de transfert aéraulique : due à l'effet dynamique du vent et du tirage thermique (annexe 1). Afin de déterminer leur effet, il est importante de connaître certains caractères liés au comportement thermo-aéraulique du vent ; la différence de la pression, température, la direction du vent et coefficients de pression (annexe-2). Ce dernier coefficient empirique dépend de la géométrie du bâtiment et de l'angle d'incident de l'air autour de bâtiment.

Afin d'évaluer le comportement aéraulique, on a souvent rends compte de formule fondamentale de Bernoulli sur l'équation de la mécanique des fluides, que l'on écrits sous la forme :

$$\frac{1}{2}\rho\bar{v}^2 + P + \rho gz = Constante$$

Où v représente la vitesse du fluide, P est la pression, ρ est la masse volumique, g est l'accélération de la pesanteur et z est l'altitude.

En outre, la circulation de l'air est distingué en 2 types ; infiltration et ventilation. En principe, tous les deux sont la même méthode de calcul. La différence est le type d'ouverture. En infiltration, la circulation d'air à travers fissures lorsque les vitrages sont fermée. Par contraire à la ventilation, l'air introduit délibérément par l'ouverture d'un vitrage. La méthode de calcul le nombre de débit de l'air par infiltration ou ventilation voir (annexe-3).

4.1.2. Calcul des débits d'air

Afin de calculer le débit massique à travers lanterneaux, il faut identifier les différentes ouvertures. À ce niveau, la surface de couverture et l'angle d'incidence de vent ont un impact significatif (annexe-4). La position de lanterneaux (verticale - horizontale) détermine également le nombre de débit. A.Trabelsi[1] a fait une recherche sur l'effet du débit de l'air en raison de couverture de lanterneaux en toiture terrasse à l'aide de logiciel TRNSYS

4.2. Comportement thermique

Thermiquement la mise en place de lanterneaux en toiture terrasse faire transfère la chaleur soit par conduction, soit par convection ou par rayonnement. La conduction se produit aux matériaux opaques, la chaleur à travers le matériau, sans accompagnement d'un transfert de masse. Par contre la convection se produit lors qu'il y a un contact entre la surface et l'air. À la différence de parois opaques, le lanterneau est capable de transmettre et refléter le rayonnement reçu dans toutes les directions. Le taux de l'absorption, la réflexion et la transmission du rayonnement solaire dépend du caractère thermique (annexe-5).

La simulation thermo-aéraulique nécessite au préalable la connaissance des propriétés thermo-optiques de vitrage utilisés, sont constitués de parties et comportement thermique hétérogène. Une attention particulière doit être apportée vis-à-vis à la réponse au spectre du rayonnement solaire lors de l'évaluation numérique des propriétés thermo-optiques. L'étude réalisée par Guimard [15] sur l'impact du spectre solaire pour différents types de vitrage, montre qu'il y a les différences niveau de coefficient d'absorptivité de gain thermique solaire. Il varie de -2% à 7% pour les fenêtres et de -3% à 11% pour les lanterneaux

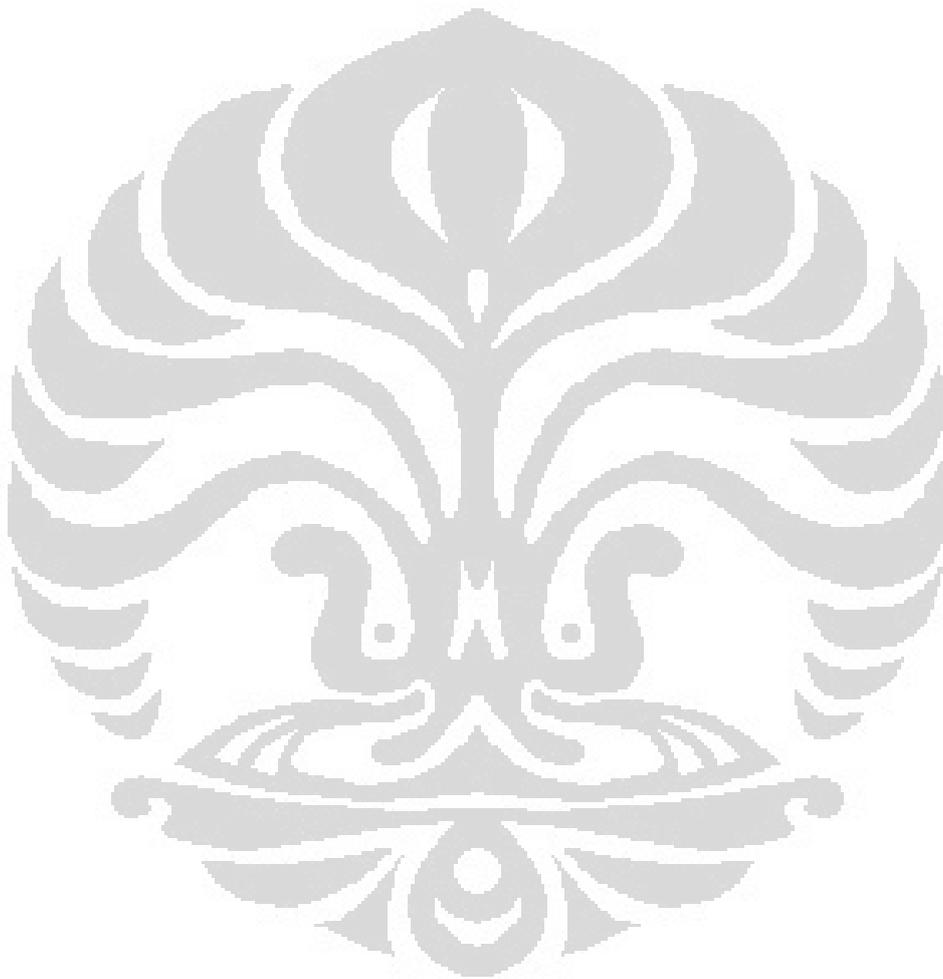
La norme européen NF EN 15242 décrit la méthode de calcul de débit de ventilation pour le bâtiment monozone ou multizone. Un simple calcul effectué en considérant un équilibre le débit massique d'air. Le débit d'entrée doit être égal à celui de sortie. (annexe-g), on appelle la loi de conservation de la masse.

4.3. Modélisation du couplage thermo-aéraulique

Sur le cas d'un mélange parfait, le bilan énergétique est effectué sur une zone interne, donne l'évolution temporelle de la température en fonction des flux échangés, transportés et dissipé aux frontières et à l'intérieur du volume. L'air est considéré comme transparent dans tout le spectre du rayonnement

En problèmes thermo-aérauliques, il existe plusieurs couplages non-linéaires entre les aspects thermiques et aéraulique. L'équation de bilan massique fait intervenir

les débits massiques à travers une zone, elle est donc fonction de la masse volumique. Or, cette dernière dépend de la température. L'équation de bilan thermique est une fonction des débits massiques à travers le terme $Q_{ventilation}$; elle est aussi fonction de la vitesse du vent à travers le coefficient d'échange thermique par convection dans le terme $Q_{convection}$. Ce couplage confère à la modélisation des transferts thermo-aérauliques toute sa complexité.



CHAPTER 5

OBJECTIF DE L'ETUDE

A cette étude, on divise en 2 thèmes évoqués, les deux sont dans un grand objectif d'étude du comportement thermo-aéraulique des bâtiments.

- a. Étudier et d'évaluer plusieurs facteurs qui interviennent sur comportement thermo-aéraulique du bâtiment. Cette observation s'applique à un bâtiment commercial de monozone ayant la dimension de 36X36 m et 6,08 m de hauteur.
- b. Évaluer l'impact des lanterneaux en toiture terrasse dans un bâtiment commercial. Le bâtiment analysé dispose de 14 zones thermiques.

Dans tous les deux objectifs, on s'attende à adopter une bonne conception global d'élaboration des différents paramètres du bâtiment pour atteindre une efficacité énergétique et une réalisation de confort thermique. En profitant de l'énergie gratuite solaire qui passe à travers le lanterneau, est une solution alternative pour réaliser cet objectif.

CHAPTER 6

PRESENTATION DE L'OUTIL DE SIMULATION : ENERGYPLUS

EnergyPlus est un programme de simulation énergétique pour les ingénieurs, les architectes et les chercheurs utilisent pour analyser le comportement énergétique et niveau de consommation d'énergie d'une modèle de bâtiment. La Modélisation d'une haute performance grâce à EnergyPlus permet d'optimiser la conception du bâtiment.

Energyplus peut modéliser le système de chauffage, refroidissement, éclairage, ventilation mécanique/naturelle et transfert de chaleur. Il a des nombreux capacités : le pas d'itération est moins d'une heure, systèmes modulaires intégrée à la simulation de transfert chaleur de la zone est en fonction de bilan thermique, le débit d'air multizone, confort thermique et la ventilation naturelle.

L'Étape d'une simulation commence progressivement par la préparation de géométrie du bâtiment modélisé, la définition détaillée des paramètres tels que le matériel, la donne métrologie, système de chauffage et climatisation, etc. La représentation de la géométrie, on importer une géométrie provenant de google SketchUp. Pour les données météorologiques, on peut télécharger sur le site, ou de convertir les données TMY2 sous un format *EPW (EnergyPlus Weather)*. Les résultats de simulation peut être s'affiché sous la forme de graphes ou de tableaux grâce à *Resultviewer* et *EPcompare*. Il pourrait aussi être représenté par la manipulation des données sous Excel.

CHAPTER 7

ETUDE D'UN BATIMENT MODELE

7.1. Présentation du bâtiment

Dans cette première partie on passera en revue de nombreuses paramètres concernant les différents éléments sur comportement thermique du bâtiment, sont les gains thermiques, la consommation d'énergie et le confort des occupants.

On propose un bâtiment commercial, 36m de longueur et 36m de largeur et 6,08m d'hauteur situe à Poitiers. Les parois latérales ont une forme identique et les mêmes surfaces. Le mur non équipé par les vitrages est orienté au nord. La Géométrie du bâtiment se présente dans la figure.5, il exist sur le toit 16 lanterneaux double vitrage de 1,4X1,4 m. Les propriétés détaillées peuvent être étudiées sur l'annexe (annexe-paramètre-sim1).

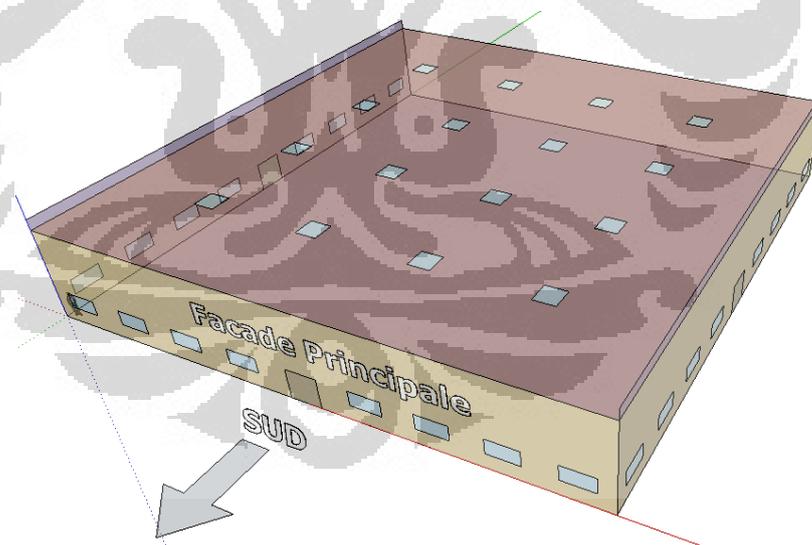


Figure.5. Géométrie du bâtiment commercial mono-zone

Les radiateurs électriques de puissance illimitée sont placés pour maintenir la température ambiante en période hivernale. Mais Au cours de l'été, du 1^{er} Juin au 30 Septembre on supprime ces radiateurs et laisse la zone sans contrôle.

Afin de maintenir la qualité satisfaisante de l'air intérieur du côté de santé, le bâtiment est équipé d'un système de ventilation double flux avec l'échangeur. En période d'estivale, on ouvre les vitrages pour la ventilation naturelle et remplace la fonction de ventilation mécanique.

Ce bâtiment est occupé par **0,05** personne par mètre carré de la surface du sol selon un scénario déterminé (en supposant, une personne a besoin d'une surface de 20m^2). Au niveau d'éclairage on détermine le besoin de 8 W/m^2 en période d'occupation. Les ampoules sont automatiquement désactivé lors d'il luminance du jour qui peut répondre aux exigences minimales grâce à la présence de rayonnement solaire. Par ailleurs, l'équipement électrique sont suppose de 16 W/m^2 .

7.2. Résultats et discussion

7.2.1. Impact de l'isolation du plancher

La simulation de référence utilise un plancher en béton de 20 cm ayant une conductivité thermique de 2 W/m.K . Afin d'évaluer l'impact du plancher et de son isolation, une simulation a été réalisée en rajoutant une épaisseur de 3 cm d'isolant de conductivité thermique $0,035\text{ W/m.K}$.

Sur la figure.4 on présente l'évolution de la température opérative en fonction du temps dans le cas du plancher non isolé, la température maximale atteinte dans la configuration étudiée en période estivale est de **$34,76^\circ\text{C}$** , dans le cas où l'on n'a pas de système de rafraîchissement. Durant la nuit, la température extérieure a fortement baissé, ce qui a entraîné une baisse de la température ambiante. Dans ce niveau là, le taux d'inconfort thermique est de **$36,86\%$** . Cependant, puisque le plancher n'est pas bien isolé, le besoin d'énergie pour le chauffage est très important (**$95,4\text{ kWh/m}^2.\text{an}$**). Cela est dû aux fortes déperditions par le sol.

Lorsque l'on rajoute au plancher un isolant (de faible conductivité thermique $0,035\text{ W/m.K}$), alors les besoins en énergie pour le chauffage baisse brusquement

à **22,89 kWh/m².an**. La température maximum d'ambiante en été augment pour atteindre au maximum **40,2 °C** et un taux d'inconfort de **59,8%**.

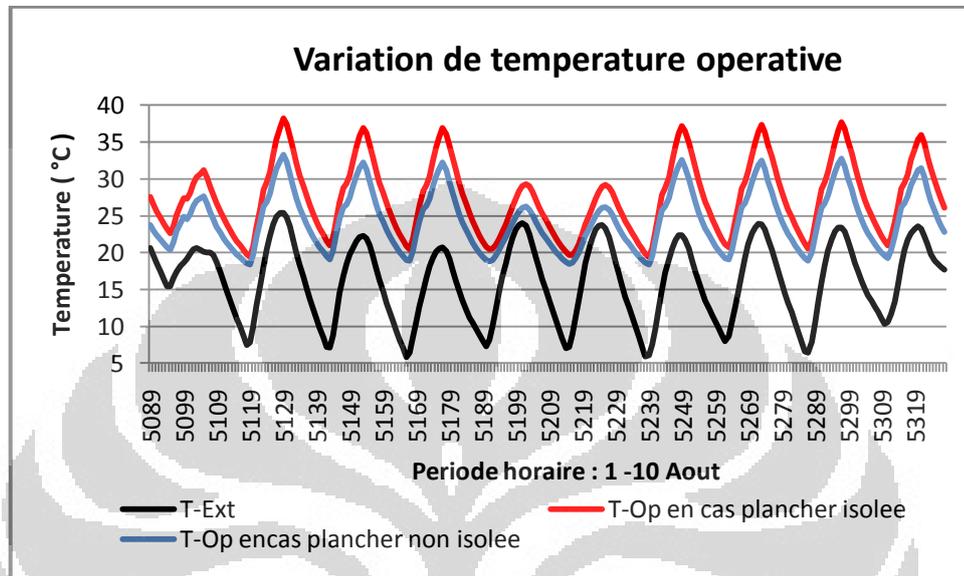


Figure.6. Température opérative en période d'été pour un plancher isolé et non isolé.

En ajoutant d'isolant au plancher on trouve deux choses opposées, en hiver il baisse la déperdition thermique mais en été il augmente le taux d'inconfort. Afin d'obtenir une meilleure performance, on a choisi d'isoler le plancher

En l'été, la température d'ambiante toujours a tendance à augmenter en raison de l'abondance des apports solaire. Par conséquent, on n'a plus besoin d'un système de chauffage. Par contraire, il a un risque de surchauffe.

La température intérieur a été affectée par les apports internes ; l'activité humaine, l'éclairage artificiel, d'équipements électriques et gain solaire par les vitrages. Ils principalement rendent la température intérieure plus élevée, même si on n'a pas un système de chauffage. Par ailleurs, autre élément très important sur comportement thermique du bâtiment est la ventilation naturelle par lanterneaux.

7.2.2. Les apports gratuits

Les apports gratuits Internes contribuent à réduire les besoins d'énergie.

7.2.2.1. Apports liés à l'activité humaine

Des 0,05 occupants par m² en période d'occupation, chacun émet la puissance de 305 watt dont 32,78% de chaleur sensible. Cette chaleur est sous forme du rayonnement (10%), et la reste celle de convection (90%). Le gain thermique de corps humains dépend du métabolisme du corps (annexe-j). A partir de simulation, on constate que le gain thermique de **35,3kWh/m².an**. Le transfert chaleur dépend aussi de type de vêtement qui sert d'isolant en coupant le contact direct entre la peau et l'air intérieur.

7.2.2.2. Apports dus à l'éclairage artificiel

Un autre gain thermiques est aussi important est d'éclairage artificielle. On prend la puissance de 8 W/m² est pendant la période d'occupation. De chaleur totale émis par l'éclairage sont 30% de partie rayonnement et 60% de partie visible.

Cependant, Le besoin d'énergie électrique pour l'éclairage sera supprimé en fonction de lumière du jour. Alors le gain thermique d'éclairage diminue lorsque le rayonnement solaire est abondant, donc on note en période estivale qu'il fortement décroître. On constate que la zone reçoit le gain thermique par l'éclairage de **8,3 kWh/m².an**

7.2.2.3. Apports dus aux équipements électriques

Les équipements électriques dans le bâtiment estimé de 16 W/m² qui sont allumé en période d'occupation. On suppose que 20% de chaleur émis total est la partie de rayonnement. Les équipements donnent le gain thermique de **33,3kWh/m².an**

7.2.2.4. Apports thermiques par les vitrages

L'apport thermique par les lanterneaux (les vitrages) doit toujours être pris en considération de faire une bonne conception thermo-aéraulique d'un bâtiment. On profite le rayonnement solaire au niveau de consommation d'énergie et

d'éclairage. Mais, l'apport solaire excessive créer un inconfort en été qui on oblige à installer de système refroidissement

Le nombre des apports solaire est en fonction du temps. Pendant l'été, le soleil est à son plus haut position, ce qui permettre le bâtiment afin de recevoir plus de rayonnement. Le bâtiment modèle est plein de vitrage latéral et lanterneaux sur son toiture

7.2.2.5. Conclusion

Illustré à la courbe.7, on constate que lanterneaux ajoutent un gain thermique solaire à l'intérieur qui a augmenté au cours de période estivale, donc a un pic en Juillet-Septembre

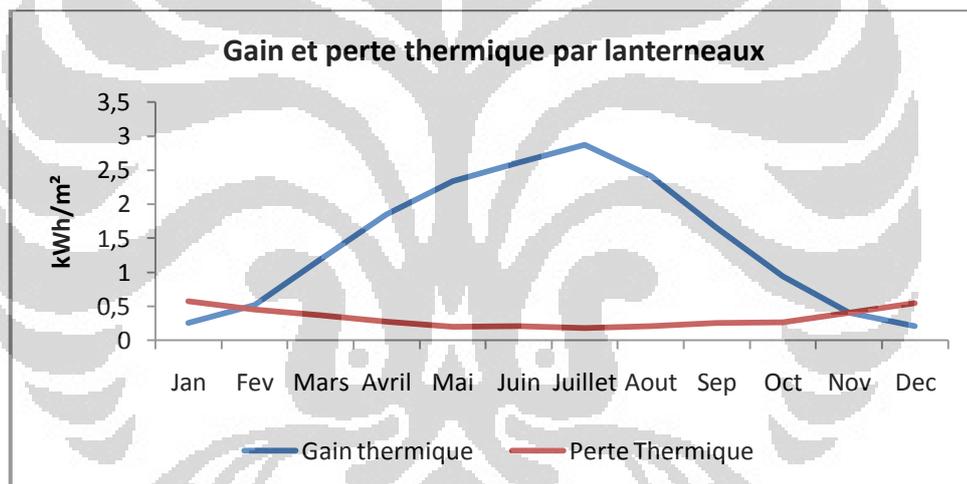


Figure.7. Le gain et de perte de chaleur par lanterneaux

Même s'ils soient une source de gain thermique, d'autre part, lanterneaux peuvent être un déclencheur de déperdition. C'est causé de sa conductivité thermique élevé. La courbe de gain thermique est totalement différent que celui de perte thermique. La perte thermique a une tendance de baisser au cours de période estivale, au contraire à courbe de gain thermique.

Le rayonnement solaire transmis par lanterneaux dépend de son transmissivité (0.837 à normale incidence). Il sera absorbé par les surfaces intérieures, donc

transfert thermique par rayonnement et convection se produira. Ces phénomènes provoquent l'augmentation de la température d'air ambiante.

Le figure.7 montre les gains thermiques totales reçu par la zone. Les lanterneaux donnent un gain annuel **17,3kWh/m².an** (15,3% de total gain thermique-113,2 kWh/m².an). Bien que la superficie totale des lanterneaux (31,36m²) est inférieure que les fenêtres latéral (48m²), mais ils transmettent le même gain thermique que les fenêtres latéral. C'est un chiffre important à prendre en considération.

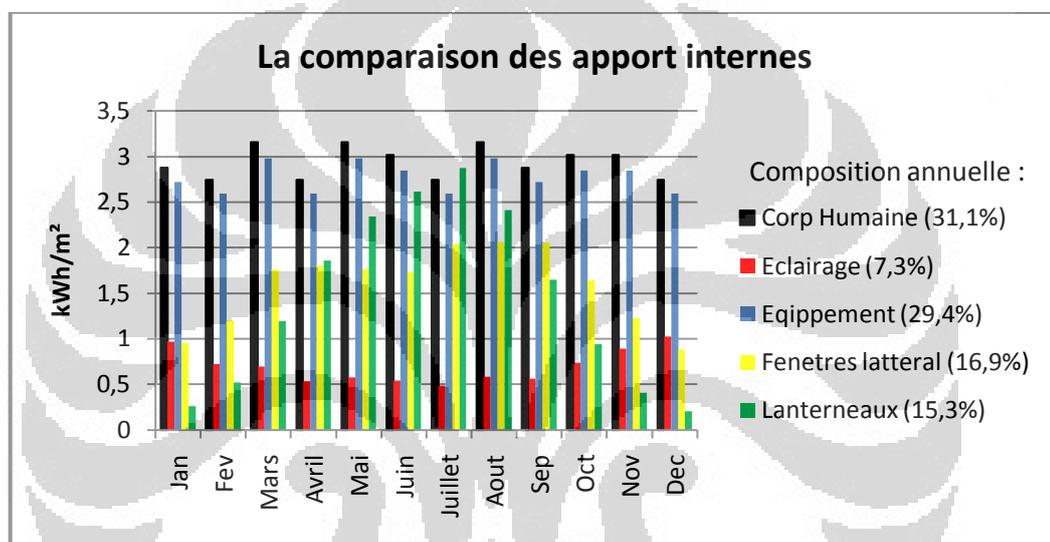


Figure.8. Les gains thermiques – Apports internes gratuits

7.2.3. Différents niveaux d'isolation

Les propriétés thermiques de l'enveloppe (dont la conductivité, la chaleur spécifique, et la densité de matériel) et la géométrie du bâtiment jouent un rôle important sur le transfert de chaleur par conduction. La conductivité et l'épaisseur contrôlent la quantité de chaleur à traverser. Tandis que la chaleur spécifique (Cp) permet de stocker la chaleur dans le matériel, c'est ce qu'on appelle l'inertie thermique

Spécifiquement pour les lanterneaux, on est en plus intéressés à connaître leur caractéristique radiative supplémentaire qui interviendrait sur le transfert thermique, ils sont réflexivité, son absorptivité et transmissivité.

7.2.3.1. Effet de la conductivité thermique

On réduit la conductivité thermique de l'isolant afin d'analyser son impact sur la température intérieure. Ça veut dire, on change le type d'isolant sans modifier son épaisseur. Lors qu'on maintient la même épaisseur, l'inertie thermique du bâtiment reste constante.

La figure 9 présente la réduction de conductivité d'isolant n'est pas directement liée à la réduction de pertes thermiques. On conclut, qu'il y a une limite minimale de conductivité à réduire la perte thermique. Bien qu'on réduise de moitié la conductivité, mais il ne veut pas dire que on gagne de 2 fois d'économiser.

Dans le choix d'un isolant a également besoin de considérer l'aspect économique. Bien sûr, un isolant de bonne qualité, sera beaucoup plus cher. Il faut trouver la conductivité thermique optimale d'isolation au discours économique.

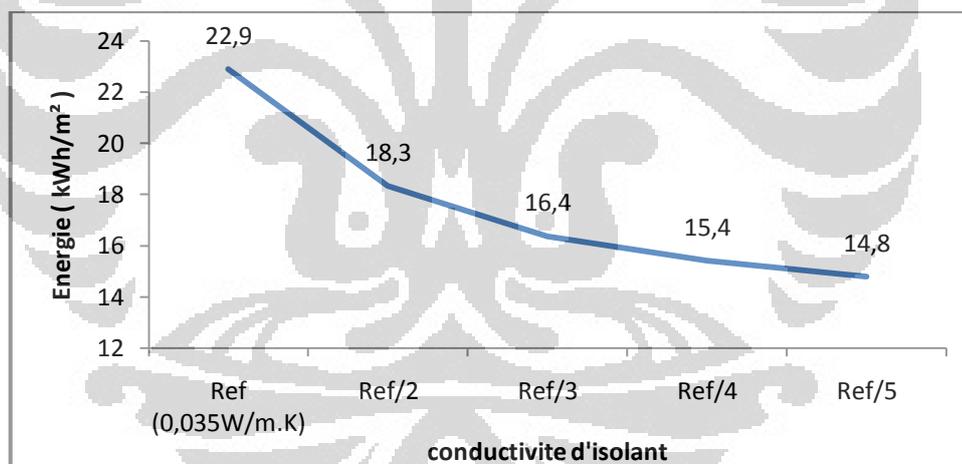


Figure.9. Diminution d'énergie de chauffage en fonction de conductivité

Réduction de la conductivité élèvera la température ambiante en période d'été. Sur la courbe 10 qui montre leur effet.

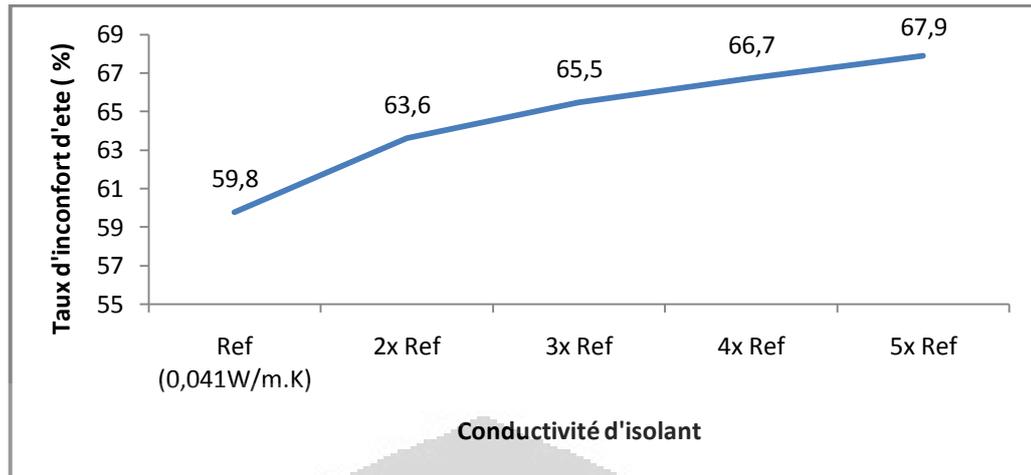


Figure.10. L'augmentation de taux d'inconfort due a la conductivité

7.2.3.2.Effet de l'épaisseur de l'isolant

Ensuite on étudie l'effet de l'épaisseur de l'isolant. À la différence de celle conductivité, la modification d'épaisseur également élève l'inertie thermique des parois, signifie que les parois stocke plus l'énergie thermique. L'inertie thermique conserve la température intérieure de perturbation de l'extérieur.

La consommation d'énergie réduit grâce à l'ajout d'épaisseur d'isolant. Il fait élargir la résistance thermique et augmenter la température. Donc, va réduire les dépenses d'énergétique de chauffage. La figure.11 montre les besoins d'énergie varient en fonction de l'épaisseur de l'isolation.

Similaire au premier cas (réduire la conductivité), l'ajout d'une épaisseur donne la même tendance de réduction de l'énergie. Toutefois, il a toujours une petite différence en raison de l'inertie thermique.

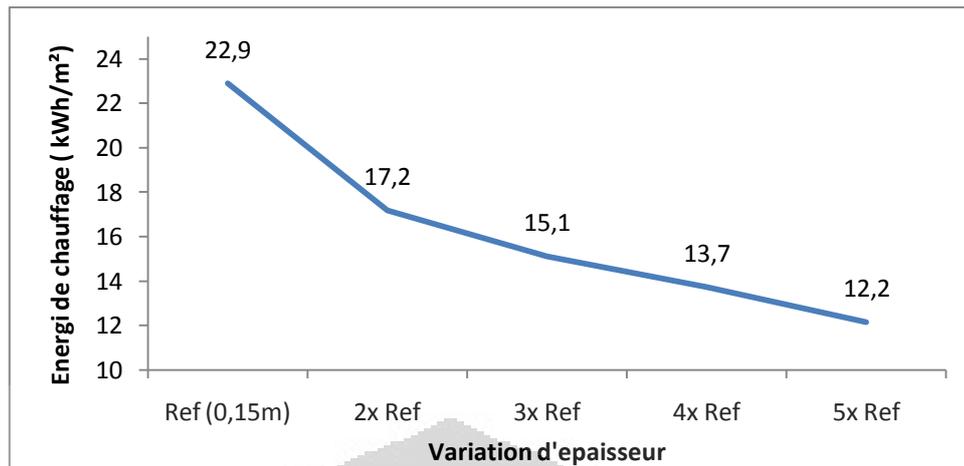


Figure.11. L'énergie de chauffage en fonction d'épaisseur

En figure 12, illustre une courbe des taux d'inconfort en fonction de manipulation d'épaisseur

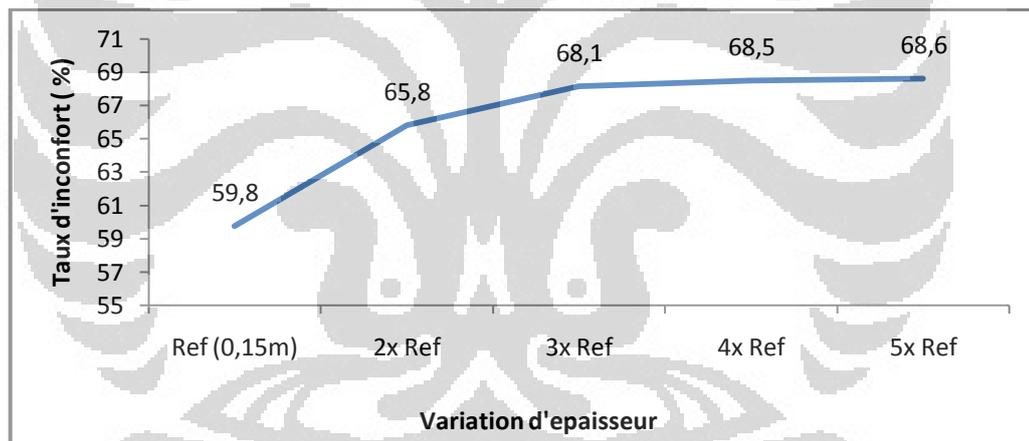


Figure.12. L'augmentation se taux d'inconfort due à l'épaisseur d'isolation

L'effet de l'ajout d'isolant s'arrête à une limite, il est donc nécessaire de trouver exactement l'épaisseur optimale en terme économique

7.2.4. Impact de l'orientation

Cette modification spécifiquement désignés pour le premier bâtiment afin d'examiner l'impact de rotation de bâtiment sur le gain thermique solaire par la fenêtre de parois littéral. *Mais au niveau des lanterneaux, cette manipulation n'apporte aucun impact sur le bilan thermique*

En cas de référence, la façade non vitrée orienté vers le nord. Dans ce qui suit, On lui tourne de 180° afin de cette façade soit en face du Sud. Ce qu'on intéresse c'est d'évaluer l'impact d'orientation du bâtiment vis-à-vis à la variation de gain thermique solaire. Les fenêtres sud ne reçoivent plus de rayonnement solaire qui réduit les apports thermiques.

On constate en hiver, que le gain thermique a été réduit de $16,8 \text{ kWh/m}^2$ à $13,5 \text{ kWh/m}^2$ (19,6%) lors qu'on tourne de 180° (Figure.13). En été, il note que de gain thermique est moins que celui d'hiver, est (7,6%)

La perte thermique toujours resté à son position initiale. Bien que l'orientation ait été tournée, Il ne bouge pas de manière significative. La perte thermique n'est pas directement liée à l'exposition vers du soleil, mais plutôt à cause de différence de température entre extérieur et intérieur.

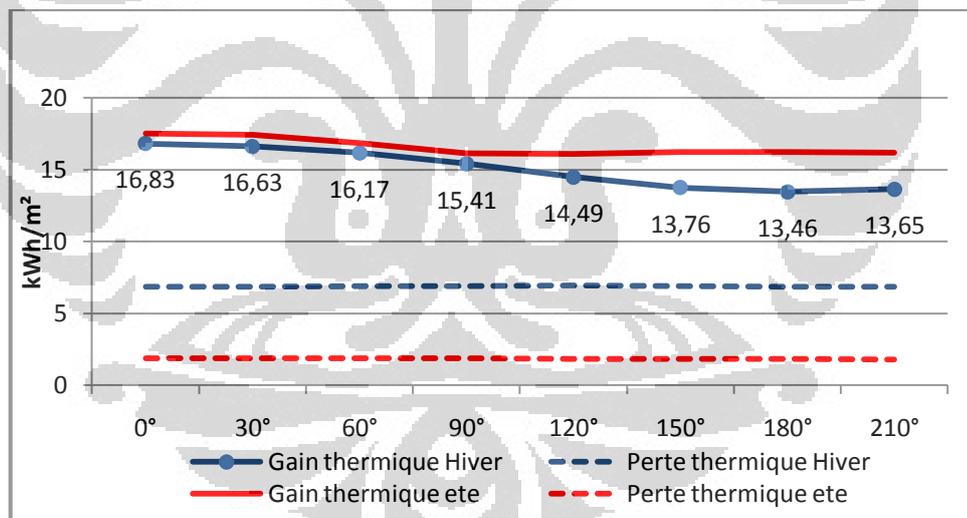


Figure.13. Gain et perte thermique par les fenêtres en fonction de l'orientation

Ce qui suit au figure.14, est une courbe de besoin énergétique pour le chauffage en fonction de l'orientation. En raison du manque de gain thermique, le radiateur doit irradier la chaleur plus forte qu'avant. Lors de bâtiment pivoté à 180° , radiateur émet plus des puissances ($0,6 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an} - 2,8\%$).

L'augmentation de besoin énergie due à la rotation n'est pas trop énorme, car la couverture des fenêtres sur les parois latéral est faible ($7,3\% - 16\text{m}^2/218,8816\text{m}^2$) Ainsi que le bâtiment en cours de la simulation est une espace de grand volume ($7876,68\text{m}^3$), alors l'apport solaire des parois Sud peut être négligé aux niveaux de bilan thermique.

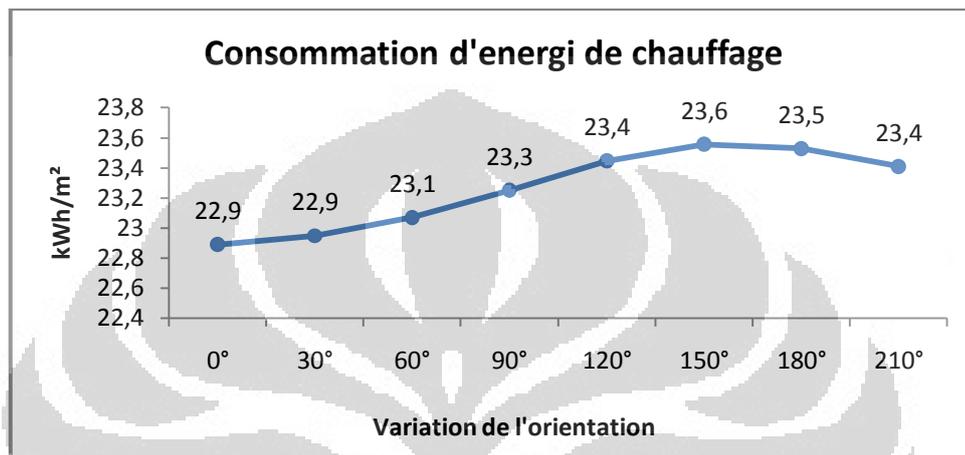


Figure.14. Besoin d'énergie pour le chauffage en fonction de l'orientation

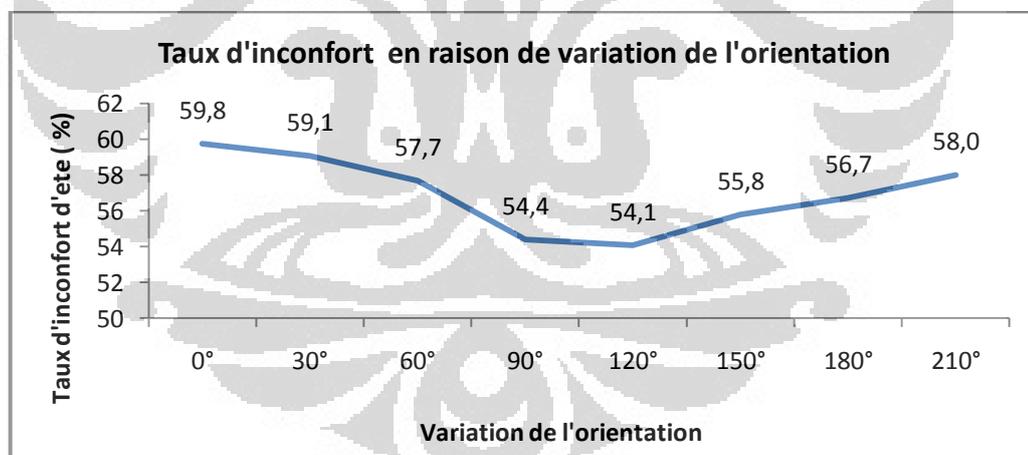


Figure.15. Taux d'inconfort du fait de l'orientation

7.2.5. Impact du climat

Pour déterminer l'impact des météologies on réalise des simulations des trois zones thermiques. En titre d'exemple, on prend Poitiers, Strasbourg et Marseille représente des zones H1, H2 et H3.

En Strasbourg, La température moyenne annuel extérieure est la plus faible ($9,8^{\circ}\text{C}$). Lors qu'on maintient la même température de consigne à l'intérieur, la plus grande de perte chaleur par conduction se produire à Strasbourg. Par conséquence, la température ambiante diminue, et besoin d'énergie augmente.

Par contraire, au niveau de ventilation naturelle, la pression et la vitesse du vent permet de produire la circulation d'air entraîne un transfert chaleur par convection. Est appelé l'effet dynamique du vent et du tirage thermique. À Marseille, le vent est plus rapide ($4,87\text{m/s}$) alors débit d'air de ventilation naturelle en été est le plus grand à Marseille.

Paramètre moyenne extérieur annuel	Marseille	Poitier	Strasbourg
La vitesse du vent (m/s)	4,87	3,89	2,96
Diffuse-solaire (w/m ²)	74,70	74,97	71,73
Direct-solaire (w/m ²)	178,07	123,74	95,13
Total- solaire (w/m ²)	252,77	198,71	166,86
Pression du vent (Pascal)	101.200	99.900	99.600

Figure.16 Tableau paramètre moyenne annuel extérieur de chaque région

Au niveau des apports solaire, la surface extérieure reçoit le flux solaire donc l'envoi vers l'intérieur par conduction. Marseille a le plus grand potentiel d'énergie solaire (diffus et direct). Par conséquent sa température est les plus élevée parmi les trois régions. Au contraire, Strasbourg est la pire de celle-ci.

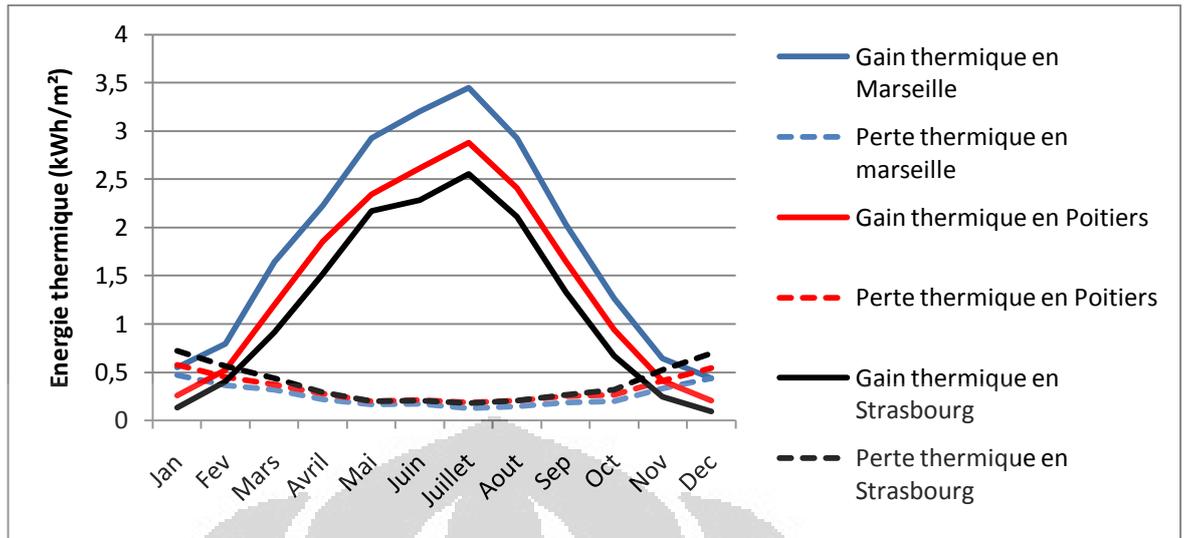


Figure.17. Gain et perte thermique par lanterneaux des régions différentes

Sur le figure.17, on note que le gain thermique de Marseille est la plus important. Il atteint un pic en Juillet.

En plus, on attire l'attention sur le gain thermique des lanterneaux pendant l'hiver qui peut réduire la consommation d'énergie. Lanterneaux peuvent transmettre le rayonnement solaire. Sur le figure.18, le gain thermique en hiver, il décliné en raison d'augmentation de latitude. Gain thermiques en Marseille est plus important que l'autre. Au contraire, son perte thermique est moindre des trois. Les déperditions thermiques à Strasbourg sont le plus élevé. Il risque d'avoir de grande perte thermique lorsqu'on met une grande surface des lanterneaux pendant l'hiver.

Il a été enregistré dans la courbe.18 que le gain thermique net de Marseille est 3 fois plus que celui de Strasbourg.

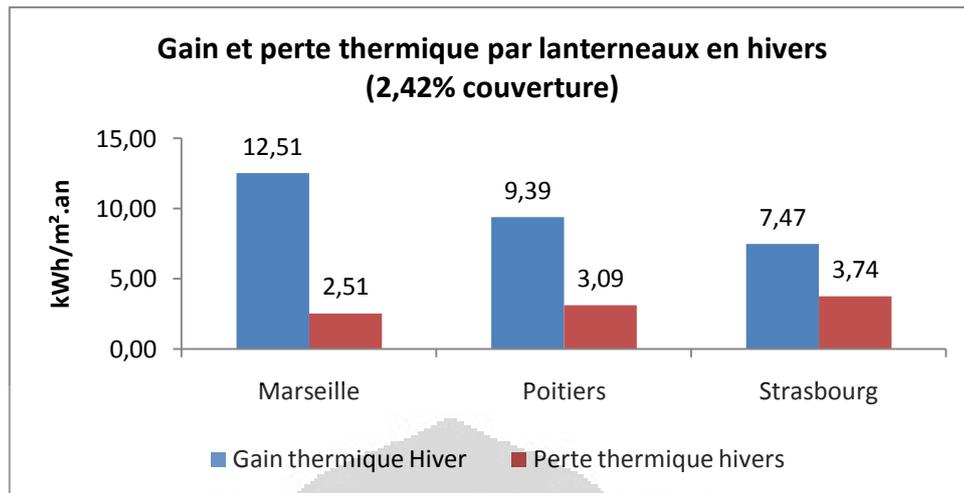


Figure.18. Gain et perte thermique par lanterneaux en hivers (2,42% couverture lanterneaux)

Lorsqu'on varie la région sur le même bâtiment de Marseille à Strasbourg, alors on a besoin d'énergie de chauffage est **2,4 fois** ce qu'on dépense à Marseille. Une des solutions qui peut être prises en compte pour minimiser la consommation est d'améliorer la qualité thermique d'isolant. La mis en place de lanterneaux sur la toiture à Strasbourg, n'est pas une chose intéressante, il plutôt le risque de permettre de déperdition thermique.

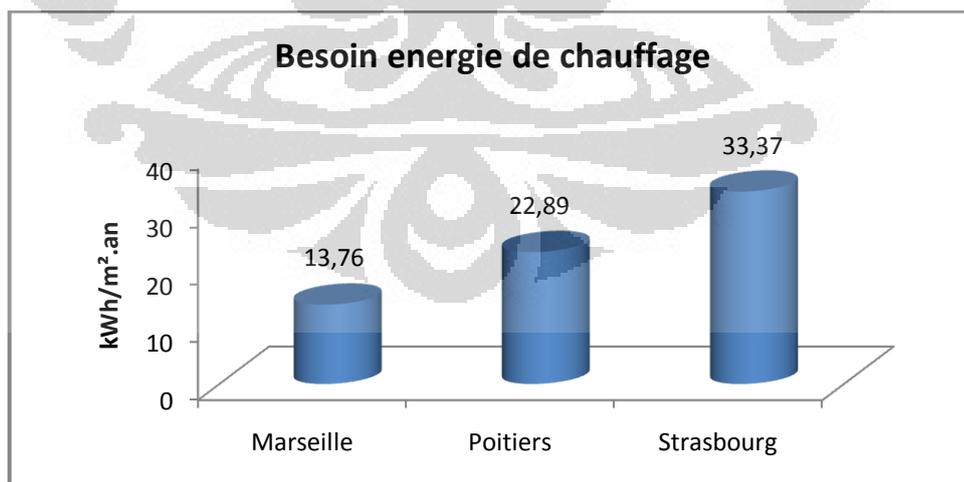


Figure.19. Consommation d'énergie de chauffage

En raison de température extérieure différente, alors le taux d'inconfort pour chaque ville est aussi différent.

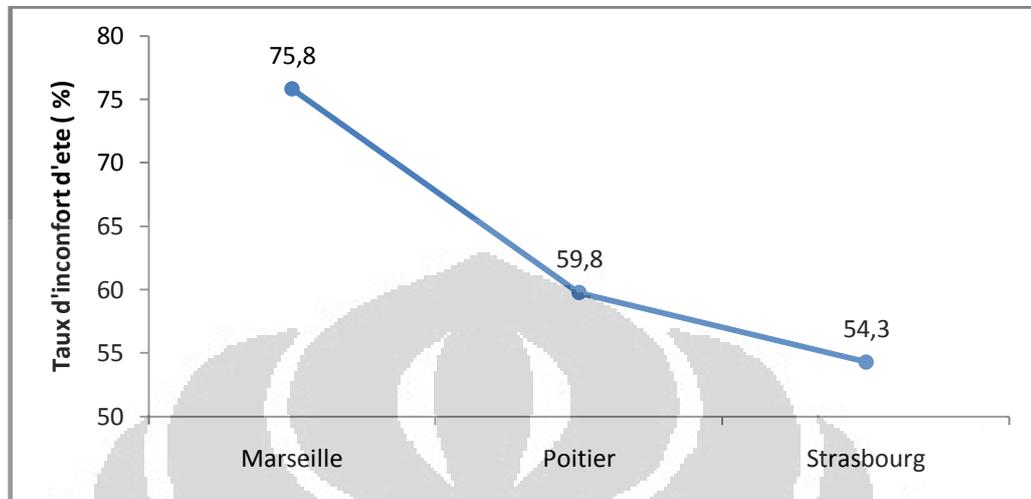


Figure.20 Taux d'inconfort en été

Au niveau de consommation d'énergie pour l'éclairage, à Marseille on peut économie d'énergie de 13 kWh/m².an (63,1%), à Poitiers 12,2 kWh/m².an (59,5%) et à Strasbourg 11,7 kWh/m².an (57,1%). La réduction de chaque mois, illustré dans figure.21

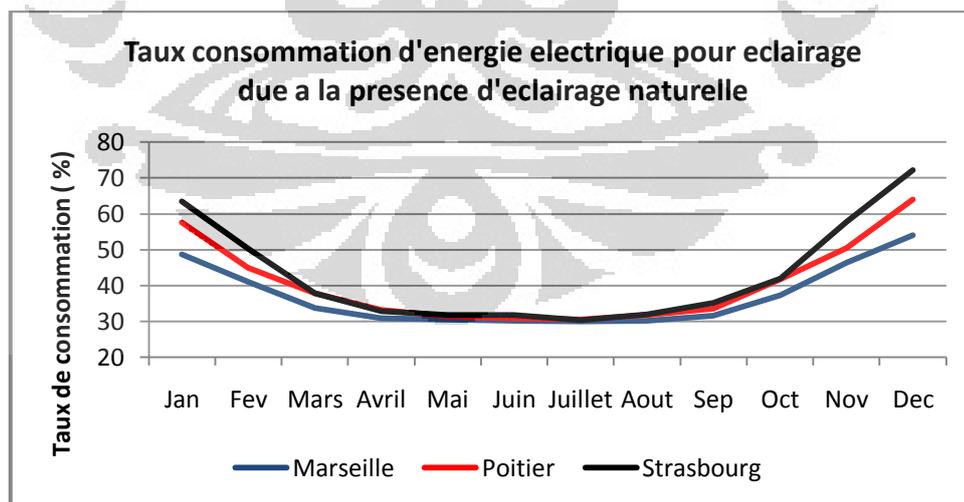


Figure.21 Niveaux de consommation d'énergie électrique pour éclairage lorsque en présence de l'éclairage naturel

7.2.6. Effet de l'éclairage naturel par les lanterneaux

Un des demandes d'énergie électrique dans les bâtiments est pour l'éclairage. Un éclairage adéquat est nécessaire pour l'activité humaine.

Sur la simulation, on tient compte de l'impact de l'éclairage naturel sur réduction de consommation d'énergie. Les ampoules seront supprimées lors d'illuminance du jour qui est suffisant. Par exemple, Lorsqu'on a 70% de l'exigence, les ampoules restent 30%. La limite minimale de luminance supposée est égal 500 lux. (Annexe-m).

Sur la figure.22, on constate la consommation annuelle d'énergie électrique pour éclairage indiqué est réduit de **12,24kWh/m²an (59,5%** de dépense totale électrique pour l'éclairage). La réduction est proportionnelle à l'abondance de rayonnement solaire. Note sur la figure.23, la consommation d'énergie a été pressée en parallèle de la présence du rayonnement solaire de chaque mois.

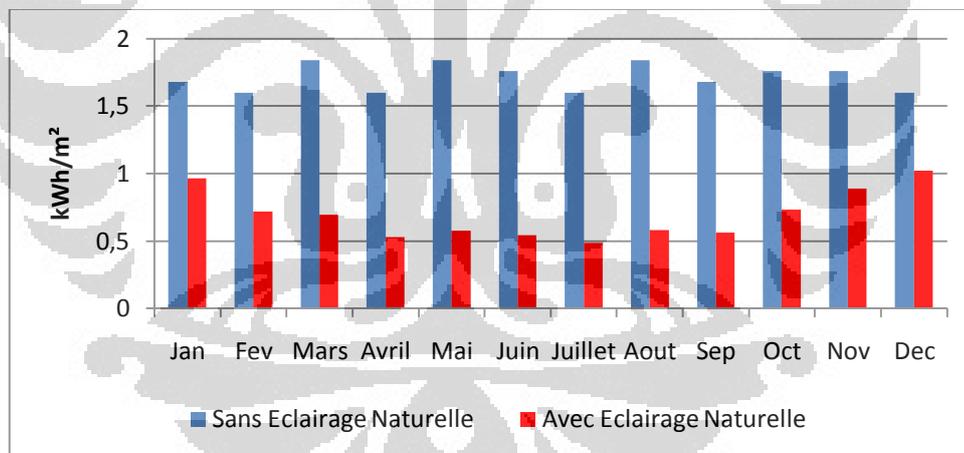


Figure.22. Consommation énergie électrique pour l'éclairage

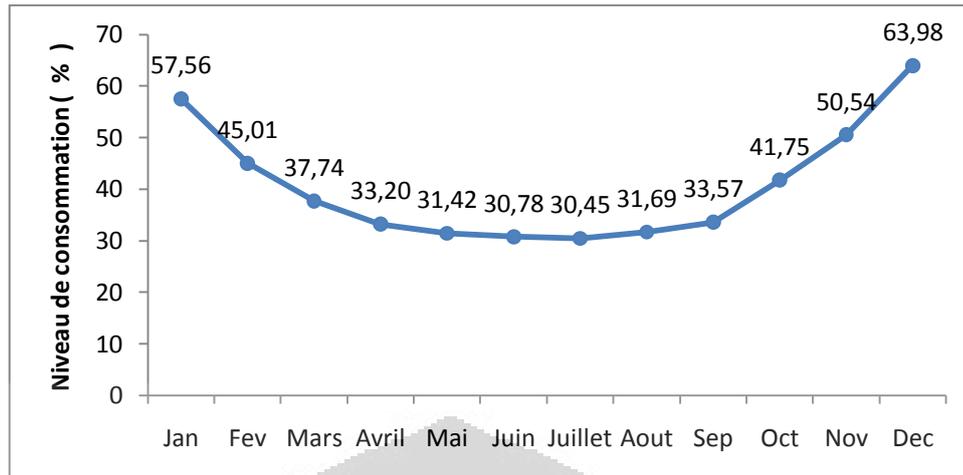


Figure 23. La diminution de consommation d'électricité pour éclairage en considérant d'éclairage naturel

Lorsqu'on supprime les ampoules lors d'éclairage naturel, on perdra alors le gain thermique qui permettra de réduire les besoins d'énergie pour le chauffage. Quand on élimine les ampoules, la demande de chauffage est augmentée de **21,95 kWh/m².an** à **22,89 kWh/m².an** (accroître 0,94kWh/m².an). Mais encore beaucoup plus faible par rapport d'économie d'énergie pour l'éclairage (12,24 kWh/m².an)

Au niveau de température, quand on observe d'une court période de 21 Juillet, on enregistre que les ampoules désactivé à partir de 9h00, lors de le rayonnement solaire. Donc par conséquent, la température diminue progressivement, jusqu'au 21h00 due à l'absence de gain thermique des ampoules. On constate la température maximale a baissé de **2,5⁰C** grâce à l'éclairage naturel. La réduction de consommation se produit à peu près de 09h00 à 21h00.

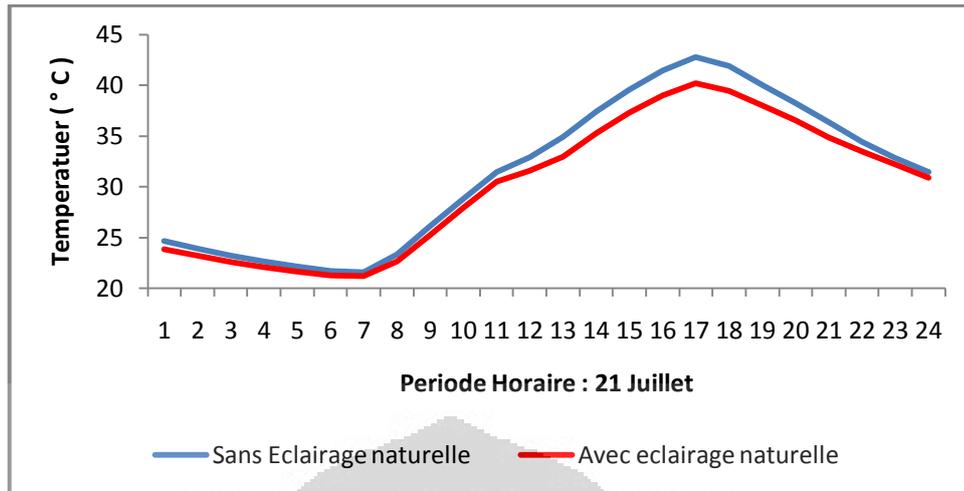


Figure 24. Diminution de température ambiante le 21 Juillet grâce à l'éclairage naturel

Le taux d'inconfort aussi diminue de 67,4% à 59,8% grâce à l'ampoule qui s'allumée en permanence. Autrement dit, la présence d'un éclairage naturel, réduit les apports gratuits par l'éclairage artificiel, et alors le taux d'inconfort a décliné.

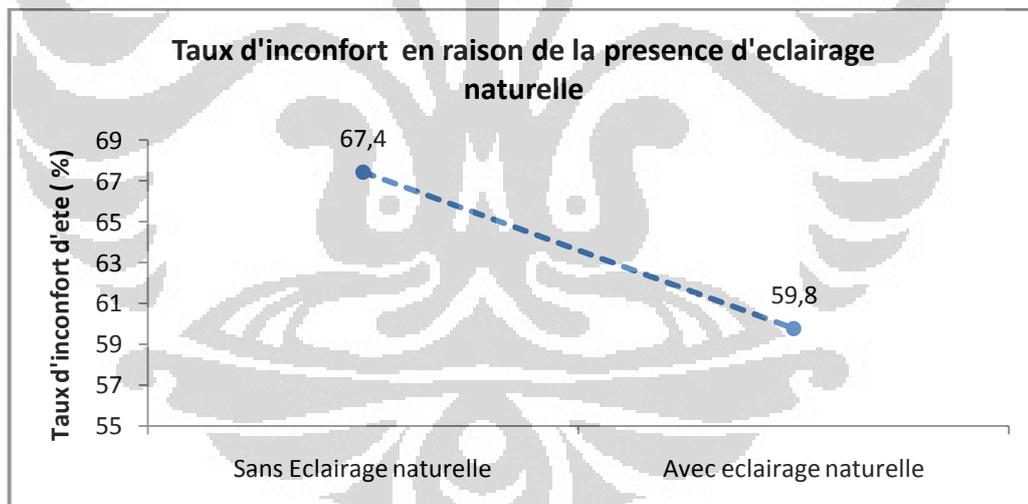


Figure.25. La diminution de l'inconfort dû à la suppression d'éclairage artificiel

Hauteur de la costière de lanterneaux intervenir sur l'éclairement reçu par la zone. Le rayonnement solaire incident sur la paroi de la costière est reflété en fonction de son réflectivité. Une partie de ce rayonnement sera renvoyée vers l'extérieur. Ici, on fait une variation de la hauteur de la costière, afin d'en apprendre ses impacts au niveau d'éclairage naturel.

S'expliqué sur la figure 26, en augmentant la hauteur de la costière de 0,1 à 1 m, alors la consommation d'énergie pour l'éclairage devrait augmenter de 7,6 kWh/m².an à 7,78 kWh/m² (2,4%)

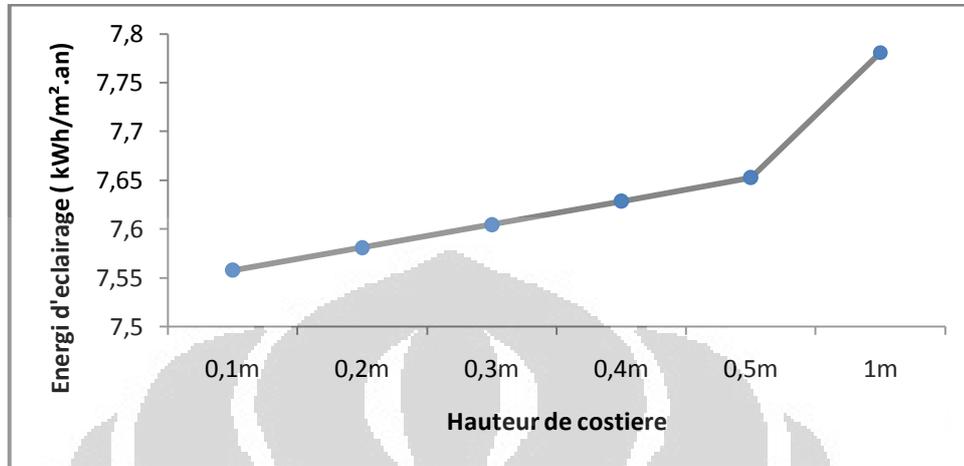


Figure.26. L'impact d'hauteur de la costière sur la consommation d'énergie d'éclairage.

7.2.7. La ventilation mécanique

La ventilation mécanique double flux a été assignée pour maintenir la qualité de l'air intérieur. Avant de souffler dans l'intérieur, l'air extérieur doit être préchauffé par l'échangeur afin de retirer de la chaleur gaspillée. Le débit d'air en hiver varie entre 0,64m³/s à 0,69m³/s (moyenne **0,65m³/s**) est équivalent à **0,3 vol/h.** (bâtiment a volume de 7880m³)

Le radiateur fonctionne en période hivernal de 1 Janvier - 30 Mai et 1 Octobre - 31 Décembre. Il peut être note que les besoins d'énergie pour le chauffage par m² des radiateurs est **22,9 kWh/m².**

7.2.8. Etude de l'impact des lanterneaux

7.2.8.1. Bâtiment de référence - Ventilation naturelle

Sur la ventilation naturelle, la chaleur emportée par le débit d'air. Lorsque la température extérieure est faible, alors la zone libère l'énergie thermique. En revanche, car la différence de potentiel thermique, puis l'air va circuler entre l'extérieur et l'intérieur. Le mouvement d'air affecte le comportement thermo-aéraulique du bâtiment.

7.2.8.1.1. Température opérative

On observe l'impact de la ventilation naturel en courte période d'été en figure.27. On laisse les ouvrants sont ouverte. L'ouverture des lanterneaux affecté la diminution de température ambiante en période estivale. Température maximale a baissé de $40,2^{\circ}\text{C}$ à $36,8^{\circ}\text{C}$. A la nuit, l'air extérieur rendre la température ambiante fortement chute. Lors qu'on laisse les lanterneaux toujours ouvert, la température minimum d'été a changé de $17,4^{\circ}\text{C}$ à $8,34^{\circ}\text{C}$. En moyenne d'été, la température a chuté à $5,8^{\circ}\text{C}$

Lors qu'on permet à lanterneaux d'amener l'air extérieur sans être contrôlé, il sera à risque de sousrefroidissement. Ensuite, on choisi une autre manière de mettre un le contrôleur qui pourrait réguler l'ouverture des lanterneaux en fonction de l'écart température extérieur et intérieur est de 5°C . Pour qu'il soit plus confortable, on fixe une température intérieure minimale de 17°C .

A ce niveau, on trouve une température maximale de l'intérieur, a changé de $40,2^{\circ}\text{C}$ à $39,7^{\circ}\text{C}$ et la température moyenne en été a chuté de $26,5^{\circ}\text{C}$ à $23,4^{\circ}\text{C}$.

On conclure que l'ouverture des lanterneaux réduit la température de la pièce, à condition que la température extérieure est inférieure la température intérieure. Ce phénomène est appeller le *système de refroidissement passif*. Sans l'aide d'un système climatisation, on a réussi à rendre la température intérieure a baissé. Mais il faut faire attention, il risque d'un sous refroidissement. Pour l'éviter, on peut organiser le bon scenario d'ouverture de lanterneaux, soit manuellement soit automatiquement par un régulateur. On préfère contrôler l'ouverture d'une fonction de la température minimal d'ambiante plutôt que de laisser l'ouverture sans control tout la journée.

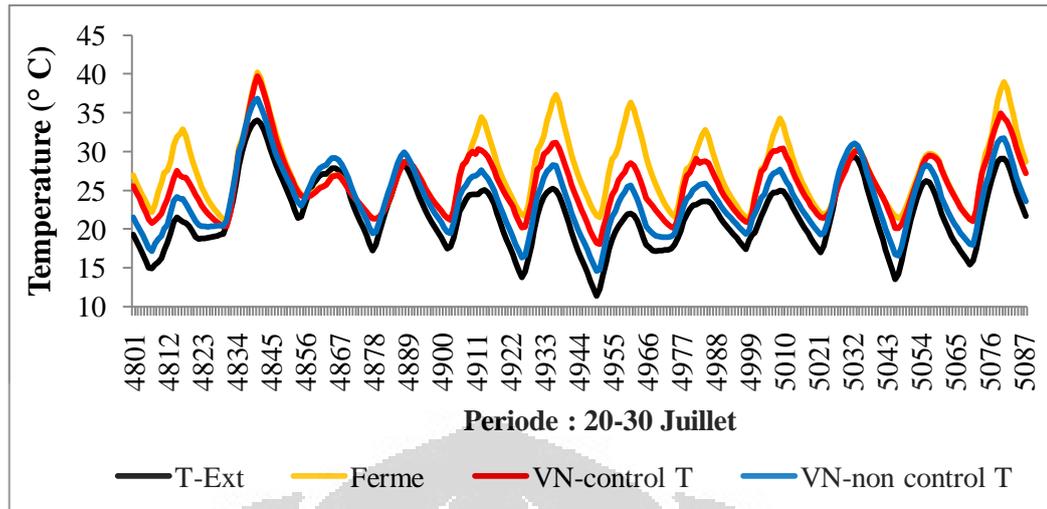


Figure.27. l'Effet de ventilation naturel sur la température opérative

Refroidissement passive par lanterneau remplace la fonction du système de climatisation. Sur les résultats de simulation (contrôler la température intérieure) a été enregistré en période d'été (1 Juin – 30 Sep), l'énergie thermique à travers lanterneaux est de **6,99 kWh/m²** (en 2,42% couverture de lanterneaux). Sans ventilation naturelle, cette énergie doit être évacuée par un système climatisation

7.2.8.1.2. Débit de ventilation naturelle

Lors de la surface de lanterneaux est 31,36m² (2,42% couverture), le débit maximale à travers lanterneaux est **4,4 vol/heure** et en moyenne de **0,4 vol/heure** en période d'été. Le profil complet du débit peut être considéré au Figur26. Il existe certain moment, le débit d'air est égale à zéro. Il est causé par l'absence de différence de pression et température entre l'intérieur et l'extérieur. Débit maximum s'est produit **le 11 Septembre à 16h00**

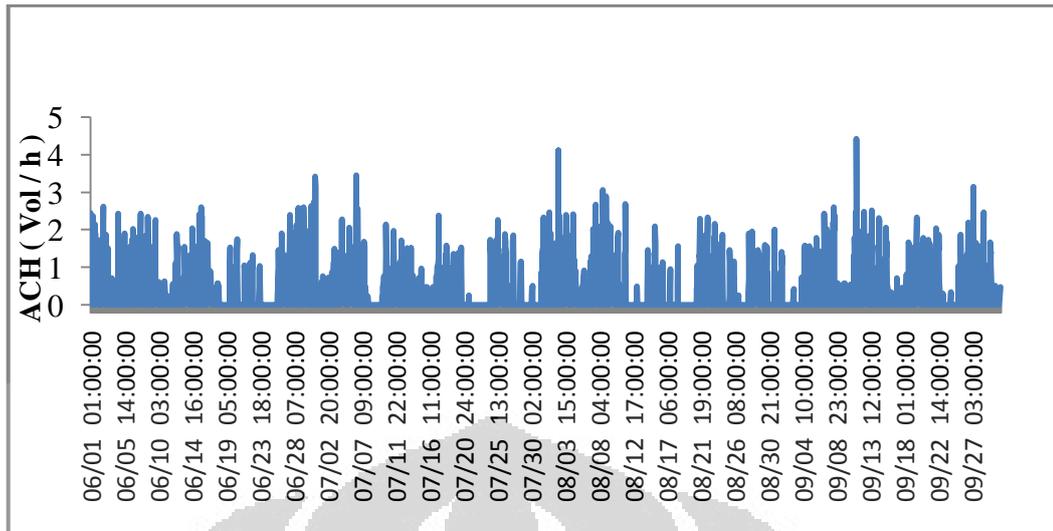


Figure.28 débit d'air de ventilation naturel

7.2.8.1.3. Taux d'inconfort

En ouvrant les lanterneaux, on obtient alors le taux d'inconfort a diminué de **59,8% à 31,4%**. Cette diminution en raison de refroidissement passifs. Ainsi la température moyenne d'ambiante **en période d'estivale a baisse de 26,5⁰C à 23,4⁰C** (diminue 3⁰C). C'est une réduction importante.

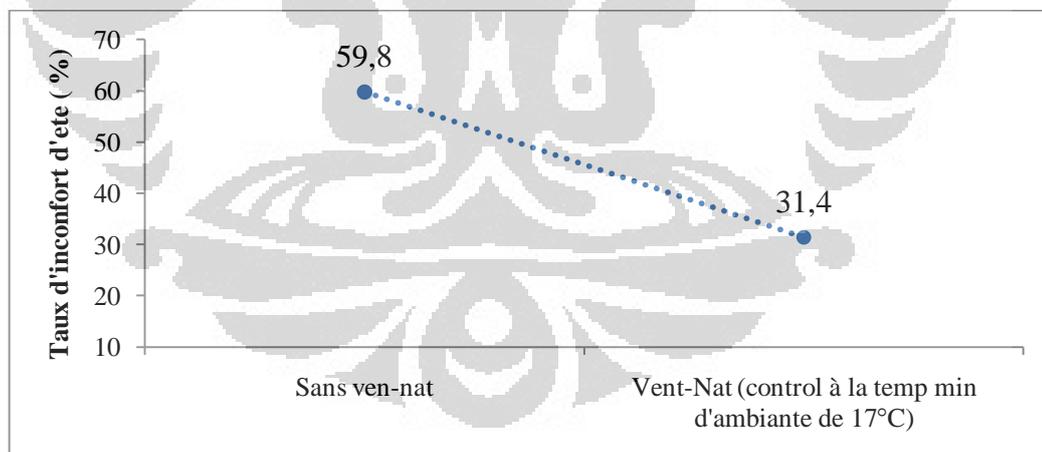


Figure.29. Diminution de taux d'inconfort grâce à la ventilation naturelle

7.2.8.2. Impact de la surface des lanterneaux sur le comportement thermo-aéraulique (lanterneaux fermés)

7.2.8.2.1. Consommation d'énergie globale

Après on va étudier l'impact de multiplication de la surface des lanternaux par rapport de l'augmentation des apports solaire gratuite. On agrandi la superficie de lanternaux de 31,36 m² (soit: 2,4% couverture) à 156,8 m² (soit 12,1% couverture)

Au niveau de gain thermique par lanternaux, lors qu'on agrandit la surface des lanternaux de 2,42% à 12,1% (5x références), on trouve en l'hiver, gain thermique solaire soumis par lanternaux a augmenté de 7,73kWh/m² à 35,3kWh/m². C'est une comparaison linéaire.

Un lanterneau absorbe l'énergie solaire directe, énergie solaire diffuse dans l'atmosphère et l'énergie thermique dans la zone. Ensuite il leur rayonne dans toutes directions. Lorsque la radiation est vers l'intérieur, il devient un gain thermique. Figure.30 montres la variation de gain et perte thermique par lanternaux par rapport d'augmentation de son surface. Du graphique, en augmentant le pourcentage de la surface de 2,42% à 12,1%, on obtient un gain net de 27,6 kWh/m² et aussi subir de perte thermique 13 kWh/m².

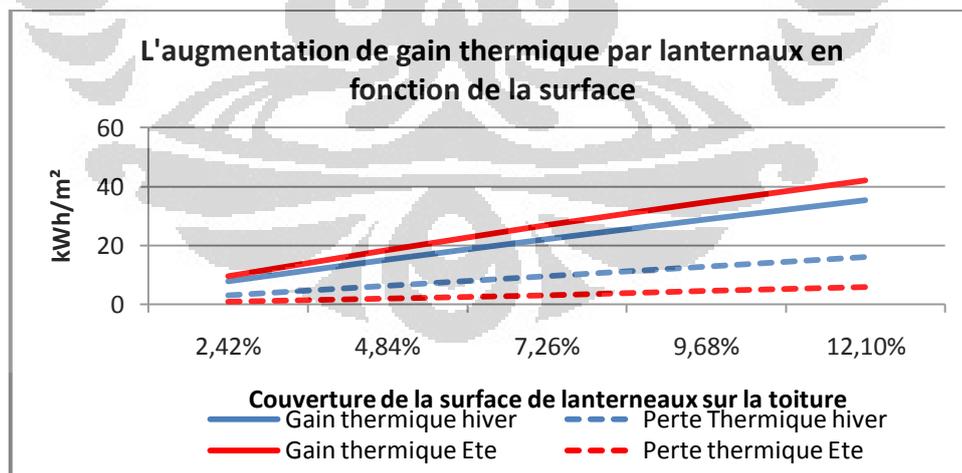


Figure.30. Energie solaire transmis par les lanternaux

Bien qu'il donne un gain solaire, lanterneaux à un risque de produire la perte thermique par infiltration d'air en passant de la cavité. En période hivernale, lors qu'on double la surface des lanterneaux (ils sont fermés) alors la consommation annuelle d'énergie de chauffage due à radiateur augmente de **22,9 kWh/m² à 24,8 kWh/m² (8,3%)**.

7.2.8.2.2. Consommation d'énergie due à l'éclairage

Ensuite, on évalue la consommation d'électricité pour l'éclairage. En ajoutant un pourcentage des lanterneaux sur toiture permettent d'accroître la quantité de rayonnement solaire entrant dans la pièce. Grâce à lumière du jour, les ampoules font s'éteindre et la consommation électrique sera réduite.

Sur figure.31, on remarque que, en été, multiplication de la surface des lanterneaux aucun impact sur la consommation d'électricité pour éclairage. La courbe présentée est presque rectiligne. Bien que la surface des lanterneaux aient été augmentés de 2,42% à 12,1%, réduction d'énergie réalisée est seulement 0,1 kWh/m² sur cette période. En ayant 2,42% de couverture, le besoin de l'illuminance peut être satisfait grâce au soleil dans une position presque verticale.

Contrairement en hiver, lors d'augmentation de la surface 5 fois alors la consommation électrique a été réduite de 6,14 kWh/m² à 4,90 kWh/m² (1,24kWh/m² : 19,7%). Cette variation est due à l'angle incident du rayonnement solaire est très faible. C'est pour ça, en élargissant lanterneaux on captera plus de rayonnement solaire.

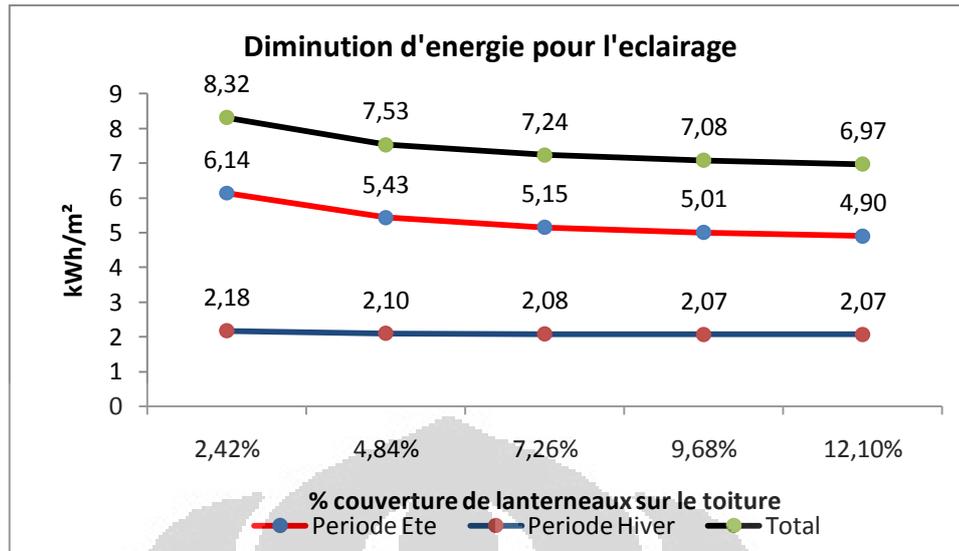


Figure.31. Diminution d'énergie électrique pour éclairage en raison de la surface des lanternes

7.2.8.2.3. Température opérative

L'élargissement des lanternes probablement provoquer la surchauffe de local. En figure32, en période 1-10 Aout, la température de zone augmente à midi, lorsqu'on agrandit les lanternes. Mais à la nuit elle reste stable. Agrandissement la surface sans l'ouverture, rendre la température locale élever. Par exemple, le 2 Aout à 17h00, la température augmente de 38,2°C à 42,9°C lors qu'on lui double lanterne de 2,42% à 4,84%.

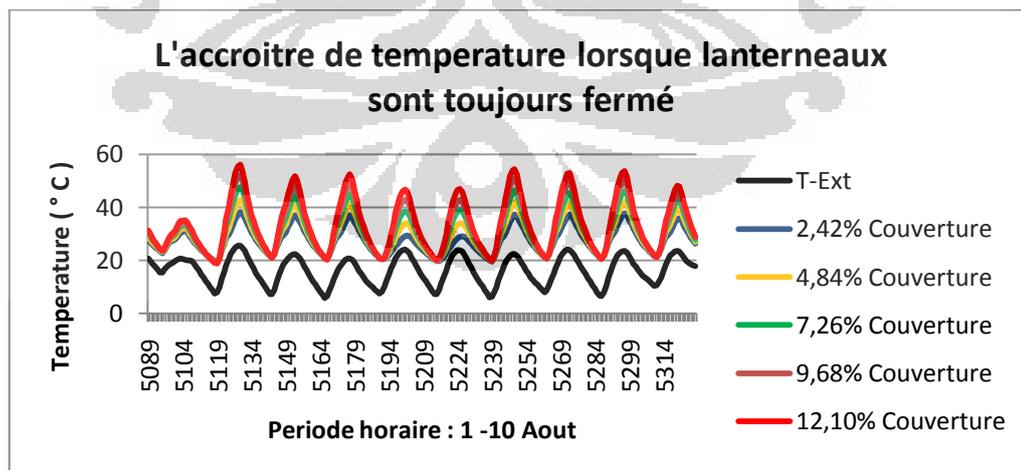


Figure.32. L'élévation de température ambiante en raison de l'élargissement des lanternes

7.2.8.2.4. Taux d'inconfort

Due à l'excès de gain thermique en été donc le taux d'inconfort en l'été est monté. La figure 33 montre la variation de taux d'inconfort par rapport à la surface des lanterneaux

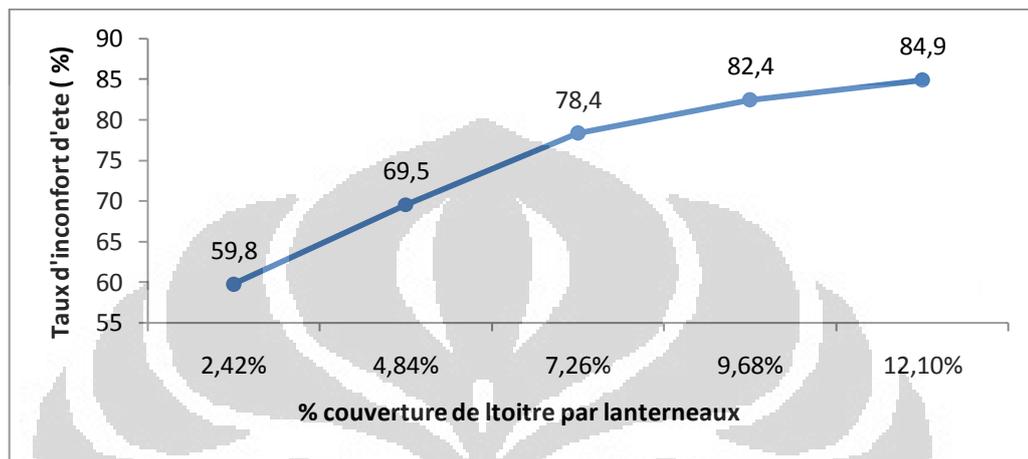


Figure.33. Taux d'inconfort thermique quand on ferme les lanterneaux

7.2.8.3. Impact de la surface des lanterneaux sur le comportement thermo-aéraulique (lanterneaux ouverts)

Aérauliquement, l'élargissement des lanterneaux permet d'une grande circulation d'air. La température intérieure est modifiée. Le transfert de chaleur se produit par renouvellement d'air.

7.2.8.3.1. Energie transféré par ventilation naturelle

L'air circulant à travers lanterneaux va transporte la chaleur en fonction de l'écart température. Due à la ventilation, la zone peut subir une déperdition ou un gain thermique. La variation de la surface modifie le débit et la quantité de la chaleur évacuée. Sur la figure 34, explique que l'augmentation d'énergie thermique transférée en fonction de l'expansion de couverture.

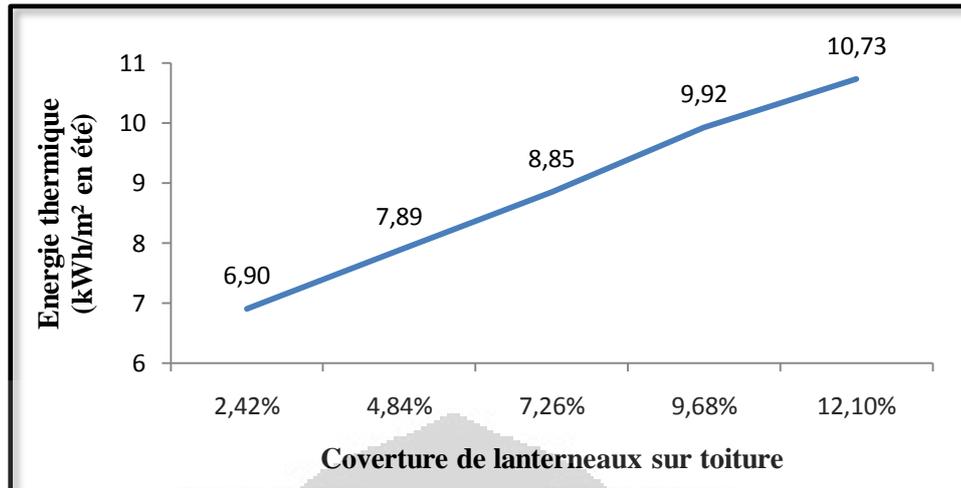


Figure.34. Energie thermique transféré par ventilation naturelle

7.2.8.3.2. Débits

Le débit à travers lanterneaux dépend de la différence de température, pression et la surface.

On observe que l'augmentation est proportionnelle au grossissement de surface. Lorsqu'on double la surface (de 2,42% à 4,84% couverture) on constate que le débit moyen qui passe les lanterneaux monte de 0,39 vol/h à 0,83 vol/h

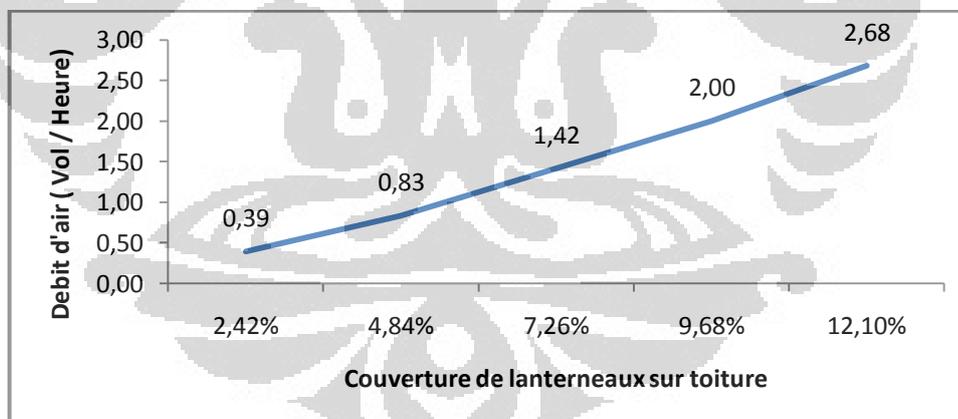


Figure.35. Débit d'air à travers lanterneaux en fonction de couverture

7.2.8.3.3. Confort thermique

En maintenant des lanterneaux sont toujours fermés, l'agrandissement de la surface monter le taux d'inconfort.

Après avoir pris connaissance de l'effet d'augmentation de lanternneaux lorsqu'ils ont toujours fermées, on commence à les ouvrir, afin de réduire la température ambiante qui trop élevée. On double la surface (2,42% à 4,84%), alors on trouve la température maximale augmente de 39,7°C à 39,8°C. Le tableau suivant montre la variation de température maximale d'ambiante en fonction de pourcentage de couverture de surface lanternneaux, lorsqu'ils son ouverts et fermés

couverte (%)	Lanterneaux sont fermés	Lanterneaux sont ouverts
2,42%	40,2°C	39,7 °C
4,84%	44,9 °C	39,9 °C
7,26%	49,6 °C	40,9 °C
9,68%	53,8 °C	41 °C
12,10%	57,7 °C	41,7 °C

Température maximale due à la couverture de lanternneaux (fermée et ouverte)

La figure 36 montre la variation de taux d'inconfort, tout en élargissant de couverture de lanternneaux, entre fermés ou ouvertes. L'expansion de la surface a la possibilité d'augmenter les niveaux d'inconfort thermique, même en ouverte ou fermée

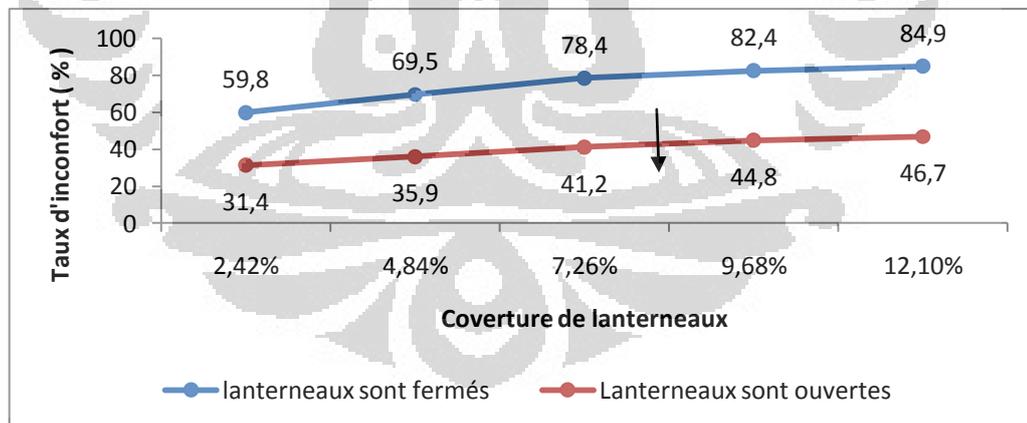


Figure.36. Taux d'inconfort thermique en période d'occupation d'été

CHAPTER 8

ETUDE D'UN BATIMENT EXISTANT-MULTIZONE

8.1. Présentation du bâtiment

Dans la deuxième simulation, on analysera le comportement thermo-aéraulique d'un bâtiment de 14 zones (figure.37). On positionne 12 lanterneaux sur la toiture du dépôt (espace de grand volume). Le pourcentage des lanterneaux sur la toiture représente **5,23%** de la surface totale. On étudie alors son impact sur le comportement thermo-aéraulique.

La température de chaque zone est maintenue entre 17°C et 20°C en période d'hiver (1 octobre au 30 Avril), sauf les pièces (poubelle, archive et dépôt) qui sont chauffées si la température descend en dessous de 12°C .

Ce bâtiment est muni de radiateur électrique. Afin d'évaluer la puissance nécessaire dans chaque pièce, aucune limite de puissance n'est fixée. Par ailleurs, en période estivale, aucun système de climatisation n'est prévu. Afin de rafraichir le bâtiment, une ventilation par l'ouverture des lanterneaux est prévue.

Les apports d'énergie liés aux occupants (25 personnes) sont inégalement répartis dans le bâtiment. La puissance délivrée par l'éclairage artificiel a été évalué à 10 W/m^2 pour toutes les zones et celle délivrée par les équipements électriques à 16 W/m^2 . Une explication détaillée de tous ces paramètres est précisée en annexe (annexe-i-paramètre sim2).

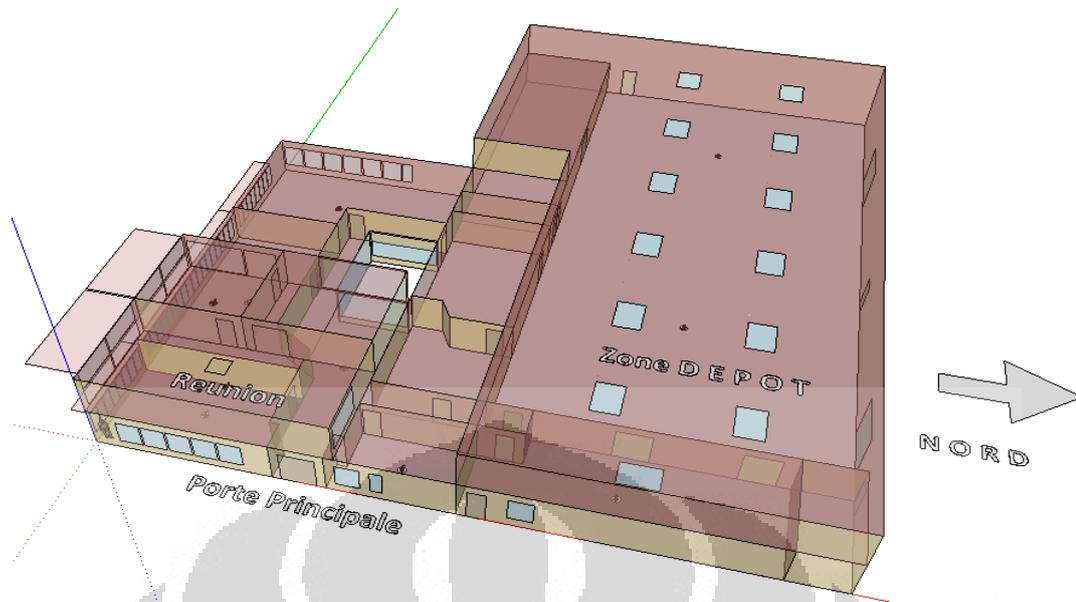


Figure.37. Géométrie du bâtiment commercial multizone

8.2. Résultats et discussion

On étudie l'impact thermo-aéraulique des lanterneaux sur la toiture d'un bâtiment commercial est associé à la consommation d'énergie global, le taux d'inconfort ainsi la réduction de consommation électrique pour éclairage. Le bâtiment existante désigné est situé à Poitiers, $46^{\circ}25'N$ latitude et $0^{\circ}20'E$ longitude (H2 zone thermique).

Le taux d'inconfort de locale réunion est 81,86%, un chiffre qui est assez élevé. C'est dû à nombreux de gain thermique par équipement électrique (1100 watt) et d'éclairage (10 W/m^2). Ainsi qu'il est occupé par 12 personnes en période d'occupation. Par ailleurs, la locale réunion a gros pourcentage de couverture de vitrage. Surtout sur le mur sud qui a 78,62% couverture des vitrages exposés vers le soleil. Il a besoin d'énergie pour le chauffage de $23,3 \text{ kWh/m}^2\text{an}$ pour une surface de réunion $78,6\text{m}^2$.

Par contraire, la cuisine a également une grande couverture de vitrage, mais a cause de son apport interne est faible, alors sa température est inférieure à la réunion. Il a le taux d'inconfort de 53,91%. Au niveau de la consommation d'énergie de chauffage, il a besoin de $71,4 \text{ kWh/m}^2\text{an}$ pour une surface de cuisine $32,8\text{m}^2$.

Pour le dépôt, sa température maximale est **33,7⁰C**, le taux d'inconfort est 63,37%. Son besoin de chauffage est environ **14,68 kWh/m²an** pour une surface 641,641m².

8.2.1. Impact des lanterneaux en position fermée

8.2.1.1. Effets sur la température maximale et le taux d'inconfort

Agrandissement de la surface des lanterneaux sur le dépôt, Il interviendra également sur la température opérative et taux d'inconfort thermique dans certains locaux adjacents. Par contre, pour autre local qui n'est pas en contact direct, sa température reste stable. Dans le dépôt, la température maximale a augmenté 0,56⁰C. Le taux d'inconfort également augmente de 0,58%.

	T Max (°C)		Taux d'inconfort (%)	
	5,3% couverture	10,5% couverture	5,3% couverture	10,5% couverture
Sec	37,92	37,92	81,05	81,05
Dir	36,54	36,54	68,95	68,95
Metreur	40,00	40,00	71,86	71,86
Magasin	40,01	40,01	84,65	84,65
Velo	36,99	37,02	78,72	78,72
Depot	33,70	34,26	63,37	63,95
V.Femme	34,23	34,24	60,93	60,93
V.Homme	36,21	36,21	67,21	67,33
Onduleur	50,99	51,05	92,67	92,33
Archives	35,22	35,25	68,60	68,84
Pubelle	33,01	33,04	56,86	56,74
Circulation	37,09	37,09	61,51	61,51
Reunion	46,45	46,45	81,86	81,86
Cuisine	40,07	40,07	52,91	52,91

8.2.1.2. Apports solaires dus aux lanterneaux

Il existe deux courbes opposées sur le figure.38, En hiver (Oct – Fév), les lanterneaux aura plus de déperdition thermique. À ce niveau, élargissement

de taille de lanterneaux a un impact négatif sur la consommation d'énergie. Contrairement en Mars – Septembre, lanterneaux sont plus susceptibles de produire un gain thermique.

Le gain thermique en hiver (1 Oct – 31 Mai), enregistre 1,5 kWh/m²an pour 5,3% couverture et 2,85 kWh/m²an pour 10,3% couverture.

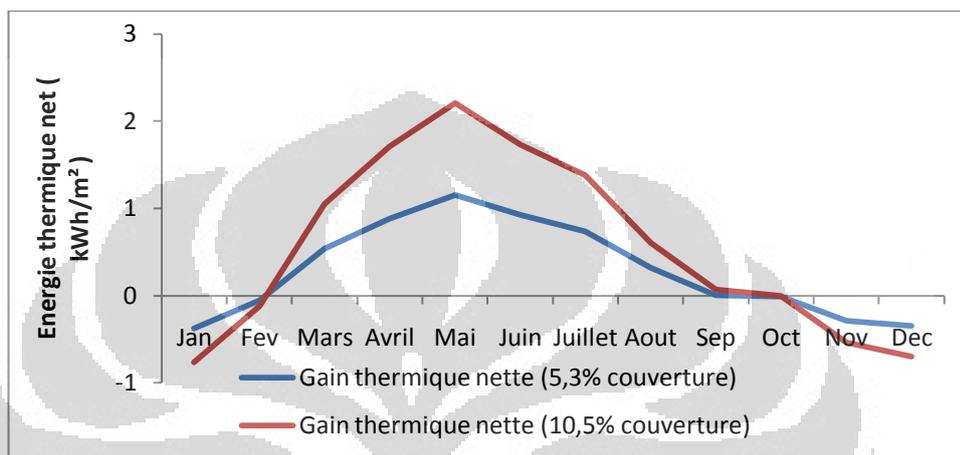


Figure.38 Gain thermique nette des lanterneaux.

8.2.1.3. Effet de la surface des lanterneaux sur la consommation globale d'énergie

Comme l'illustre sur la figure 38, en hiver, les lanterneaux sont plus susceptibles d'être déclencheur de déperdition thermique. La chaleur à travers des lanterneaux plus que ce qu'il passe les parois opaques

En doublant lanterneaux alors le besoin d'énergie de chauffage dans le dépôt accroître de 14,7 kWh/m²an à 16 kWh/m²an (1,3 kWh/m²an)

8.2.1.4. L'effet sur la consommation d'énergie électrique due à l'éclairage

La consommation d'énergie électrique pour l'éclairage artificiel prend 25% -40% [15] de la consommation totale d'électricité d'un bâtiment commercial. On a un intérêt à supprimer de cette dépense grâce à la présence de l'éclairage naturel.

La présence des lanterneaux (5,3% couverture) sera en mesure de réduire la consommation d'énergie électrique annuel pour le dépôt est de **3,8 kWh/m².an**

(11,2% de total consommation de dépôt). Ainsi qu'on double la surface des lanterneaux (10,5% couverture) on trouve une réduction de consommation de **6,6 kWh/m².an** (économies de **19,6%**).

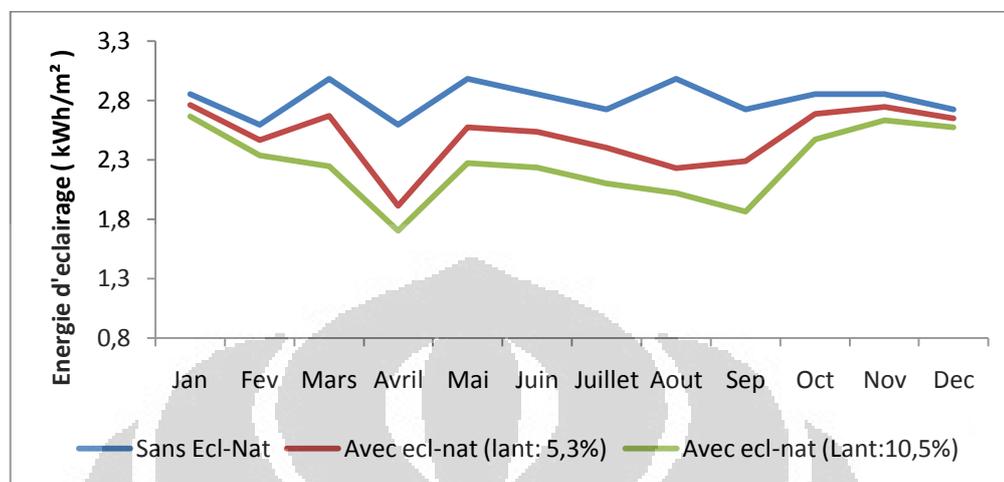


Figure.39. Diminution d'énergie électrique pour l'éclairage pour le dépôt

L'inversement, en raison de l'élimination des ampoules, en hivers on a besoin d'ajouter de l'énergie thermique de chauffage **de 0,16 kWh/m².an** (lors de 5,3% couverture). Toutefois, cette dépense est toujours faible par rapport celle de réduction de l'électricité.

8.2.2. Impact des lanterneaux en position ouverte

8.2.2.1. Température opérative et confort d'été

La fluctuation de température extérieure mènera au transfert chaleur. La figure.40 montre un portrait de la température de dépôt durant la période 1-10 Aout. La température locale chute à cause d'ouvrir lanterneaux. Par exemple, le 1 Aout à 12h.00, la température est descendue de **31,9⁰C** à **21,7⁰C**. En parallèle, il abaisse le niveau d'inconfort thermique dans le dépôt grâce à la ventilation. Mais il est risqué trop froid a la nuit, La température minimale atteint **8,3⁰C**.

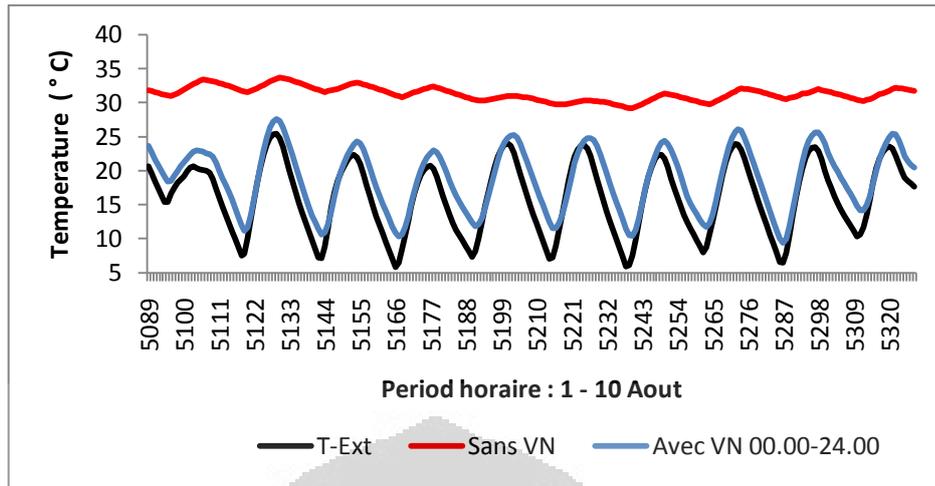


Figure.40. Température ambiante

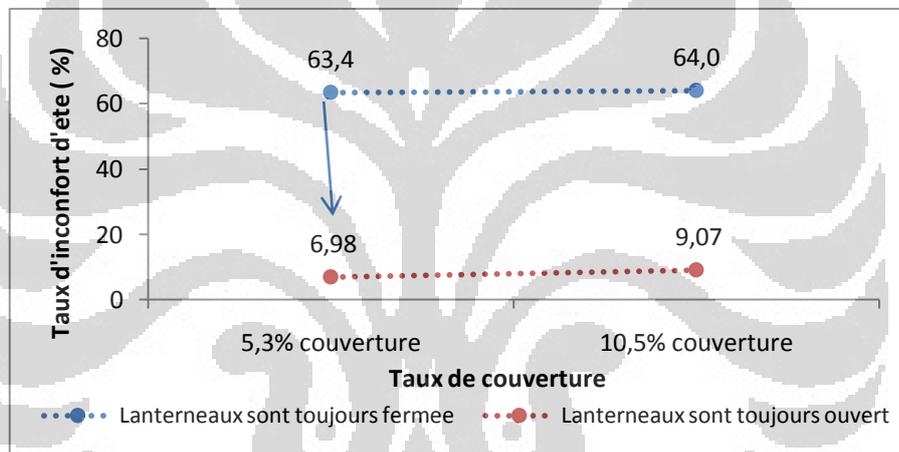


Figure.41. Taux d'inconfort en fonction de la surface

8.2.2.2. Débit d'air

L'air circule à travers les lanterneaux. Sur la courbe 42 illustre le débit d'air passant à travers les lanterneaux. Lors qu'on double la surface, on trouve le débit d'air augmente de 0,25 V/h a 0,47 en moyenne.

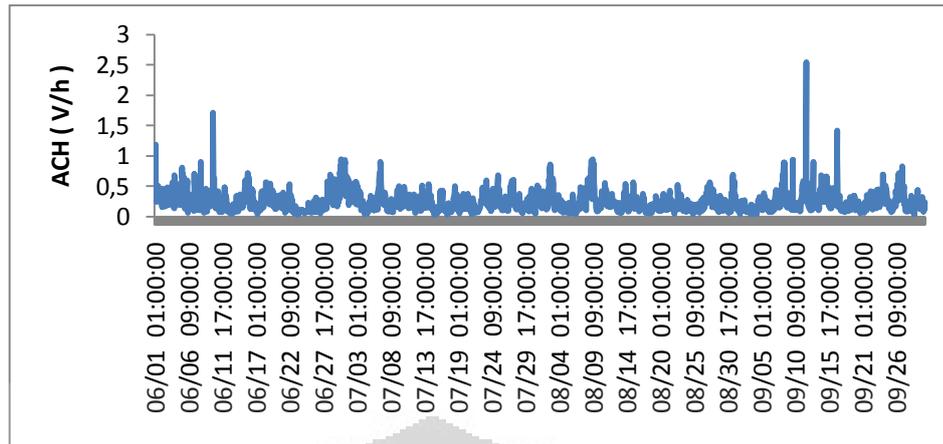


Figure.42. Débit de ventilation naturelle lors de couverture de lanterneaux 5,3%

8.2.2.3. Echanges thermo-aéraulique par ventilation naturelle

Figure 41 montre le gain et la perte de thermique par la ventilation naturelle. Lanterneaux peuvent agir en tant que média de transfert de chaleur. Le transfert de chaleur dépend de la température extérieure et intérieure. Déperdition thermique plutôt se produire a la nuit. L'agrandissement de la surface, permet d'avoir un débit plus important donc le transfert chaleur augmente.

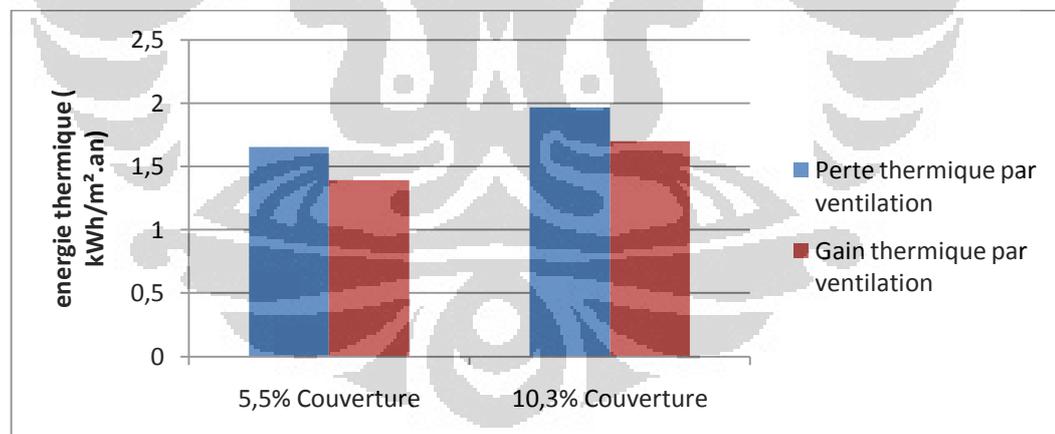


Figure.43. Le gain et perte thermique par ventilation naturelle

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

1. A.Trabelsi, R.Belarbi, E.Bozonnet, P.Salagnac,” Etat de l’art sur translucides et ouvrants en toiture.
2. M.Haase, A.Amato,” An investigation of the potential for natural ventilation and building orientation to achieve thermal confort in warm and humid climates”, Solar energy, Science Direct Vol 83 2009, p.389-399
3. Luis Perez-Lombard, Jose Ortiz, “A review on building energy consumption information”, Energy and building, vol 40-2008, p.394-398
4. Constantinos A Balaras, Kalliopi Droutsa, Elena Daascalaki,” Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings, Energy and buildings, Vol 37-2005,p.429-442.
5. Reglementation thermique 2012
6. John Martin Evans,” Evaluating comfort with varying temperature : a graphic design tool” Energy and buildings, Vol 35-2003,p.87-93
7. N.Artmann,H.Manz,P.Heiselberg,”Parameter study on performance of building cooling nighth-time ventilation, Renewable energy, Science Direct, vol 33-2008, p.2589-2598
8. Energyplus,”The encyclopedic reference to energyPlusinput and output”, Input Output Reference, October 2010, p.914
9. Energyplus,”The encyclopedic reference to energyPlusinput and output”, Input Output Reference, October 2010, p.459-469
10. The European Standart EN 12101-2:2003, “Smoke And Heat Control Systems – Part2: Specification for natural smoke and heat exhaust ventilators”,2003, p.6
11. T.Paul, D.Sree, H.Aglan,” Effect of mechanically induced ventilation on the indoor air quality of building envelope:, Energy and building, vol 42, 2010 p.326-332
12. Roberta Pirastu,Caterina Bellu,”Indoor Exposure to environmental tobacco smoke and dampness : Respiratory symptoms in sardinian children- DRIAS Study, Environmental research, 2009,p.59-65

13. Xing Li Wang, Muthuswamy Raveendran, Jian Wang, "Genetic influence on cigarette-induced cardiovascular disease, *Progress in cardiovascular diseases*, Vol 45, April 2003, p.361-382
14. D. Mumovic, J. Palmer, M. Davies, M. Orme, I. Ridley, T. Oreszczyn, C. Judd, R. Critchlow, H. Medina, G. Pilmoor, C. Pearson, et P. Way, "Winter indoor air quality, thermal comfort and acoustic performance of newly built secondary schools in England," *Building and Environment*, vol. 44, Juillet. 2009, p. 1466-1477.
15. C.A. Gueymard et W.C. duPont, "Spectral effects on the transmittance, solar heat gain, and performance rating of glazing systems," *Solar Energy*, vol. 83, Juin. 2009, p. 940-953
16. Krarti M. *Energy audit of building systems: an engineering , approach*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2000
17. F. Allard ET European Commission.; ALTENER Programme., *Natural ventilation in buildings: a design handbook*, London: James and James (Science Publishers) Ltd., 1998.
18. P. Concannon, *Residential ventilation*, AIVC Technical Note 57, 2002.
19. M. Russell, M. Sherman, et A. Rudd, "Review of Residential Ventilation Technologies," *Lawrence Berkeley National Laboratory*, 2005
20. L. Yang, G. Zhang, Y. Li, et Y. Chen, "Investigating potential of natural driving forces for ventilation in four major cities in China," *Building and Environment*, vol. 40, Juin. 2005, p. 738-746
21. N. Hölscher et H. Niemann, "Towards quality assurance for wind tunnel tests: A comparative testing program of the Windtechnologische Gesellschaft," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 74-76, Avr. 1998, p. 599-608
22. D. Costola, B. Blocken, et J.L.M. Hensen, "Overview of pressure coefficient data in building energy simulation and airflow network programs," *Building and Environment*, vol. In Press, Corrected Proof
23. Energyplus,"EnergyPlus engineering reference-The reference to EnergyPlus calculations", Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, October 2010, p.26

24. E. Wurtz, L. Mora, et C. Inard, "An equation-based simulation environment to investigate fast building simulation," *Building and Environment*, vol. 41, Nov. 2006, p. 1571-1583
25. A. Laouadi et M.R. Atif, *Transparent domed skylights optical model for predicting transmittance, absorptance and reflectance*, National Research Council Canada, 1998
26. K. Hassouneh, A. Alshboul, et A. Al-Salaymeh, "Influence of windows on the energy balance of apartment buildings in Amman," *Energy Conversion and Management*, vol. 51, Aoû. 2010, p. 1583-1591
27. A. Laouadi et M.R. Atif, *Natural convection heat transfer within multilayer domes*, National Research Council Canada
28. E. Rico-Garcia, I. Lopez-Cruz, G. Herrera-Ruiz, G. Soto-Zarazua, et R. Castaneda-Miranda, "Effect of Temperature on Greenhouse Natural Ventilation under Hot Conditions: Computational Fluid Dynamics Simulations," *Journal of Applied Sciences*, vol. 8, 2008, p. 4543-4551
29. Energyplus, "EnergyPlus engineering reference-The reference to EnergyPlus calculations", Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, October 2010, p.26
30. F. Allard, "Aéraulique des bâtiments ", *Master ingénierie du bâtiment GIBER*, Université de La Rochelle
31. Jin Taung lin, Yew Khoy Chuah, " Prediction of infiltration rate and the effect on energy use for ice rinks in hot and humid climates", *Building and Environment*, vol 45 2010, p.189-196

ANNEXE

10.1. Annexe 1 : Les différentes causes du transfert aéraulique

Effet dynamique du vent

L'effet du vent se traduit par diverses pressions créées sur l'enveloppe du bâtiment (voir figure ci dessous). Un gradient de pression entre l'intérieur et l'extérieur apparaît, induisant l'entraînement d'air à travers les ouvertures des zones de haute pression vers celles de basse pression

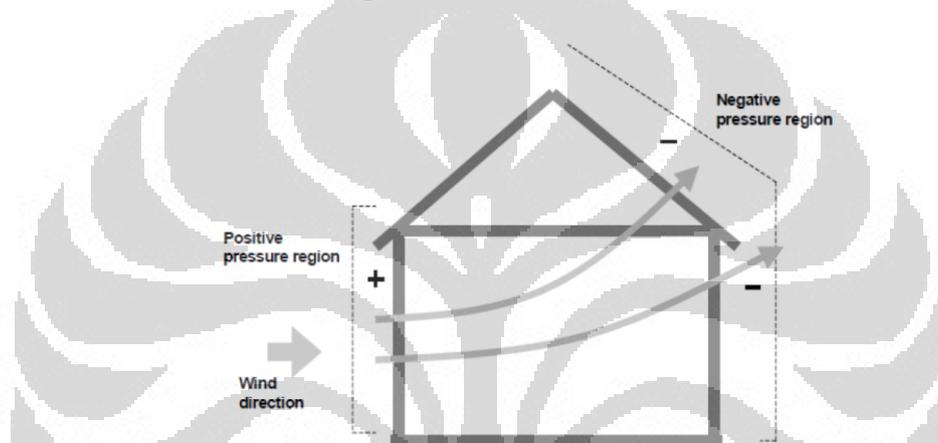


Figure. Action du vent sur les bâtiments

La pression du vent sur une surface de l'enveloppe du bâtiment est la pression dynamique donnée par :

$$P = C_p P_{dyn}$$

$$P_{dyn}(z_{ref}) = \frac{1}{2} \rho \bar{u}^2(z_{ref})$$

Où P est la pression servant à calculer les débits à travers le bâtiment et C_p le coefficient de pression dynamique

Caractéristiques du vent

Le suivi de la vitesse du vent en fonction du temps montre qu'il s'agit d'une grandeur très variable en amplitude et en direction au cours du temps. Généralement, nous avons accès à cette grandeur à partir des données météorologiques qui nous renseignent sur la valeur moyenne issue de mesures sur des sites à faible rugosité. Pour tenir compte de la réalité du site, on introduit

généralement trois caractéristiques pour définir la vitesse du vent moyenne locale [16]. Ces caractéristiques traduisent le changement local de rugosité, la modification locale du relief et la présence d'obstacles particuliers. On définit alors la vitesse moyenne locale par l'expression suivante :

$$\bar{u}(x, z) = u_{ref} C_R(x, z, z_0) C_T(x, z) C_S(x, z)$$

Où u_{ref} est la vitesse de référence au-dessus de la couche limite atmosphérique ; $C_R(x, z, z_0)$ est le coefficient de rugosité ; $C_T(x, z)$ est le coefficient topographique et $C_S(x, z)$ est le coefficient de sillage. Ces coefficients sont définis généralement à partir de formules empiriques.

Effet du tirage thermique

Le tirage thermique se produit lorsqu'il y a une différence de masse volumique entre l'air situé à l'intérieur du bâtiment et celui situé à l'extérieur, induite par des différences de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. La masse volumique de l'air évolue avec la température suivant la loi :

$$\rho(T) = \rho(T_0)[1 - \beta(T - T_0)]$$

Avec β , le coefficient de dilatation de l'air et T_0 , une température de référence.

Cette différence de densité crée des différences de pression qui ont comme conséquence d'extraire de l'air hors du bâtiment par les ouvertures présentes dans l'enveloppe de celui-ci. Typiquement, l'air entre dans le bâtiment par le niveau bas et en ressort par le niveau haut ; il apparaît ainsi une zone horizontale pour laquelle la différence de pression est nulle, le plan neutre illustré par la Figure [19].

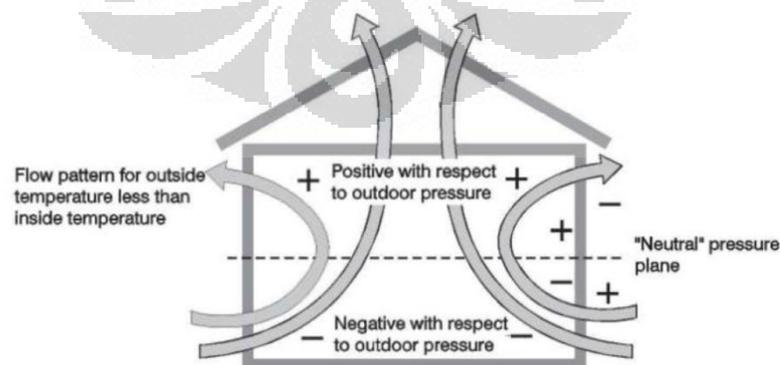


Figure. Effet du tirage thermique dans les bâtiments

Effets combinés

En réalité, les deux moteurs de la ventilation naturelle agissent simultanément (voir ci-dessous). Ils peuvent agir soit de manière combinée, ce qui permet d'accroître les débits de ventilation, soit en opposition réduisant les débits d'aération. L'action du vent peut toutefois avoir des effets relativement plus importants que ceux du tirage thermique, notamment pour les bâtiments de faible hauteur. Ainsi, à partir d'une vitesse de 3 m/s, le vent devient dominant sur les autres forces des systèmes de ventilation naturelle [18].

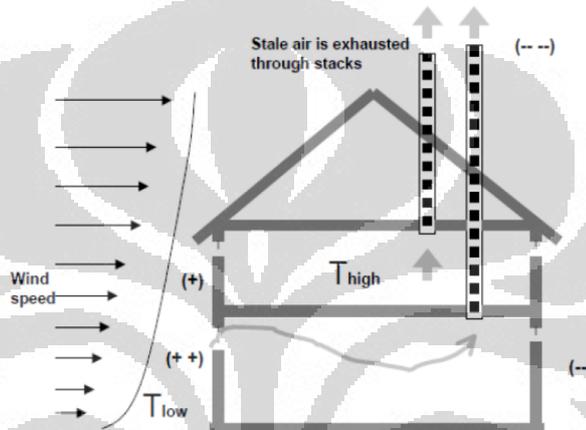


Figure. Effets combinés du vent et du tirage thermique

Afin d'évaluer le potentiel de ventilation naturelle, liée aux effets du vent et du tirage thermique, Yang *et al.* [20] ont réalisé une étude qui porte sur 4 villes en Chine. Les différences de pressions mensuelles effectives PDPH des quatre villes ont été calculées et comparées respectivement. Il a été démontré que la vitesse du vent horaire et la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur sont les facteurs les plus importants

10.2. Annexe 2 : Le coefficient de pression

Lorsque le vent souffle autour d'un bâtiment, il crée au niveau de ces surfaces des pressions ou des dépressions qui affectent directement plusieurs paramètres caractéristiques des échanges d'air entre le bâtiment et le milieu extérieur : les débits entrants et sortants des systèmes de ventilation, la pression intérieure du bâtiment et les infiltrations.

Les pressions au niveau de chaque point de la surface du bâtiment sont directement proportionnelles aux pressions dynamiques exercées en ces points.

On définit alors le coefficient de proportionnalité C_p appelé « coefficient de pression ». Ce coefficient empirique dépend des caractéristiques de l'écoulement autour du bâtiment et des caractéristiques du bâtiment lui-même.

On définit le coefficient de pression en un point $M(x, y, z)$, de pression dynamique de référence P_{ref} correspondant à une hauteur z_{ref} pour un vent avec un angle incident θ par la relation suivante :

$$C_p(z_{ref}, \theta) = [P - P_0(z)] \cdot [P_{dyn}(z_{ref})]^{-1}$$

Où P est la pression mesurée et P_0 est la pression atmosphérique de référence.

La Figure représente la distribution du coefficient de pression obtenue le long d'une coupe sur un bâtiment cubique issue d'essais en soufflerie.

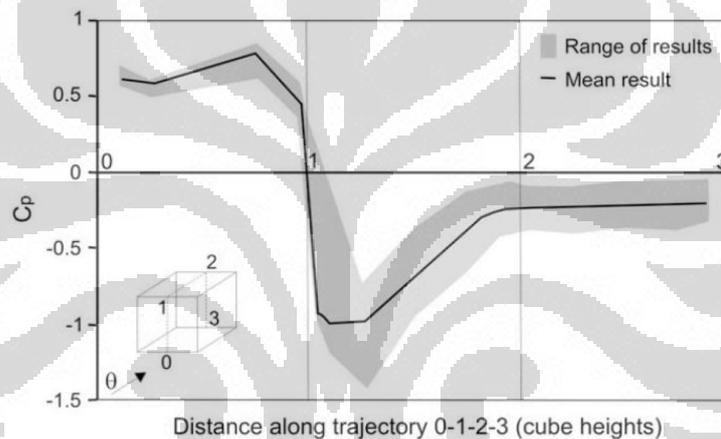


Figure. Comparaison de différentes expériences en soufflerie [21]

Il existe plusieurs bases de données sur les valeurs du coefficient de pression [22]. Ces données sont classées en fonction de certains paramètres tels que la configuration du bâtiment, la forme et l'orientation du vent incident. Elles sont largement disponibles, en particulier pour le calcul des charges dues au vent sur les structures. Les normes sur les charges dues au vent sont souvent des valeurs pour des bâtiments non protégés avec des géométries simples. Ces valeurs sont à utiliser à défaut d'essais en soufflerie. Une approche similaire, c'est à dire avec des géométries simples pour des bâtiments non protégés, est utilisée dans les bases de données disponibles dans la littérature concernant la ventilation et l'infiltration (exemple : la base de données AIVC ou les données ASHRAE).

10.3. Annexe 3 : Méthode de calcul du débit de ventilation

Calcul des débits qui se déplacent dans la ventilation et l'infiltration est [23] :

$$\text{Infiltration} = I_{Max} \times F_{sch} \times [A + B|T_{zone} - T_{odb}| + C(\text{Wind}_{speed}) + D(\text{Win}_{speed})^2]$$

Ou :

I_{design} : debit maximum

F_{Sche} : Facteur de multiplier par rapport à la valeur maximum

A : Constanta de coefficient (dimensionless)

B : Coefficient de Température $1/^\circ\text{C}$

C : coefficient de la vitesse (s/m)

D : coefficient de mètre carre de la vitesse (s^2/m^2)

10.4. Annexe 4 : Calcul des débits d'air

Afin de calculer les débits d'air dans un bâtiment, il faut tout d'abord identifier les différentes ouvertures pouvant participer à l'évacuation et aux appels d'air. Selon leurs tailles, les ouvertures servant à la ventilation peuvent être classées comme suit :

- Type A : grandes ouvertures avec un rapport hauteur d'ouverture/hauteur de zone élevé. Ces ouvertures sont généralement des fenêtres ouvertes ou semi-ouvertes, des portes ou d'autres ouvertures construites à cet effet.
- Type B : petites ouvertures avec un petit rapport hauteur d'ouverture/hauteur de zone. Ces ouvertures peuvent avoir de grandes largeurs.
- Type C : orifices uniformément réparties sur une large zone, cela correspond aux fissures ou aux infiltrations.

Ces mêmes ouvertures sont classées en fonction de leurs emplacements :

- Ouverture verticale située dans les murs verticaux.
- Ouvertures horizontales situées dans les plafonds horizontaux, toits ou planchers.
- Ouvertures inclinées situées dans les toits inclinés.

Pour les faces verticales, les débits massiques d'air sont supposés être une fonction de la différence de pression à travers cette face. Le débit massique à travers chaque interface est donné par [18] :

$$Q_{j \rightarrow i} = \rho_{j,i} S \cdot C_d (P_j - P_i)^n$$

où $\rho_{j,i}$ est la masse volumique de l'air en fonction du signe de $Q_{j \rightarrow i}$, C_d et n sont des coefficients empiriques régissant l'écoulement, S est la surface correspondante à l'écoulement d'air et P_i et P_j sont respectivement les pressions d'air dans les cellules i et j .

Pour les faces horizontales, la variation de la pression hydrostatique est prise en compte. Le débit massique à travers une face horizontale est donné par [24] :

$$Q_{j \rightarrow i} = \rho_{j,i} S \cdot C_d (P_j - P_i - g(\rho_j h_j - \rho_i h_i))^n$$

10.5. Annexe 5 : Transfert de chaleur dans un bâtiment

Flux radiatif

Le rayonnement solaire est l'ensemble du rayonnement émis par le Soleil. Son spectre de longueurs d'ondes est compris entre 0,3 et 2,5 μm . On divise souvent ce domaine en 3 sous-domaines : celui des visibles (VIS) énoncé dans l'introduction, une partie des ultra-violets (UV : 0,2 à 0,4 μm) ainsi que le domaine des proches infrarouges (PIR : 0,76 à 2,5 μm). Les bornes de ces sous-domaines varient légèrement selon les sources. En se référant au spectre solaire normalisé fourni par l'ASTM (American Society for Testing and Material), l'énergie thermique contenue dans les 3 catégories est d'environ 5% pour les UV, 46% pour les visibles et 49% pour les PIR.

Pour la simulation des transferts radiatifs, les surfaces sont généralement considérées comme des corps gris, où les propriétés des surfaces ne dépendent pas de la longueur d'onde. Le rayonnement total émis par une surface grise est donnée par la loi de Stefan-Boltzmann :

$$\phi = \varepsilon S \sigma T^4$$

Où ϕ est le flux radiatif, ε est l'émissivité de la surface, S est la surface, σ est la constante de Stefan-Boltzmann et T est la température de surface.

Le rayonnement solaire incident sur un milieu semi-transparent peut être réfléchi, absorbé ou encore transmis selon la réflectivité de la surface ρ , son absorptivité α et sa transmissivité τ . Par conservation de l'énergie rayonnée incidente, on a :

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

La loi de Kirchhoff permet de relier les propriétés d'émissivité et d'absorptivité d'un corps. Pour les surfaces de grise, on peut écrire :

$$\varepsilon = \alpha$$

Les surfaces réelles ne se comportent pas toujours comme un corps gris, c'est pourquoi une distinction est faite pour les rayons de courtes longueurs d'ondes et les rayons de grandes longueurs d'ondes. La modélisation des transferts de chaleur par rayonnement dans les bâtiments comprend alors principalement la modélisation du rayonnement solaire incident sur

Les surfaces du bâtiment et la modélisation des échanges radiatifs en rayonnement infrarouge entre les surfaces à température ambiante.

Le rayonnement solaire est principalement celui en courtes longueurs d'ondes et se compose du rayonnement direct et diffus. Il est donné par les fichiers météorologiques et il est introduit dans la modélisation en tant que condition aux limites. En tenant compte de la géométrie du bâtiment et de la position relative du Soleil, le rayonnement solaire sur les translucides peut être calculé en utilisant leurs propriétés de transmission. Les calculs peuvent aller de ratio très simple, à des calculs détaillés des échanges radiatifs à l'intérieur du vitrage.

Le rayonnement à l'intérieur du bâtiment doit être intégré dans le bilan énergétique du bâtiment. L'échange radiatif net entre les surfaces i et j (considérée comme des corps noirs) constituant un bâtiment est donné par l'équation suivante :

$$\phi_{ij} = S_i F_{ij} \sigma (T_i^4 - T_j^4)$$

Où F_{ij} est le facteur de forme, défini comme le rapport entre le flux radiatif émis surface i et intercepté par la surface j et le flux total émis par la surface i . Le facteur de forme dépend de la forme et de la position relative des deux surfaces.

Les échanges radiatifs externes ont lieu entre les surfaces extérieures du bâtiment et son voisinage. En général, les températures du sol et celles de ses environs sont supposées être égales à la température de l'air extérieur. Souvent, la notion de «température de ciel» est introduite pour tenir compte des échanges radiatifs au niveau des surfaces extérieures sur la gamme des grandes longueurs d'ondes.

Comme les outils de simulation permettent, le plus souvent, de prendre en compte les effets du rayonnement solaire uniquement sur des surfaces planes, Laouadi et Atif [25] ont proposé un modèle qui tient compte de la forme du translucide. Ainsi, pour chacun des paramètres permettant de décrire le transfert radiatif, ils ont défini à partir de la forme géométrique du translucide les paramètres équivalents à une surface plane

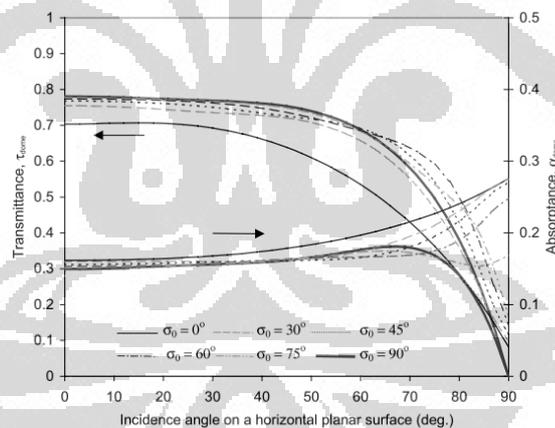


Figure. Coefficient de transmission et d'absorption équivalents d'un dôme

Flux convectif

Il s'agit du transfert de chaleur échangé entre une surface solide et un fluide ou celui entre deux fluides. Le processus de transfert par convection est d'une grande importance dans le domaine du bâtiment. Il concerne le flux de chaleur dans les pièces, dans les cavités des éléments de construction ou même dans les pores des matériaux constituant l'enveloppe.

La simulation des transferts convectifs se fait généralement par l'intermédiaire du coefficient d'échange thermique par convection h_c . Le flux de chaleur convectif est donné par la relation :

$$\phi = Sh_c(T_s - T_a)$$

Où T_s est la température de surface et T_a la température de l'air ambiant

Le coefficient d'échange thermique par convection est fortement dépendant des conditions d'écoulement de l'air et de la configuration du bâtiment. Dans le domaine du bâtiment, des corrélations simplifiées pour le calcul du coefficient de transfert thermique par convection sur les surfaces extérieures peuvent être trouvées dans la littérature [26]. Un exemple est donné par l'équation **Error! Reference source not found.** pour la valeur de h_c extérieur

$$H_c = 5,7 + 3,8 u$$

Où u est la vitesse de l'air.

Dans le cas de translucides à deux parois séparées par de l'air, il existe un transfert de chaleur par convection caractérisé par un coefficient de convection qui dépend de la forme du

translucide. Dans le cas d'un dôme, on retrouve dans la littérature des corrélations qui permettent d'évaluer le coefficient d'échange convectif par convection à partir du nombre Nusselt et de l'espacement adimensionnel entre les parois [27]

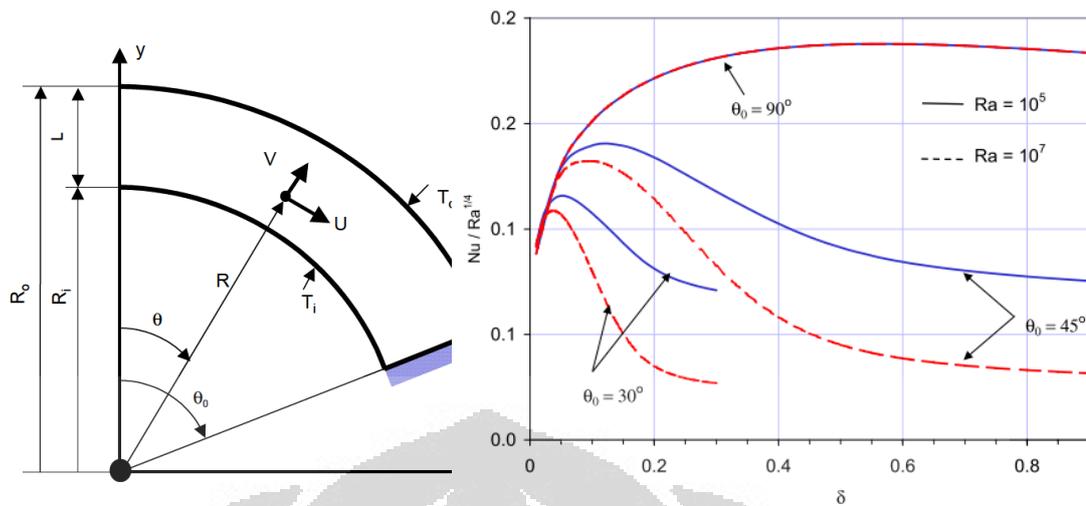


Figure 1 : Nombre de Nusselt en fonction de l'espacement entre parois du translucide

Flux conductif

Dans un milieu solide, il existe une relation linéaire entre le flux thermique et le gradient de température. Le flux thermique instantané est proportionnel à la conductivité thermique effective ou équivalente du milieu et au gradient de température suivant la loi de Fourier :

$$\phi = S\lambda \frac{dT}{dx}$$

La conductivité thermique λ du milieu dépend de la complexité de sa structure et de la température.

10.6. Annexe 6 : Évaluation des propriétés thermo-optiques

La simulation dynamique thermique nécessite au préalable la connaissance des propriétés thermo-optiques des systèmes de vitrage utilisés. Ces systèmes sont complexes car ils sont constitués de parties (vitrage, cadre, protection solaire) de comportement thermique hétérogène. Afin de caractériser de tels systèmes, on a recours à l'expérimentation ou à la simulation.

Un des outils permettant la caractérisation thermo-optique des systèmes de vitrage est le logiciel WINDOW. Afin de tester la véracité des résultats issus de ce logiciel, Robinson et Littler [28] ont développé un banc expérimental permettant

d'évaluer les propriétés thermo-optiques de lanterneaux (voir Figure). La comparaison entre les résultats numériques et expérimentaux montre un bon accord pour ce qui est du flux thermique à travers le lanterneau que ce soit pour un vitrage double ou triple. L'étude a montré par ailleurs une légère différence concernant le coefficient d'ombrage. D'après les auteurs, cet écart est dû au modèle de ciel utilisé.

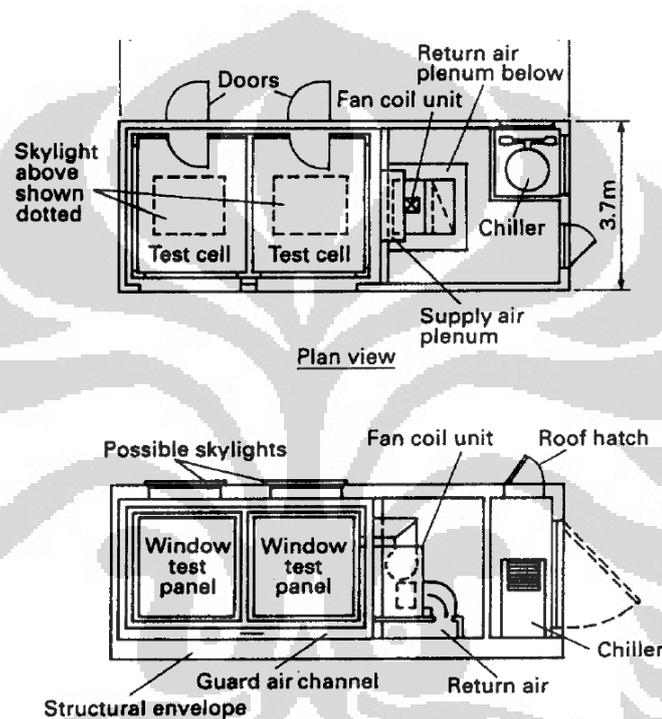


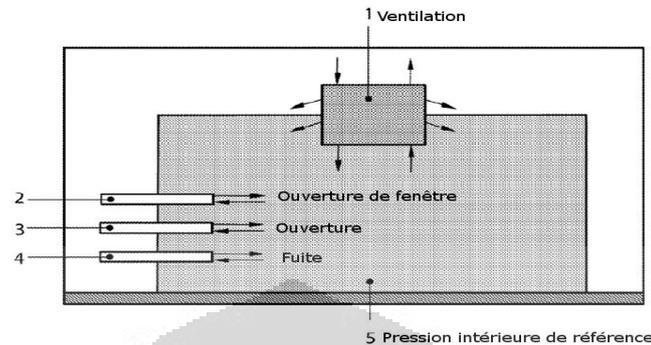
Figure. Banc expérimental pour la caractérisation des propriétés thermo-optiques des lanterneaux

Cependant, une attention particulière doit être apportée vis-à-vis des spectres solaires utilisés lors de l'évaluation numérique des propriétés thermo-optiques. En effet, l'étude réalisée par Gueymard et Dupont [29] sur l'impact du spectre solaire utilisé pour différents types de

10.7. Annexe 7 : Calcul réglementaire du débit pour un ouvrant

La norme européenne NF EN 15242 décrit la méthode de calcul des débits de ventilation des bâtiments, pour des applications telles que les calculs de

consommation énergétique, le calcul des charges de rafraîchissement et de chauffage, le confort d'été et l'évaluation de la qualité de l'air intérieur.



Les débits d'air sont calculés pour un bâtiment ou une zone du bâtiment. La manière la plus physique d'effectuer ce calcul est de considérer l'équilibre du débit massique d'air (air sec). Néanmoins, il est également possible de considérer l'équilibre du débit-volume lorsque cela est possible. La **Error! Reference source not found.** ci-dessus montre schématiquement les débits impliqués.

Le schéma général pour le calcul de la ventilation est le suivant :

1. Établir les formules donnant les différents débits d'air pour une pression interne de référence ;
2. Calculer la pression interne de référence qui équilibre les débits d'air entrant et sortant ;
3. Calculer les débits d'air pour cette pression interne de référence.

La disposition interne du bâtiment est, en générale, fondée sur les principes suivants :

- Diviser le bâtiment en différentes zones : Différentes zones sont considérées comme n'ayant pas de transfert de flux d'air ou un flux d'air négligeable.
- Décrire chaque zone comme des sous-zones reliées à une sous-zone commune (en général, il s'agira des zones de passage et des halls d'entrées) si nécessaire (une seule pièce peut constituer également une zone).

Le débit d'air dû à l'ouverture des fenêtres à simple exposition est calculé comme suit :

$$q_{v\text{-aération}} = 1800A_{OW}V^{0.5}$$

$$V = C_T + C_W \cdot V_{met}^2 + C_{st} \cdot H_{fenêtre} \text{abs}(T_i - T_e)$$

Où $q_{v\text{-aération}}$ est le débit d'air, A_{OW} est la surface d'ouverture de la fenêtre, $C_T = 0.01$ prend en compte la turbulence du vent, $C_W = 0.001$ prend en compte la vitesse du vent, $C_{st} = 0.0035$ prend en compte l'effet de tirage, $H_{fenêtre}$ est la hauteur de la surface libre de la fenêtre, V_{met} est la vitesse du vent météorologique à 10 m de hauteur, T_i est la température de l'air ambiant et T_e est la température de l'air neuf.

Pour une fenêtre oscillo-battante, le rapport du flux passant à travers une surface ouverte et la fenêtre totalement ouverte, est supposé ne dépendre que de l'angle d'ouverture α et donc être indépendant du rapport hauteur/largeur de la fenêtre :

$$A_{OW} = C_k(\alpha) \cdot A_W$$

Où A_W est la surface de la fenêtre complètement ouverte ; l'évolution de C_k en fonction de l'angle d'ouverture de la fenêtre est donnée par la figure suivant.

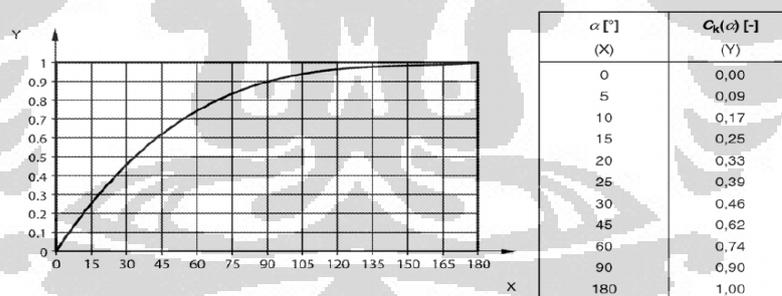


Figure. Rapport de débit à travers une fenêtre oscillante et une fenêtre totalement ouverte

10.8. Annexe 8 : Impact de l'épaisseur d'isolant

Les propriétés thermiques de l'enveloppe consistent de la conductivité (W/m.K), la chaleur spécifique (J/Kg.K) et la densité de matériel (kg/m³). Conductivité joue un rôle dans la quantité de transfert de chaleur par conduction. L'équation de transfert chaleur par conduction [30] est écrite sous la forme :

$$q''_{Ko} = \sum_{j=0}^{\infty} X_j \cdot T_{o,t-j\delta} - \sum_{j=0}^{\infty} Y_j \cdot T_{o,t-j\delta}$$

Après avoir dérivé l'équation on obtiendra des formules pour la surface intérieure:

$$q''_{Ki}(t) = -Z_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Z_j \cdot T_{i,t-j\delta} + Y_j T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nz} Y_j \cdot T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \phi_j \cdot q''_{ki,t-j\delta}$$

Extérieur :

$$q''_{Ko}(t) = -Y_o T_{i,t} - \sum_{j=1}^{nz} Y_j \cdot T_{i,t-j\delta} + X_o T_{o,t} + \sum_{j=1}^{nz} X_j \cdot T_{o,t-j\delta} + \sum_{j=1}^{nq} \phi_j \cdot q''_{ko,t-j\delta}$$

Ou

$$q'' = q/A$$

q''_{Ko} = Transfert chaleur par conduction a la surface exterieur (watt/m²)

q''_{Ki} = Transfert chaleur par conduction a la surface interieur (watt/m²)

Y_j = Cross CTF coefficient, j=0,1,2,...n

Z_j = Inside CTF coefficient, j=0,1,2,...n

X_j = Outside CTF coefficient, j=0,1,2,...n

ϕ_j = coefficient de Flux de CTF

T_i = Temperature de la surface interieur

T_o = Temperature de la surface exterieur

Gain thermique de chaque surface extérieure ou intérieure conduit à un équilibre thermique. Dans la figure 10, On voit comment le transfert chaleur se déplace de l'extérieur à l'intérieur.

Sur la surface extérieure la chaleur reçue, écrit sous l'équation :

$$q''_{asol} + q''_{LWR} + q''_{conv} - q''_{ko} = 0$$

Transfer de chaleur radiative:

$$q''_{LWR} = \varepsilon \cdot F_{sol} \sigma (T_{sol}^4 - T_{surf}^4) + \varepsilon \cdot F_{ciel} \cdot \sigma (T_{ciel}^4 - T_{surf}^4) + \varepsilon \cdot F_{air} \cdot \sigma (T_{air}^4 - T_{surf}^4)$$

$$q''_{Conv} = h_{c,ext} A (T_{surf} - T_{air})$$

Calcul de facteur de forme :

$$F_{sol} = 0,5 (1 - \cos \theta)$$

$$F_{ciel} = 0,5 (1 + \cos \theta)$$

Ou

$q''_{\alpha sol}$ = Flux total solaire absorbée (courte longueur d'onde) par rayonnement (W/m²)

q''_{LWR} = transfert de chaleur radiative de rayonnement thermique (Infra Rouge) (W/m²)

q''_{Conv} = Transfert chaleur par convection avec l'air extérieur.

q''_{ko} = Transfert chaleur par conduction dans le mur (W/m²)

ε = emittance de la surface en longueur d'onde []

σ = coefficient de Stefan-Boltzman

F_{sol} = Facteur de forme au sol

F_{ciel} = Facteur de forme au ciel

F_{air} = Facteur de forme a l'air

T_{sol} = Temperature du sol

T_{ciel} = Temperature du ciel

T_{air} = Temperature de l'air exterieur

T_{surf} = Temperature de la surface

θ = l'angle d'inclinaison de la surface

Q_C : Heat transfer

$h_{c,ext}$: Coefficient de transfert chaleur par convection

A : surface

T_{surf} : Temperature de la surface

T_{air} : Temperature de l'air exterieur

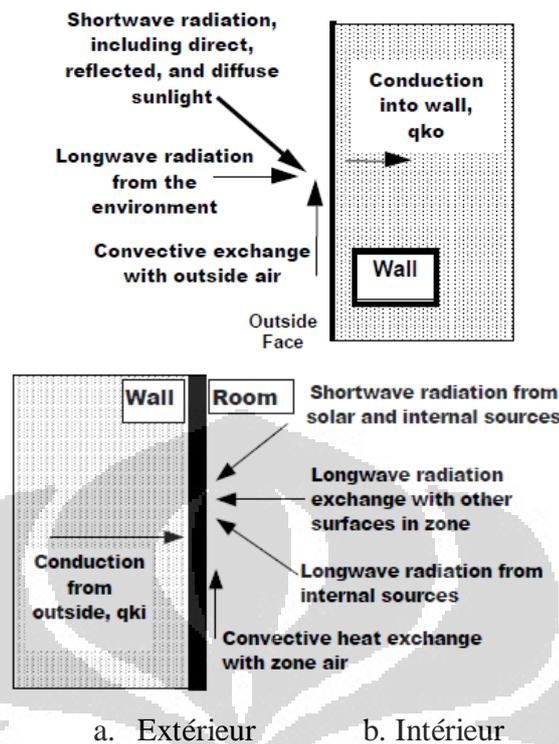


Figure. Diagramme du bilan thermique de la surface extérieur-intérieur

Sur la surface intérieure, un équilibre se produit dans les relations

$$q''_{LWX} + q''_{SW} + q''_{LWS} + q''_{ki} + q''_{sol} + q''_{conv} = 0$$

q''_{LWX} = Flux radiative de grand longueur d'onde entre surface

q''_{SW} = Flux radiative de court longueur d'onde

q''_{LWS} = Flux convective d'équipement dans la zone

q''_{ki} = Flux conductive travers la paroi

q''_{sol} = rayonnement solaire absorbé par la surface

q''_{conv} = flux de convection à l'air l'intérieur de la zone

La géométrie et l'épaisseur modifier le transfert de chaleur. Tandis que la chaleur spécifique (C_p) et de la densité régulent la quantité de chaleur stockée dans le matériau comme l'inertie thermique.

Sur les translucides, on est en plus intéressés à connaître leur caractéristique radiative qui interviendrait sur les apports thermique du rayonnement tels que sa réflectivité, son absorptivité et sa transmissivité

10.9. Annexe 9 : Eclairage naturel par les lanterneaux

Un Lanterneau a 1,4m de largeur, 1,4m de longueur et 0,2m d'hauteur de son costière. On prendra en compte le rayonnement (direct et diffus) qui le passe. L'efficacité de lanterneau a été calculée sur la comparaison entre rayonnement incidence par rapport de celle transmis.

L'efficacité de lanterneau monte sur équation

$$efficacite = e^{-WCR.(0,16368-0,144678 \times \rho)}$$

$$WCR = \frac{2,5 \times hauteur \text{ du costiere } \times Perimetre \text{ en partie bas}}{Superficie \text{ en partie bas de lanterneau}}$$

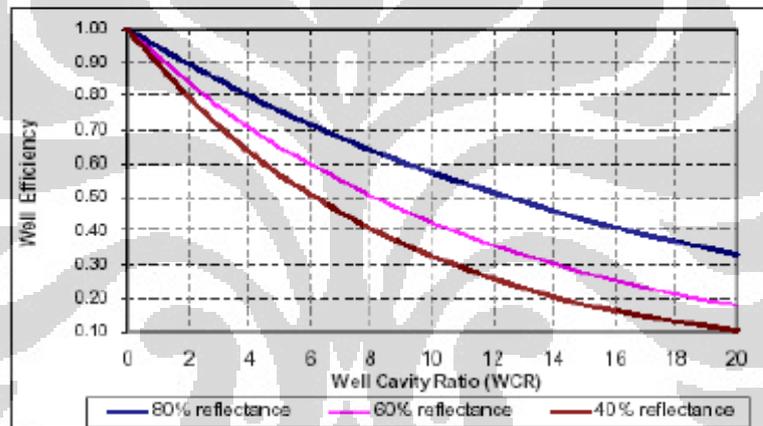


Figure. Graphique de l'efficacité de lanterneau

Facteur de saleté

Les vitrages sont généralement contaminés s'il prend en contact direct avec l'air extérieur. Le degré d'encrassement affecte l'efficacité de transmission. Tableau suivant explique le facteur de saleté du vitrage selon de lieu et l'angle d'installation :

Type de localisation	Angle de vitrage		
	Verticale	45 ⁰	Horizontale
Non-industrielles	0,9	0,8	0,7
Industrielles	0,7	0,6	0,5
très sale	0,6	0,5	0,4

Figure.21. Tableau facteur de la correction de saleté

De l'annexe A 'Daylighting In Sports Halls, Report2' SportScotland, Nov 2002

(www.sportsscotland.org.uk)

10.10. Annexe 10 : Impact de la ventilation naturelle

La différence de pression

La ventilation naturelle causée à partir de 2 aspects est l'effet dynamique du vent et l'effet du tirage thermique. Une certaine vitesse du vent génère la pression mécanique sur la surface, cela permet de circulation d'air entre l'extérieur et l'intérieur. En général on détermine le sol est un point référence. La pression diminuerait si la position d'un point élevé.

À son livre, Allard [31], explique la différence de pression d'un point est écrit sous la forme

$$dP_z = P_0 - \rho \cdot g \cdot [dZ]_0^z$$

$$P_z = P_0 - \rho \cdot g \cdot Z$$

P_z = La pression statique de point Z

P_0 = la pression de référence au niveau du sol

Z = l'hauteur d'un point Z par rapport du sol

Infiltration

En raison de l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur, l'air circule à travers les fenêtres, des portes et des orifices de parois par infiltration. Lin Jin-Taung [31] écrit la méthode d'estimation de l'infiltration causée par de différence de pression, différence de température et de l'effet du vent. Débit est écrit sous la forme [32] :

$$Q = (\text{Crack Factor}) \times C_T \times C_Q \times (\Delta P)^n$$

Ou;

Q : débit d'air (kg/s)

C_Q : coefficient de débit massique d'air (kg/s.Paⁿ)

C_T : Facteur de correction de la condition référence de température (sans dimensions)

ΔP : Différence de pression entre la zone (Pa)

n : exposant de débit d'air

Facteur de correction C_T Peut être écrit sous la forme

$$C_T = \left[\frac{\rho_0}{\rho} \right]^{n-1} \left[\frac{\vartheta_0}{\vartheta} \right]^{2n-1}$$

ρ : Densité de l'air (kg/m^3)

ϑ : viscosité cinématique d'air (m^2/s)

ρ_0 : Densité de l'air a la condition de référence (kg/m^3)

ϑ_0 : viscosité cinématique d'air a la condition de refende (m^2/s)

Les portes et fenêtres permettaient à l'air de se déplacer simultanément dans deux directions opposées, selon l'effet de tirage thermique et l'effet dynamique du vent. En haut de la fenêtre, l'air s'écoule vers l'intérieur et en bas l'air s'écoule à l'extérieur. Il peut arriver au contraire. Le débit circulé est une fonction de l'écart températures entre extérieur et intérieur.

Ventilation naturel par les ouvrants

L'équation à calculer le débit de ventilation dû au vent:

$$Q_w = C_w \cdot A_{\text{Opening}} F_{\text{Schedule}} V$$

Ou,

Q_w : Debit d'air de l'effet du vent (m^3/s)

C_w : Ouverture efficacité (sans dimension)

A_{Opening} : Surface maximale d'ouverture (m^2)

F_{Schedule} : Scenario de pourcentage de l'ouverture (faction : sans dimension)

V : la vitesse du vent (m/s)

L'équation pour calculer le taux de ventilation est due à l'effet du tirage thermique [33]:

$$Q_S = C_D \cdot A_{Opening} \cdot F_{Schedule} \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H_{NPL} \left(\frac{|T_{Zone} - T_{Ext}|}{T_{Zone}} \right)}$$

- Q_S : Débit d'air du de phénomène du tirage thermique (m^3/s)
 C_D : coefficient de décharge (sans dimension)
 T_{Zone} : Temperature de la zone (K)
 T_{Ext} : Temperature d'exterieur (K)
 ΔH_{NPL} : Hauteur du point médian de l'ouverture inférieure au niveau du sol (m)

La combinaison des deux phénomènes ci-dessus, on conclue le débit total à cause du l'effet du vent et de tirage thermique est :

$$Q_{Total} = \sqrt{Q_S^2 + Q_W^2}$$

Coefficient décharge peut être auto calculée par le programme, sous formule.

$$C_D = 0,40 + 0,0045 |T_{Zone} - T_{Ext}|$$

10.11. Annexe 11 : Apprentissage de EnergyPlus et de Google SketchUp

SIMULATION thermique d'un bâtiment grâce a l'aide EnergyPlus

En ce catalogue, nous allons discuter d'une simulation thermique d'un bâtiment grâce à l'aide du logiciel energyplus. EnergyPlus est un programme d'analyse énergétique et la simulation de transfert de chaleur. Avant de lancer la simulation, l'utilisateur doit construire un modèle du bâtiment complet avec toutes les conditions physiques qui décrivent l'état réel du bâtiment. Pour cela nous avons besoin de déterminer certains des éléments suivants:

- Les propriétés physiques (matériel, l'enveloppe, le climat, la dimension des bâtiments, etc)
- Systèmes de HVAC-Heating Ventilating Air Conditioning (type d'équipement utilisée pour Climatiser les bâtiments)
- Gain thermique (gains internes, éclairage, etc)

EnergyPlus va calculer:

- La Température chaque zone. EnergyPlus peut afficher la température moyenne de l'air, température opérative, température confort de chaque zone et la surface et aussi le grade de PPD / PMV

- Calcul du débit massique d'air qui se déplace à travers l'ouverture (fenêtre, porte ou en passant par la fente / matériau à pores)
- Energie reçue ou libérée par une surface, l'ouverture, formant une zone dans le cadre du bilan d'énergie inter-zone
- Besoins totaux d'énergie pour le chauffage, le refroidissement, l'éclairage et toute la ressource d'énergie utilisée (électricité, gaz)
- Impact de la pollution environnementale causée par source d'énergie (de l'homme, les appareils électriques, lumières)
- Il ya encore beaucoup de choses peuvent être calculés grâce à EnergyPlus

Procédure de simulation EnergyPlus

Afin de simplifier d'utilisation, de construire une géométrie du bâtiment, nous pouvons utiliser d'autres logiciels qui peuvent être lus par EnergyPlus. En fait, nous pouvons construire directement la géométrie à travers l'éditeur EnergyPlus, mais ce n'est pas pratique. Parce qu' EnergyPlus traduire la géométrie des bâtiments sur la base des coordonnées de position de la pointe d'une surface. Par exemple, une surface d'un mur de forme rectangulaire, alors nous devons entrer 4 points. Ce sera vraiment difficile si nous avons la surface en grandes quantités

Il existe plusieurs programmes qui doivent être élaborés pour soutenir la simulation EnergyPlus

- a. Goggle Sketchup
- b. EnergyPlus Launch
- c. Eso Viewer
- d. Cad Viewer
- e. Résult Viewer

Étapes à effectuer des simulations

1. Créer la géométrie grâce à Google Sketchup
2. Déterminer les propriétés physiques des bâtiments en utilisant EnergyPlus IDF-Editor

3. Prendre les données météorologiques
4. Afficher les Résultats (graphiques, histogrammes)

Les programmes qui doivent être installés

Certains programmes doivent être installés:

- Google Sketchup. Google Sketchup est un programme open source, qui peut être téléchargé gratuitement à partir de <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/> .
- Open Studio pour EnergyPlus, le programme peut être téléchargé gratuitement à <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/openstudio.cfm>
- Téléchargement de données météorologie au format EPW (Energy Plus Weather). Le programme peut être téléchargé à l'adresse: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm
- Result viewer energyplus <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/resultviewer.cfm>

Plugin pour EnergyPlus

Avant la modélisation, la chose importante d'être assurée, C'est que notre google sketchup est équipé d'un plugin pour EnergyPlus. Si non, le modèle que nous avons fait ne sera pas Enregistré au format idf. Energyplus ne lire que notre géométrie de format idf.

On peut facilement installer des plugins pour l'EnergyPlus, en suivant la procédure ci-dessous :

- Assurer que au moins on a Google SketchUp de version 7.0 ou plus, ont été installés sur l'ordinateur.
- Télécharger le Plug-in OpenStudio 1.0.6 et EnergyPlus 6.0.
- Installer EnergyPlus 6.0.
- Installer le plug-in OpenStudio 1.0.6. L'installation sera placée au Google SketcUp plug-in répertoire.

- Lancement de Google SketchUp. On est prêts à modéliser. Nous devons voir *OpenStudio Plug-in Toolbar*. Si ce n'est pas visible, on peut l'ouvrir par:
> View/Toolbars/Submenu.
- Pour la documentation, des tutoriels, voir : OpenStudio-Plug-ins Help within SketchUp. Cliquer sur le point d'interrogation vert "?" ou choisissez '*Help> Plug-ins Open Studio Users Guide*' dans le menu. fichiers '*Help*' apparaîtra sur navigateur. fichiers '*Help*' peuvent également être trouvés au '*Google SketchUp plug-in répertoire*' sous *Open Studio/doc/help*.

Les choses qui peuvent être fait par Open Studio Plug-ins:

- Créer et modifier des surfaces et des zones dans EnergyPlus
- Effectuer la simulation sur EnergyPlus et voir les résultats sans fermer SketchUp
- Aligement des conditions aux limites entre les surfaces de zone
- Recherche des objets de *surface* et *su surface* par nom
- Ajouter gain interne et un simple calcul de la charge de l'air extérieur
- Ajouter un HVAC (Heating Ventilating Air Conditioning) Idéal pour calcul de la charge
- Définir et modifier la construction par défaut
- Ajouter de contrôle de l'éclairage naturel et la carte d'illuminance

Plug-ins rends facile le travail avec EnergyPlus. Cependant, l'expertise en EnergyPlus à un certain niveau sont vivement suggère à effectuer une simulation précise. Open Studio Plugins n'ont pas été en mesure de surmonter les points critiques. Certains d'édition de fichiers seront généralement requis à l'extérieur de SketchUp. On peut utiliser un 'Text Editor', 'third-party interface/tools', ou d'autres programmes (par exemple, idf-Editor) pour modifier les fichiers d'entrée EnergyPlus

Pour 'Technical support', il sera disponible sur openstudio@nrel.gov.

Créer la géométrie

a. Activation de la zone

Pour être lu par EnergyPlus, le modèle doit être stocké dans le format FDI. Format IDF sera constituée que si nous activons la zone avant de commencer à dessiner les bâtiments. Pour ce faire, nous pouvons aller dans le menu: *Plugins / Open Studio / new tool zone*.

Si nous n'avons pas d'activer la zone (fabrication de la géométrie à l'extérieur de la zone), alors le résultat ne sera pas lisible par EnergyPlus

En principe, concept de la zone est contrairement à géométrie. Volume de zone que nous faisons est le volume d'air strictement, ne comprend pas le mur/parois. Au contraire que dans CAD, la taille de la paroi va participer au compte de la taille de bâtiment

Normalement, si nous adoptons le dessin d'autres logiciels (par exemple, Autocad), alors nous trouverons des différences de taille. Cela est dû, l'épaisseur de la paroi pris en considération lors de SketchUp Google plugin qui ignorés

Ci-dessous, le plug-in sketchup pour EnergyPlus :

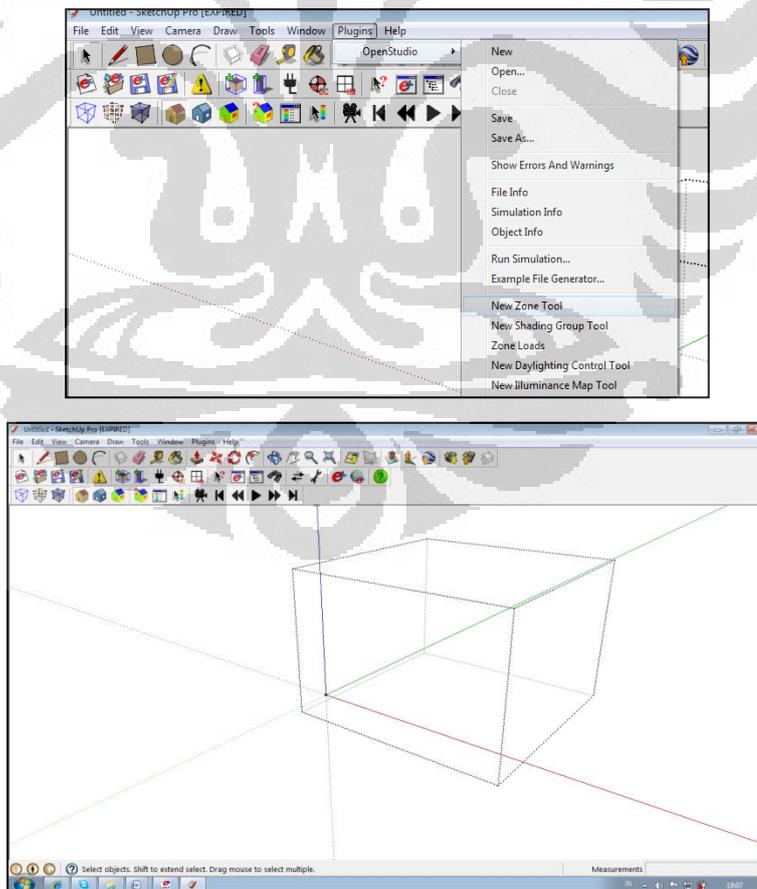


Figure. Une zone active

b. Modèles des bâtiments

Après s'être assuré que notre zone est active, alors que nous pouvons créer un bâtiment en conformité avec ce que nous avons modélisé. Ici, nous ne beaucoup parlerons pas sur la manière de dessiner à l'aide de SketchUp. Pour apprendre plus, les techniques détaillées de SketchUp, peut-on apprendre par "Open Studio Guide". Pour le tutoriel, on peut consulter:

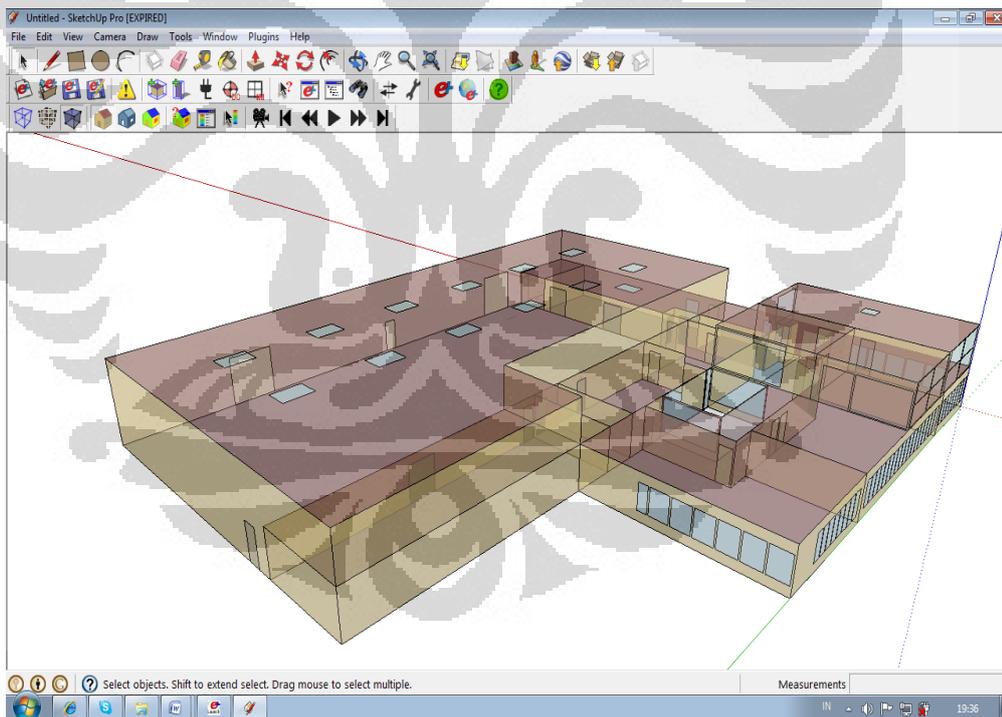
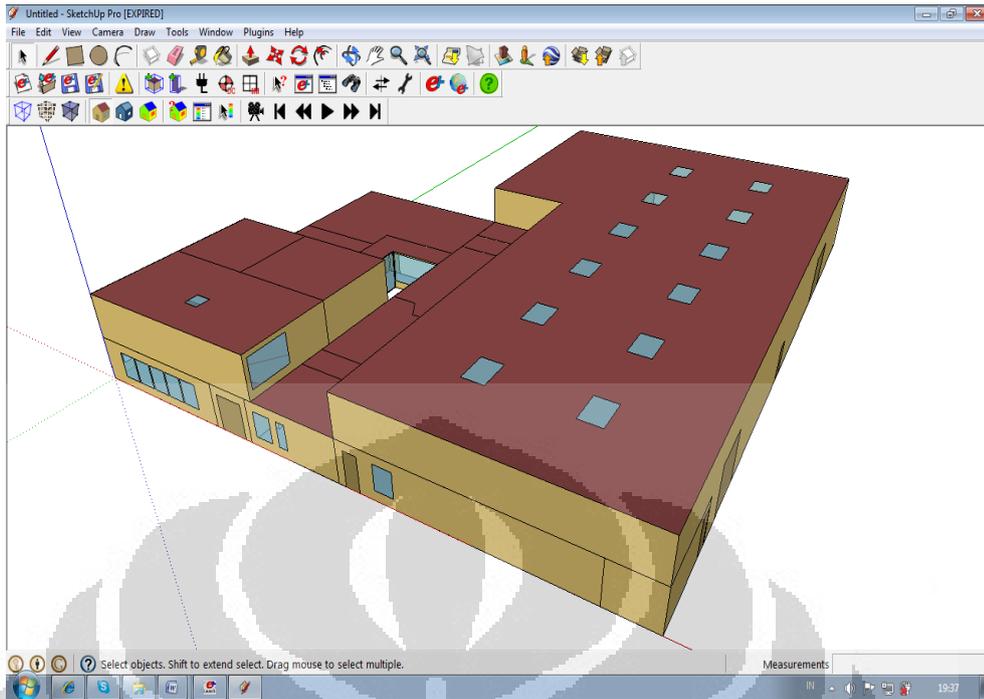
- <http://www.brothersoft.com/downloads/google-sketchup-tutorial.html>
- <http://www.guggenheim.org/new-york/interact/participate/design-it-shelter/sketchup-tutorial>
- <http://www.sketchup2india.com/tutorial/>

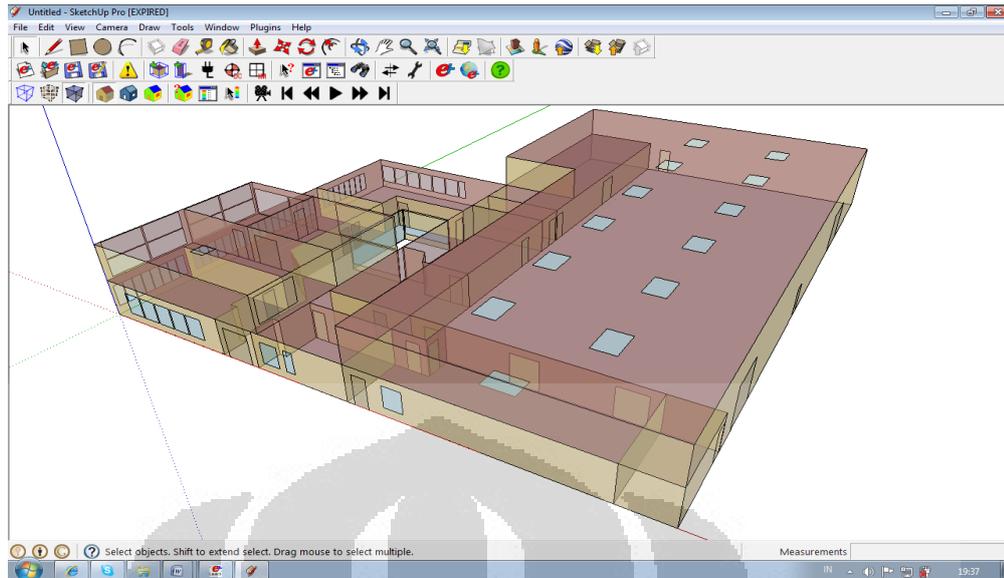
c. Nos modèles de construction

On construit un bâtiment de grand volume qui a 14 zones thermiques. Certaines pièces qui ont les mêmes caractéristiques de température, on les classe dans une zone.

Les zones sont créées sont:

- | | |
|----------------|--------------------|
| 1. Secrétariat | 8. Vestiaire Femme |
| 2. Directeur | 9. Vestiaire homme |
| 3. Métreur | 10. Onduleur |
| 4. Magasin | 11. Archives |
| 5. Local Vélo | 12. Circulation |
| 6. Poubelle | 13. Réunion |
| 7. Dépôt | 14. cuisine |





Images dans "X-Ray face View"

10.12. Annexe 12 : Les paramètres de simulation 2 (bâtiment existant à

1. Scenarrio de chauffage

Période		Remarque
01 Janvier	31 Mai	chauffe
01 Juin	30 septembre	Non Chauffe
1 Octobre	31 Décembre	Chauffe

2. Scenarrio de température – En période de chauffage

Zone	Nom	Températures (° C)		
		00.00-08.00	08.00-18.00	18.00-24.00
Zone 1	Secrétariat	17	20	17
Zone 2	Directeur	17	20	17
Zone 3	Métreur	17	20	17
Zone 4	Magasinier	17	20	17
Zone 5	Vélo	17	20	17
Zone 6	Poubelle	12	12	12
Zone 7	Dépôt	12	12	12
Zone 8	Vestiaire Femme	17	20	17

Zone 9	Vestiaire Homme	17	20	17
Zone 10	Onduleur	Non contrôlée		
Zone 11	Archives	12	12	12
Zone 12	Circulation	17	20	17
Zone 13	Réunion	17	20	17
Zone 14	Cuisine	17	20	17

3. Eclairage naturel

Bien que ce bâtiment ait beaucoup des fenêtres, on suppose que seul des lanterneaux situé au-dessus du toit de dépôt et réunion, et l'autre ne sont pas pris en compte aux niveaux d'éclairage naturel

Zone	Illuminance Minimum
Dépôt	500 Lux
Réunion	500 Lux

10.13. Annexe 13 : la composition de température, énergie de chauffage, éclairage de chaque zone

	Surface (m ²)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmoy (°C)	Taux d'inconfort (%)	E-chauffage (kWh/m ² .an)	E-eclairage (kWh/m ² .an)
Sec	49,52	37,73	16,00	21,02	53,84	137,39	21,54
Dir	86,04	36,13	16,73	21,07	47,33	110,84	22,30
Métreur	87,76	39,76	16,45	21,29	50,12	119,14	23,17
Magasin	24,00	39,02	16,76	21,78	70,35	130,87	23,98
Vélo	80,62	36,32	15,88	21,74	70,47	117,82	25,65
Dépôt	641,64	32,10	11,95	18,93	49,65	21,01	30,50
V. Femme	36,62	33,56	16,81	21,27	47,09	113,05	26,00
V. Homme	53,28	35,79	16,84	20,98	43,49	139,63	26,00
Onduleur	12,82	49,72	10,51	27,31	87,44	0,00	26,00

Archives	107,30	34,71	12,05	19,22	60,47	18,21	26,00
Poubelle	16,47	32,17	12,26	20,14	46,28	0,00	26,00
Circulation	89,85	36,51	16,51	20,78	29,88	162,97	34,80
Réunion	78,62	44,75	15,45	22,51	59,77	35,70	22,83
Cuisine	32,89	40,00	12,80	20,33	19,53	112,03	21,13
TOTAL	1397,43					62,67	27,72

