

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE SALAH BOUBNIDER CONSTANTINE 03
FACULTE D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME



Département d'architecture

N°d'ordre:.....

Série:.....

MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Magistère

Option : Architecture Bioclimatique et environnement (ABE).

THEME

**L'influence de l'atrium ventilé des centres
commerciaux sur le comportement thermo-aéraulique ,
«cas de la ville nouvelle Ali Mendjli à Constantine».**

Présenté par : Mlle **FEKKOUS Khaoula**

Sous la direction de : **Pr. BOUCHAHM Yassmina**

Jury d'examen :

Président : Professeur. **DEBACHE Samira** Université de Constantine 3.

Rapporteur : Professeur. **BOUCHAHM Yasmina** Université de Constantine 3.

Examineur : Professeur. **BOURBIA Fatiha** Université de Constantine 3.

Examinatrice : MCA. **BENHASSINE TOUAM Nassira** Université de Constantine 3.

Soutenu le: 02 /11/2017

Année universitaire :2016/2017.

Dédicace

Avec ma profonde affection, Je dédie ce modeste travail :

A ceux qui m'ont soutenu, m'ont encouragé durant toute ma vie. A ceux qui ont toujours voulu que je sois la meilleure : A mon père et à ma mère : Symboles du sacrifice, de l'amour, de l'encouragement, et de la tendresse,... je voudrais vous exprimer toute mon affection, et Admiration.

*A mon cher frère **Ahmed** et mes chères sœurs **Nadia** et **Siham**, pour leurs contributions, leurs soutiens, et leurs encouragements tout le long de ce travail.*

A la mémoire de mes chers grands-parents paternels et maternels.

*A mes chères cousines et chers cousins. A mes chères tantes, mes chers oncles en particulier **Salah** et toute ma famille, mes amies et tous ceux qui me sont chers, et que j'ai omis de citer involontairement.*

Enfin à la ville de Constantine, la chaleureuse, la conviviale, et l'enchanteresse, où on ne se sent jamais étrangers.

Remerciements

Je remercie **Dieu** le tout- puissant, qui gère éternellement le monde, de m'avoir accordé de la *Patience*, et de la *volonté* pour pouvoir achever ce modeste travail.

J'aimerais présenter ici mes sincères remerciements à ma directrice du mémoire, au professeur. **BOUCHAHM Yasmina** pour la confiance qu'elle m'a accordée en acceptant d'encadrer cette recherche, pour sa disponibilité, et ses multiples conseils pour toutes les heures qu'elle a consacré à diriger ce travail.

Mes chaleureux remerciements vont également pour tous mes enseignants de la post graduation "Architecture Bioclimatique et Environnement" de la promotion 2014/2016. Dont j'ai eu le privilège d'apprendre, et de satisfaire mon désir de recherche ainsi que tous les membres de labo **ABE** au sein de l'université Salah **BOUBNIDER** CONSTANTINE 03, en particulier madame la directrice le Professeur. **BOURBIA Fatiha**.

J'associe à ces remerciements les membres de jury pour avoir accepté d'examiner mon travail.

De même, je suis particulièrement reconnaissant à tous ceux sans qui cette recherche ne serait pas ce qu'elle est : aussi bien par les discussions que j'ai eu la chance d'avoir avec eux, leurs suggestions ou contributions. Je pense ici en particulier à madame **RAHAL Samira** (département de GTU université de Constantine 03), (merci beaucoup pour ton aide), à Madame **BECHOVA Salifa** (sa disponibilité, son aide et son soutien.).

Je tiens tout particulièrement à exprimer mes remerciements aux personnels de centre commercial "Sans Visa" en particulier Mr **GUESSOUM Fares** et **GUESSOUM Ghoulem**, pour leurs accueil et aides précieuses, facilitant ainsi le déroulement de la campagne de mesure et pour leurs encouragements, et leurs disponibilités incessantes.

Je remercie chaleureusement mes collègues de la PG "ABE" 2014-2016 sans exception.

Je remercie tous mes collègues du service technique "APC Batna" en particulier Mr. **BERGHOUTI Abdelkrim** , **FAIZA Rachid** , **KADRJ Mohamed** et **HAOUES Yacine** pour leurs encouragements au long de mon parcours de recherche.

Merci à tous, et à toutes.

Résumé

Actuellement en Algérie, plusieurs bâtiments prestigieux ont intégré un atrium qui a un impact important sur l'esthétique de l'immeuble, afin d'assurer la performance énergétique et thermique, nos concepteurs ont eu recours à la mise en place d'un toit mobile pour la couverture de l'atrium pour promouvoir la ventilation naturelle.

Le centre commercial "Sans Visa" qui comporte un atrium avec une couverture transparente et mobile a été choisi comme cas d'étude, soumis aux conditions d'un climat semi-aride comme celui de Constantine. Dans ce contexte, une campagne de mesure est faite afin d'évaluer le confort thermique et l'efficacité du toit mobile par l'introduction d'une ventilation naturelle.

Les mesures in situ ont été réalisées au printemps et en été avec et sans ouverture du toit. Les résultats ont démontré un gain solaire assez considérable durant la période printanière. La période estivale est devenue très dure avec une large surchauffe durant le jour dont l'effet de serre était largement prononcé et pendant cette période la climatisation artificielle était indispensable pour la satisfaction et le confort des clients.

Des scénarios d'ouverture du toit à certaines heures de la journée ont montré des améliorations considérables par une ventilation naturelle par le biais du tirage thermique.

Cependant, le recours à la simulation numérique à l'aide du logiciel TAS est devenu nécessaire afin de mieux contrôler l'ouverture et la fermeture du toit pour exploiter toutes les potentialités de la ventilation naturelle et transversale. Les résultats ont permis de tracer les lignes directrices pour les concepteurs et les architectes afin d'assurer le bien-être des usagers et des projets futurs avec atrium qui respecteront l'environnement par leurs réductions des consommations abusives des énergies non renouvelables et polluantes dans ces régions à climat semi aride.

Mots-clés :

Atrium, Toit mobile, Comportement thermo-aéraulique, Stratification thermique, Ventilation naturelle, Simulation numérique.

Abstract

Currently in Algeria, several prestigious buildings have integrated an atrium that has a significant impact on the aesthetics of the building. To ensure energy and thermal performance, our designers set up a mobile roof on the coverage of the atrium to promote natural ventilation.

The shopping center "Sans Visa", which includes an atrium with a transparent and mobile cover, was chosen as a case study, subject to the conditions of a semi-arid climate such as in Constantine. In this context, a measurement campaign is carried out to evaluate the thermal comfort and efficiency of the mobile roof by introducing natural ventilation.

In situ measurements were made in spring and summer with and without opening the roof. The results showed a considerable solar gain during the spring period. The summer period became very hard with a large overheating during the day, the greenhouse effect was largely pronounced and during this period, artificial air conditioning was essential for the customers' satisfaction and comfort. Roof opening scenarios at certain times of the day have shown considerable improvements through natural and transversal ventilation.

However, the use of numerical simulation with TAS software has become necessary in order to better control the opening and closing of the roof to exploit the full potential of natural and cross ventilation. The results allowed to draw the guidelines for the designers and the architects in order to ensure the well-being of the users and the future projects with atrium which will respect the environment by their reduction of the abusive consumptions of the non-renewable and polluting energies in these semi-arid regions.

Keywords :

Atrium, Moving roof, Thermo-aeraulic behavior, Thermal stratification, Natural ventilation, Numerical simulation.

ملخص

حاليا في الجزائر، العديد من المباني الراقية أدمجت الأتريوم ذو التأثير الهام على جماليات المبنى، وذلك من أجل ضمان النجاعة الطاقوية والحرارية، في حين قد استخدم مصممونا لتغطية الأتريوم سقفا متحركا لتعزيز التهوية الطبيعية. تم اختيار المركز التجاري " Sans Visa " كحالة للدراسة، الذي يضم أتريوما ذو سقف شفاف ومتحرك، خاضع لشروط مناخ شبه جاف كمناخ مدينة قسنطينة . في نفس السياق، تم إجراء جملة قياسات لتقييم الراحة الحرارية و نجاعة السقف المتحرك من خلال إدخال التهوية الطبيعية.

أجريت القياسات في الموقع خلال الربيع والصيف بفتح السقف واغلاقه . وأظهرت النتائج مكاسب شمسية معتبرة خلال فترة الربيع . اما فترة الصيف فاصبحت صعبة جدا بسبب ارتفاع درجة الحرارة خلال النهار، اذ ان تأثير الدفينة اصبح واضحا خلال هذه الفترة، و تكييف الهواء اصطناعيا اصبح ضروريا من اجل رضى ورفاهية الزبائن. وقد أظهرت سيناريوهات فتح السقف في أوقات معينة من اليوم تحسينات معتبرة من خلال التهوية الطبيعية عن طريق ظاهرة السحب الحراري.

مع ذلك أصبح استخدام المحاكاة الرقمية باستعمال برنامج TAS ضروريا للتحكم بشكل أفضل في فتح وغلق السقف لاستغلال كامل لإمكانات التهوية الطبيعية والعرضية. النتائج ساهمت في تأسيس مبادئ توجيهية للمصممين والمهندسين المعماريين من اجل التحكم في رفاهية المستخدمين والمشاريع المستقبلية التي تحوي أتريوم التي من شأنها احترام البيئة بخفض الاستهلاك المفرط للطاقة غير المتجددة والطاقة الملوثة في المناطق ذات المناخ شبه الجاف.

الكلمات المفتاحية :

الأتريوم ، سقف متحرك ، سلوك حراري -هوائي ، الطبقة الحرارية ، التهوية الطبيعية ، المحاكاة الرقمية .

TABLE DES MATIERES

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------|
| DEDICACE | I |
| REMERCIEMENT | II |
| RESUME | III |
| ABSTRACT | IV |
| ملخص | V |
| TABLE DES MATIERES | VI |
| TABLE DES FIGURES | XII |
| LISTE DES TABLEAUX | XVII |
| LISTE DES EQUATIONS | XVIII |
| LISTE DES SIGNES ET ABREVIATIONS | XIX |
| INTRODUCTION GENERALE | |
| Introduction | 1 |
| Problématique..... | 3 |
| Hypothèses..... | 4 |
| Objectifs..... | 4 |
| Structure du mémoire | 5 |
| | |
| CHAPITRE I: Aperçu sur les atriums | |
| Introduction..... | 8 |
| I.1.Aperçu historique de l'émergence d'espace atrium..... | 8 |
| I.1.1.Atrium traditionnel (atrium classique)..... | 8 |
| I.1.2.Emergence des grands volumes vitres Pendant le XIXe siècle..... | 9 |
| I.1.3.Emergence de l'atrium moderne..... | 11 |
| I.2.Objectif d'un atrium dans un bâtiment..... | 13 |
| I.2.1.Dimension spatiale et esthétique | 13 |
| I.2.2.Dimension énergétique..... | 15 |
| I.2.2.1.Espace tampon..... | 16 |
| I.2.2.2.Moyen de climatisation passive..... | 16 |
| I.2.2.3.Puit de lumière naturelle..... | 16 |
| I.2.2.4.Atrium et l'acoustique..... | 17 |
| I.2.3.Dimension patrimoniale (Extensions, rénovations et conservation)..... | 18 |
| I.3.Ambiances dans l'atrium..... | 19 |
| I.3.1.Ambiances thermiques..... | 19 |
| I.3.2.Ambiances aérauliques..... | 20 |
| I.3.3.Ambiances lumineuses..... | 20 |
| I.3.4.Ambiances sonores..... | 20 |
| I.3.5.Le vécu..... | 20 |
| I.4.Conception d'atrium..... | 20 |
| I.4.1.Atrium de réchauffement..... | 21 |
| I.4.2.Atrium de refroidissement | 21 |
| I.4.3.Atrium convertible..... | 21 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| I.5.Classification des atriums..... | 21 |
| I.5.1.Selon la configuration d'atrium (le type d'atrium) | 21 |
| I.5.1.1.Formes simples..... | 22 |
| I.5.1.1.1.Atrium un seul coté où véranda..... | 22 |
| I.5.1.1.2.Atrium de deux côtés..... | 22 |
| I.5.1.1.3. Atrium de trois cotés..... | 22 |
| I.5.1.1.4. Atrium de quatre côtés..... | 23 |
| I.5.1.1.5. Atrium linéaire (extrémités ouvertes) | 23 |
| I.5.1.2.Formes complexes..... | 23 |
| I.5.1.2.1.Atrium de transition(entre plusieurs bâtiments) | 23 |
| I.5.1.2.2.Atrium podium à la base de la tour..... | 24 |
| I.5.1.2.3.Plusieurs atriums latéraux (toute forme) | 24 |
| I.5.1.2.4.Plusieurs atriums verticaux..... | 24 |
| I.5.2.Selon la configuration de la lucarne (type de lucarne) | 26 |
| I.5.2.1.Puit de lumière avec une seule pente..... | 26 |
| I.5.2.2.Puit de lumière de deux pentes..... | 27 |
| I.5.2.3.Puit de lumière sous forme d'un berceau..... | 27 |
| I.5.2.4.Puit de lumière sous forme d'un Dôme avec des rayons segmentés..... | 27 |
| I.5.2.5.Puit de lumière avec un baril voûtes et dômes Segmenté..... | 28 |
| I.5.2.6.Puit de lumière sous forme d'une pyramide..... | 28 |
| I.5.2.7.Puit de lumière sous forme de polygones avec des rayons segmentés..... | 29 |
| I.5.3.Selon la manière d'ouverture ou mobilité du toit..... | 30 |
| I.5.3.1.Lucarne (Toit d'atrium) qui s'ouvre manuellement..... | 30 |
| I.5.3.2.Lucarne télécommandée (Lucarne rétractable électriquement) | 30 |
| I.5.3.3.Skylight pliable..... | 33 |
| I.5.4. Selon le matériau de la couverture..... | 33 |
| I.5.4.1.Couverture en verre..... | 33 |
| I.5.4.2.Couverture en ETFE..... | 35 |
| I.5.4.2.1.Avantages..... | 35 |
| I.5.4.2.2.Principes..... | 35 |
| I.5.4.2.3.Coté acoustique..... | 36 |
| I.5.4.2.4.Coté lumineux..... | 36 |
| I.5.4.3.Vitrage LCP..... | 37 |
| I.5.4.4.polycarbonate..... | 39 |
| I.5.4.4.1. Avantages du matériau..... | 39 |
| Conclusion..... | 42 |

CHAPITRE II: Comportement thermo-aéraulique des atriums

II.1.Comportement thermique des atriums

| | |
|------------------------------|----|
| Introduction | 44 |
| II.1.Notions de base..... | 44 |
| II.1.1.Zones thermiques..... | 44 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| II.1.2.Gradient thermique | 44 |
| II.1.3.Supplément de température solaire, STs. | 45 |
| II.1.4.Stratification thermique..... | 45 |
| II.2.Différents modes de transfert de chaleur dans un atrium..... | 47 |
| II.2.1.Echanges radiatifs. | 47 |
| II.2.2.Echanges convectifs.. | 47 |
| II.2.3.Conduction de la chaleur à travers les parois. | 48 |
| II.2.4.Transfert de chaleur conjugué(la masse thermique)..... | 48 |
| II.3.Phénomènes caractérisant un atrium..... | 49 |
| II.3.1.Chauffage passif (Gain solaire en hiver). | 50 |
| II.3.2.Effet de serre (surchauffe en été). | 51 |
| II.3.2.1.Stratification thermique..... | 51 |
| II.3.2.1.1.Différents types de stratification thermique..... | 52 |
| Conclusion..... | 55 |

II.2.Comportement aéraulique des atriums

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction | 56 |
| II.4.Techniques de refroidissement passif dans les atriums..... | 56 |
| II.4.1.Ventilation naturelle par tirage thermique (Effet de cheminée) | 57 |
| II.4.1.1.Rôle de la ventilation naturelle. | 57 |
| II.4.1.2.Principe du tirage thermique. | 58 |
| II.4.1.3.Système de purge dans un atrium..... | 64 |
| II.4.2.Atrium Ombragé..... | 67 |
| II.4.3.Ventilation nocturne..... | 67 |
| II.4.3.1.Masse thermique. | 68 |
| II.4.3.2.Refroidissement radiatif. | 68 |
| II.4.3.3.Refroidissement par convection. | 68 |
| II.4.4.Refroidissement par évaporation..... | 69 |
| II.4.5.Présence des plantes dans un atrium..... | 69 |
| II.4.6.Ventilation induite par le vent..... | 70 |
| II.5.Différents modèles de la ventilation dans les atriums..... | 71 |
| II.6.Recommandations selon les guides BIO-TECH..... | 73 |
| Conclusion..... | 77 |

CHAPITRE III :Facteurs agissant sur l'ambiance thermo-aéraulique dans les atriums

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduction..... | 78 |
| III.1.Facteurs agissants sur l'ambiance thermo-aéraulique dans les atriums..... | 78 |
| III.1.1.Facteurs climatiques..... | 78 |
| III.1.1.1.Effet de l'emplacement géographique..... | 78 |
| III.1.1.2.Type du climat..... | 79 |
| III.1.1.3.Radiation solaire..... | 80 |
| III.1.1.4.Vent..... | 80 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| III.1.1.5.Température..... | 80 |
| III.1.2.Facteurs conceptuels..... | 81 |
| III.1.2.1.Orientation..... | 81 |
| III.1.2.2.Géométrie de l'atrium..... | 82 |
| III.1.2.2.1.Effet du type de l'atrium sur distribution de température et vitesse d'air..... | 82 |
| III.1.2.2.2.Effet d'intégration d'une cheminée solaire..... | 84 |
| III.1.2.2.3.Effet de la largeur /hauteur de l'atrium | 84 |
| III.1.2.3.Choix des matériaux adéquats..... | 85 |
| III.1.2.4.Couverture du toit d'atrium..... | 86 |
| III.1.2.4.1.Forme de la lucarne (skylight) | 86 |
| III.1.2.4.2.Matériau utilisé..... | 87 |
| III.1.2.4.2.1.Vitrage LCP..... | 87 |
| III.1.2.4.2.2.Couverture en ETFE | 89 |
| III.1.2.4.2.3.Polycarbonate..... | 90 |
| III.1.2.4.3.Surface du vitrage..... | 91 |
| III.1.2.4.4.Protections solaire pour lutter contre la surchauffe..... | 92 |
| III.1.2.4.5.Présence d'ouvertures..... | 99 |
| Conclusion..... | 101 |

CHAPITRE IV: Investigation

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Introduction..... | 103 |
| IV.1.Situation géographique de la ville de Constantine..... | 103 |
| IV.1.1.Contexte climatique..... | 104 |
| IV.2.Présentation du cas d'étude..... | 105 |
| IV.3.Objectif de la campagne de mesures (investigation) | 107 |
| IV.4.Périodes de l'investigation..... | 107 |
| IV.4.1.Période printanière..... | 107 |
| IV.4.2.Période estivale..... | 107 |
| IV.5.Scénarios..... | 108 |
| IV.6.Facteurs climatiques mesurés..... | 109 |
| IV.7.Description de l'appareil de mesure..... | 109 |
| IV.8.Points de mesure..... | 110 |
| IV.9. Interprétation des résultats de l'investigation | 112 |
| IV.9.1.Période printanière..... | 112 |
| IV.9.1.1.Ciel nuageux..... | 112 |
| IV.9.1.2.Ciel découvert..... | 116 |
| IV.9.1.3.Comparaison entre la journée nuageuse et ensoleillée..... | 120 |
| IV.9.1.4. Synthèse de l'investigation printanière..... | 120 |
| IV.9.2. Période estivale..... | 121 |
| IV.9.2.1.Journée avec un toit fermé (Le cas de la journée 18 juillet 2016) | 121 |
| IV.9.2.1.1.Stratification thermique..... | 126 |
| IV.9.2.2.Journée avec un toit ouvert à 100% à16:00 heures (Le cas de la journée 19 juillet 2016).. | 127 |
| | 127 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| IV.9.2.2.1.Stratification thermique..... | 131 |
| IV.9.2.3.Journée avec un toit ouvert à 75% à 90:00 heures (Le cas de la journée 20 juillet 2016)... | 131 |
| IV.9.2.3.1.Stratification thermique..... | 134 |
| IV.9.2.4. Synthèse de l’investigation estivale..... | 136 |
| Conclusion | 136 |

CHAPITRE V: Simulation numérique

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Introduction..... | 138 |
| V.1.Motivation du choix du logiciel..... | 138 |
| V.2.Etapes de la simulation..... | 139 |
| V.3.Procedure utilisée pour la simulation..... | 140 |
| V.3.1.Calendrier..... | 140 |
| V.3.2.Données climatiques " Le fichier météo" | 141 |
| V.3.3.Différents éléments de la construction..... | 141 |
| V.3.4.Conditions intérieures..... | 144 |
| V.3.5.Scénarios..... | 144 |
| V.3.6.Type d'ouvertures (aperture) | 145 |
| V.4.Déroulement de la simulation..... | 146 |
| V.5.Résultats et analyse..... | 146 |
| V.5.1.Comparaison entre des résultats de simulations à ceux des mesures..... | 146 |
| V.5.2.Résultats obtenus de simulation de la période printanière..... | 147 |
| V.5.2.1.Résultats de la journée de 07mars 2016..... | 147 |
| V.5.2.2. Résultats de la journée de 26 mars 2016..... | 148 |
| V.5.3.Résultats obtenus de simulation de la période estivale..... | 150 |
| V.5.4.Impact de la ventilation naturelle sur l'ambiance intérieure..... | 151 |
| V.5.4.1.Effet du tirage thermique..... | 151 |
| V.5.4.1.1.Ouverture du toit de 07-11 h et de 16-19 h..... | 151 |
| V.5.4.1.2.Ouverture du toit de 07-19 h..... | 152 |
| V.5.4.1.3.Comparaison entre les deux types d'ouverture..... | 153 |
| V.5.4.2.Effet de la ventilation transversale et le tirage thermique sur l'ambiance intérieure..... | 155 |
| V.5.4.2.1.Stratification thermique..... | 158 |
| V.5.4.3.Effet du couplage (V T+T thermique) sur les coursives et les espaces adjacents..... | 160 |
| V.6.Simulation des ambiances thermo-aéraulique internes..... | 161 |
| V.6.1.Température de l'air..... | 164 |
| V.6.2.Humidité relative en (%)..... | 166 |
| V.6.3.Vitesse de l'air..... | 166 |
| V.6.4.PPD..... | 169 |
| Conclusion..... | 169 |
| CONCLUSION GENERALE..... | 171 |
| Recommandations..... | 175 |
| Futures recherches | 177 |

| | |
|----------------------------|-----|
| BIBLIOGRAPHIE | 178 |
|----------------------------|-----|

ANNEXES

| | |
|---------------|-----|
| Annexe A..... | 190 |
| Annexe B..... | 193 |
| Annexe C..... | 195 |
| Annexe D..... | 198 |

TABLE DES FIGURES

CHAPITRE I

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure I.1. Atrium Romain..... | 9 |
| Figure I.2. Reform-Club à Londres. | 9 |
| Figure I.3. Crystal Palace..... | 10 |
| Figure I.4. Marché Bon marché. | 10 |
| Figure I.5. Bâtiment Pension Washington DC..... | 11 |
| Figure I.6. A gauche :plan hôtel Hyatt, a droite : coupe hôtel Hyatt | 12 |
| Figure I.7. Siège de la Fondation Ford..... | 13 |
| Figure I.8. Esthétique de l'atrium. | 14 |
| Figure I.9. Musée Guggenheim..... | 14 |
| Figure I.10. QG DZ Bank..... | 15 |
| Figure I.11. Atrium est un puits de lumière naturelle. | 17 |
| Figure I.12. Exemple d'absorbeurs acoustiques intégrés sur les parois d'un atrium..... | 18 |
| Figure I.13. Musée Britannique..... | 19 |
| Figure I.14. Irwin Union Bank and Trust Company..... | 22 |
| Figure I.15. Ford foundation, new York .Roche history library..... | 22 |
| Figure I.16. CD Howe building Ottawa..... | 22 |
| Figure I.17. IMF headquarters Washington DC..... | 23 |
| Figure I.18. Hennepin county courthouse..... | 23 |
| Figure I.19. Eaton center toronto atrium..... | 23 |
| Figure I.20. Westin peachtree plaza hotel..... | 24 |
| Figure I.21. Intelsat headquarters..... | 24 |
| Figure I.22. 33 west monroe chicago atrium..... | 24 |
| Figure I.23. Typologie des atriums..... | 25 |
| Figure I.24. Puit de lumière avec seule pente..... | 26 |
| Figure I.25. Puit de lumière de deux Pentes..... | 27 |
| Figure I.26. Puit de lumière sous forme d'un berceau..... | 27 |
| Figure I.27. Puit de lumière sous forme d'un Dôme avec des rayons segmentés..... | 28 |
| Figure I.28. Baril voûtes et dômes Segmenté..... | 28 |
| Figure I.29. Puits de lumière sous forme d'une Pyramide..... | 29 |
| Figure I.30. Puits de lumière sous forme de polygones avec des rayons segmentés..... | 29 |
| Figure I.31. Différents modèles des lucarnes..... | 29 |
| Figure I.32. Skylight qui s'ouvre manuellement..... | 30 |
| Figure I.33. Maison des banques et des institutions financières Munich, en Allemagne..... | 33 |
| Figure I.34. Hôtel Hesperia-bercelone..... | 34 |
| Figure I.35. ETFE | 36 |
| Figure I.36. Lucarne avec LCP sélectifs angulaires..... | 37 |
| Figure I.37. Vitrage en polycarbonate alvéolaire..... | 39 |

CHAPITRE II

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure II.1. Circulation d'air convectif et la création de stratification..... | 45 |
| Figure II.2. Stratification thermique..... | 46 |
| Figure II. 3. Comportement thermique d'atrium pendant l'hiver..... | 50 |
| Figure II. 4. Comportement thermique d'atrium pendant l'été..... | 51 |
| Figure II.5 .Représentation des conditions aux limites de stratification..... | 52 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure II.6. Stratification thermique a droite le20 aout 1989 a gauche 12 juin 1989..... | 53 |
| Figure II.7. Ventilation naturelle par effet du tirage thermique dans l'atrium..... | 58 |
| Figure II.8. Effet de cheminée induite la pression entre deux ouvertures placées verticalement..... | 59 |
| Figure II.9. Ouvertures inferieurs | 59 |
| Figure II.10. Ouvertures supérieurs..... | 60 |
| Figure II.11. Comportement de la ventilation naturelle..... | 61 |
| Figure II.12. Débites d'air..... | 62 |
| Figure II.13. Pressions dans un atrium..... | 64 |
| Figure II.14. Système de purge dans un atrium..... | 64 |
| Figure II.15. Ventilation naturelle de deux espaces qui sont connectés les uns aux autres par un faible niveau d'ouverture, et dont chacun est connecté à l'extérieur par un événement..... | 65 |
| Figure II.16. Schéma du flux dans un bâtiment à un étage relié à un atrium plus grand. Si l'atrium est «non ventilé» (a) il n'y a qu'un seul trajet d'écoulement. Si l'atrium est «ventilé» (b), deux voies d'écoulement se rejoignent dans l'atriums..... | 65 |
| Figure II.17. Schéma du flux dans un bâtiment à un étage relié à un atrium avec différentes hauteurs..... | 66 |
| Figure II.18. Atrium naturellement ventilé..... | 66 |
| Figure II.19. Eléments de toit transparent rempli d'eau | 69 |
| Figure II.20. Répartition de la pellicule d'eau sur toute la largeur de la vitre | 69 |
| Figure II.21. Hotel Hayatt regency san francisco ,USA..... | 70 |
| Figure II.22. Ventilation naturelle induite par le vent..... | 71 |
| Figure II.23. Ventilation naturelle dans l'atrium du nouveau immeuble du groupe EIB..... | 71 |
| Figure II.24. Structures absorbantes dans un atrium..... | 74 |
| Figure II.25. Différents types d'atriums..... | 75 |
| Figure II.26. Gains solaires durant la saison chaude..... | 76 |
| Figure II.27. Equilibre entre les variables pour une conception de base..... | 76 |

CHAPITRE III

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure III.1. Effet de la localisation géographique du bâtiment sur le taux de ventilation dans chaque étage à 13:00 h en avril, juillet et septembre 15, 2010 à St. John's, à Montréal, à Winnipeg, à Calgary et à Vancouver..... | 78 |
| Figure III.2. Meilleure orientation..... | 81 |
| Figure III.3. Droite :Distribution de température et vitesse de l'air dans l'atrium latérale à Gauche: distribution de température et vitesse de l'air dans l'atrium centralisé..... | 83 |
| Figure III. 4. Déperdition thermique dans les deux cas..... | 83 |
| Figure III.5. Pénétrations solaires dans les deux atriums..... | 85 |
| Figure III.6. LCP réorientent la lumière par la lucarne pyramidale..... | 88 |
| Figure III. 7. Couche réfléchissante intermédiaire Coussin en ETFE..... | 90 |
| Figure III.8. Vitrage en polycarbonate alvéolaire..... | 91 |
| Figure III.9. Différentes configurations..... | 91 |
| Figure III.10. A gauche protection solaire internes ,a droite stores réfléchissantes..... | 92 |
| Figure III.11. Ouvrant du toit d'atrium..... | 93 |
| Figure III. 12. Etat original sans intervention..... | 94 |
| Figure III.13. A gauche protection solaire modèle 01, A droite modèle 02..... | 94 |
| Figure III.14. Différentes situations de la protection d'ombrage interne..... | 95 |
| Figure III.15. Charges de refroidissement quotidien dans les magasins autour de l'atrium principal..... | 96 |
| Figure III.16. Stores du toit interne..... | 97 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure III.17. Protection solaire en verre PVC..... | 98 |
| Figure III.18. Verre PVC..... | 98 |
| Figure III.19. Géométrie utilisée pour la simulation CFD..... | 100 |
| Figure III.20. Prédiction CFD de l'effet de l'augmentation de la zone d'ouverture d'entrée sur les contours de vitesse avec la même zone d'ouverture d'entrée pour chaque étage..... | 100 |
| Figure III.21. Prédiction CFD de l'effet d'augmentation de la zone d'ouverture d'entrée sur les contours de température avec la même zone d'ouverture d'entrée pour chaque étage..... | 101 |

CHAPITRE IV

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure IV. 1. Situation de Constantine..... | 103 |
| Figure IV. 2. Centre commercial Sans Visa..... | 105 |
| Figure IV.3. A gauche volumétrie du cas d'étude, A droite Façade Nord-Ouest..... | 105 |
| Figure IV.4. A gauche façade Sud- Est , A droite Façade Nord-Est..... | 106 |
| Figure IV.5. Toit d'atrium sous forme d'un berceau..... | 106 |
| Figure IV.6. Température enregistrée la plus élevée..... | 107 |
| Figure IV.7. Température enregistrée la plus élevée..... | 107 |
| Figure IV.8. Différents points de mesure..... | 111 |
| Figure IV. 9. Température de l'air au niveau RDC de la journée 07Mars 2016..... | 112 |
| Figure IV.10. Température de l'air au niveau R+1 de la journée 07Mars 2016..... | 112 |
| Figure IV.11. Température de l'air au niveau R+2 de la journée 07Mars 2016..... | 113 |
| Figure IV.12. Température de l'air au niveau R+3 de la journée 07Mars 2016..... | 113 |
| Figure IV.13. Humidité relative de l'air au niveau RDC de la journée 07Mars 2016..... | 114 |
| Figure IV.14. Humidité relative de l'air au niveau R+1 de la journée 07Mars 2016..... | 114 |
| Figure IV.15. Humidité relative de l'air au niveau R+2 de la journée 07Mars 2016..... | 115 |
| Figure IV.16. Humidité relative de l'air au niveau R+3 de la journée 07Mars 2016..... | 115 |
| Figure IV.17. Température de l'air au niveau RDC de la journée 26 Mars 2016..... | 116 |
| Figure IV.18. Température de l'air au niveau R+1 de la journée 26 Mars 2016..... | 116 |
| Figure IV.19. Température de l'air au niveau R+2 de la journée 26Mars 2016..... | 117 |
| Figure IV.20. Température de l'air au niveau R+3 de la journée 26Mars 2016..... | 117 |
| Figure IV.21. Humidité relative au niveau RDC de la journée 26Mars 2016..... | 118 |
| Figure IV.22. Humidité relative au niveau R+1 de la journée 26Mars 2016..... | 118 |
| Figure IV.23. Humidité relative au niveau R+2 de la journée 26Mars 2016..... | 119 |
| Figure IV.24. Humidité relative au niveau R+3 de la journée 26Mars 2016..... | 119 |
| Figure IV.25. Comparaison entre les températures de l'air de la journée le 07 et 26Mars 2016..... | 120 |
| Figure IV.26. Température de l'air au niveau RDC de la journée 18 Juillet 2016..... | 121 |
| Figure IV.27. Température de l'air au niveau R+1 de la journée 18 Juillet 2016..... | 122 |
| Figure IV.28. Température de l'air au niveau R+2 de la journée 18 Juillet 2016..... | 122 |
| Figure IV.29. Température de l'air au niveau R+3 de la journée 18 Juillet 2016..... | 123 |
| Figure IV.30. Ecart de température de l'air de la journée 18 Juillet 2016..... | 123 |
| Figure IV.31. Coursives D' pendant la journée 18 Juillet 2016..... | 124 |
| Figure IV.32. Coursives G pendant la journée 18 Juillet 2016..... | 124 |
| Figure IV.33. Coursives D pendant la journée 18 Juillet 2016..... | 125 |
| Figure IV.34. Coursives G' pendant la journée 18 Juillet 2016..... | 125 |
| Figure IV.35. Stratification thermique dans l'atrium pendant la journée 18 Juillet 2016..... | 126 |
| Figure IV.36. Ouverture du toit à 100 à 16 heures de la journée 19 Juillet 2016..... | 127 |
| Figure IV.37. Température de l'air au niveau RDC de la journée 19 Juillet 2016..... | 127 |
| Figure IV.38. Température de l'air au niveau R+1 de la journée 19 Juillet 2016..... | 128 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure IV.39. Température de l'air au niveau R+2 de la journée 19 Juillet 2016..... | 128 |
| Figure IV.40. Température de l'air au niveau R+3 de la journée 19 Juillet 2016..... | 129 |
| Figure IV.41. Ecart de température de l'air de la journée 19 Juillet 2016..... | 129 |
| Figure IV.42. Vitesse de l'air à 16 h de..... | 130 |
| Figure IV.43. Stratification thermique dans l'atrium de la journée 19 Juillet 2016..... | 131 |
| Figure IV.44. Ouverture du toit à 75 à 09 heures de la journée 19 Juillet 2016..... | 131 |
| Figure IV.45. Température de l'air au niveau RDC de la journée 20 Juillet 2016..... | 132 |
| Figure IV.46. Température de l'air au niveau R+1 de la journée 20 Juillet 2016..... | 132 |
| Figure IV.47. Température de l'air au niveau R+2 de la journée 20 Juillet 2016..... | 133 |
| Figure IV.48. Température de l'air au niveau R+3 de la journée 20 Juillet 2016..... | 133 |
| Figure IV.49. Ecart de Température de l'air de la journée 20 Juillet 2016..... | 134 |
| Figure IV.50. Stratification thermique dans l'atrium de la journée 20 Juillet 2016..... | 134 |
| Figure IV.51. Humidité relative au niveau atrium de la journée 18 Juillet 2016..... | 135 |
| Figure IV.52. Humidité relative au niveau atrium de la journée 19 Juillet 2016..... | 135 |
| Figure IV.53. Humidité relative au niveau atrium de la journée 20 Juillet 2016..... | 135 |

CHAPITRE V

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure V. 1. Modèle du cas d'étude réalisé par TAS modeller..... | 139 |
| Figure V.2. Modele du cas d'etudes avec les differentes zones..... | 140 |
| Figure V.3. Calendrier | 140 |
| Figure V.4. Fichier meteo de la ville de Constantine..... | 141 |
| Figure V.5. Differents element composant le cas d'etude..... | 143 |
| FigureV.6. Conditions interieures..... | 144 |
| Figure V.7. Periode de deroulement de la simulation | 145 |
| Figure V.8. Exemple de type d'ouverture | 145 |
| Figure V. 9. Comparaison entre des résultats de simulations à ceux des mesures..... | 147 |
| Figure V.10. Température de l'air dans l'atrium R+3 de la journée 07mars 2016..... | 148 |
| Figure V.11. Température de l'air dans l'atrium R+3 de la journée 26 mars 2016..... | 149 |
| Figure V.12. Ecart de température dans l'atrium R+3 de la journée 26 mars 2016..... | 150 |
| Figure V.13. Variation de température de l'air dans l'atrium R+3 avec une ouverture du toit de07-11h et de16-19:h..... | 151 |
| Figure V.14. Variation de température de l'air dans l'atrium R+3 avec une ouverture du toit de 07-19:h..... | 152 |
| Figure V.15. Comparaison entre les deux types d'ouverture dans l'atrium R+3..... | 153 |
| Figure V.16. Evolution des humidités relatives dans atrium R+3avec ouverture du toit de07-11 et de16-19h..... | 154 |
| Figure V.17. Evolution des humidités relatives dans atrium R+3avec ouverture du toit de 07 -19h | 155 |
| Figure V. 18. Ecart de température en °C..... | 156 |
| Figure V.19. Ecart des humidités dans l'atrium R+3..... | 157 |
| Figure V.20. Stratification thermique dans l'atrium R+3 | 158 |
| Figure V.21. Evaluation de la ventilation transversale..... | 159 |
| Figure V.22. Comparaison entre l'évolution des températures d'air dans les différents espaces de dernier étage..... | 160 |
| Figure V.23. A gauche : atrium avec toit fermé (Cas A), A droite, Atrium ouvert à100 % (Cas B)..... | 162 |
| Figure V.24. Atrium ouvert à 100% avec ventilation transversale Nord-Ouest /Sud -Est (Cas C)..... | 162 |
| Figure V. 25 . Champs des températures correspondants aux cas A , B et C ainsi que les températures surfaciques..... | 163 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure V.26 .Champs des humidités relatives correspondants aux cas A , B et C..... | 165 |
| Figure V.27 .Champs de la vitesse de l'air correspondants aux cas A , B et C..... | 167 |
| Figure V.28 .PPD correspondants aux cas A , B et C..... | 168 |

CONCLUSION GENERALE

| | |
|---------------------------------------------------|-----|
| Figure 1 .Type d'occultation proposée..... | 176 |
|---------------------------------------------------|-----|

ANNEXE A

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure A.1 .Epaisseur du vitrage en polycarbonate alvéolaire..... | 191 |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|

ANNEXE B

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure B.1 .Rapport annuel de la demande d'énergie de chauffage et de refroidissement pour le modèle à Riyad..... | 193 |
| Figure B.2 .Rapport annuel de la demande d'énergie de chauffage et de refroidissement pour le modèle à Bangkok..... | 193 |
| Figure B.3 .Rapport annuel de la demande d'énergie de chauffage et de refroidissement pour le modèle à Londres..... | 193 |
| Figure B.4 .Rapport annuel de la demande d'énergie de chauffage et de refroidissement pour le modèle à Moscou..... | 194 |
| Figure B.5 . Rapport annuel de la demande d'énergie de chauffage et de refroidissement pour le modèle à Téhéran..... | 194 |
| Figure B.6 .Moyenne mensuelle de la température extérieure dans certaines villes..... | 194 |

ANNEXE D

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure D.1 .Comportement d'atrium de la journée 26 mars 2016 avec un toit fermé..... | 198 |
| Figure D.2 .Comportement d'atrium de la journée 26 mars 2016 avec ouverture du toit à 100% de 07 à 19 heures | 198 |
| Figure D.3 .Comportement d'atrium de la journée 19Juillet 2016 avec toit fermé..... | 199 |
| Figure D.4 .Comportement d'atrium de la journée 19Juillet 2016 ouverture du toit à 100% de 7h à 11h et de 16h à 9h..... | 199 |
| Figure D.5 .Comportement d'atrium de la journée 19Juillet 2016 ouverture du toit à 100% de 7h à 19h..... | 200 |
| Figure D.6 .Comportement d'atrium de la journée 19Juillet 2016 ouverture du toit à 100% avec ventilation transversale (NO-SE) de 7h à 19h | 200 |

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I

| | |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau I.1. Différents types d'ouverture du skylight..... | 32 |
| Tableau I.2. Comparaison entre ETFE et les autres matériaux..... | 37 |
| Tableau I.3. Critères et performance du LCP..... | 38 |

CHAPITRE II

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau II.1. Performance énergétique de la cour et de l'atrium dans différents climats..... | 54 |
| Tableau II.2. Différents modèles de la ventilation dans les atriums..... | 72 |

CHAPITRE III

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau III.1. Impact de la forme de la lucarne sur la performance du bâtiment..... | 86 |
| Tableau III.2. Impact du type du vitrage sur la performance du bâtiment..... | 88 |
| Tableau III.3. Transmission thermique et solaire pour les vitrages et les coussins d'ETFE | 89 |
| Tableau III.4. Flux de chaleur et des températures pour un modèle du verre et ETFE..... | 90 |
| Tableau III. 5. Impact de changement de surface de vitrage sur la distribution de température et débit d'air..... | 91 |

CHAPITRE IV

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau IV.1. Données météorologiques de Constantine Période 2004-2014..... | 104 |
| Tableau IV.2. Différents scénarios | 108 |
| Tableau IV.3. Appareils de mesure utilisés..... | 109 |
| Tableau IV.4. Hauteurs des stations de mesure..... | 110 |

CHAPITRE V

| | |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau V. 1. Caractéristiques thermo-physique des matériaux utilisés..... | 142 |
| Tableau V.2. Composition des constructions utilisées..... | 143 |
| Tableau V.3. Différents scénarios proposés pour la simulation..... | 146 |
| Tableau V. 4. Conditions appliquées pour le module « AMBIENS »..... | 161 |

ANNEXE A

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau A.1. Caractéristiques du vitrages permettant le contrôle solaire..... | 191 |
| Tableau A.2. Types du la matière utilisée pour la couverture des lucarnes..... | 191 |
| Tableau A.3. Impact du vitrage sur les charge de refroidissement et chauffage..... | 192 |
| Tableau A.4. Coefficient de transmission lumineuse (τ) en % | 192 |
| Tableau A.5. Caracteristiques de polycarbonate | 193 |

ANNEXE C

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau C.1. Données météorologiques de Constantine Période 2004-2014..... | 196 |
| Tableau C.2. Données climatiques de la ville de Constantine de l'année 2015. | 197 |
| Tableau C.3. Températures de l'air de la première partie des quatre mois de la ville de Constantine..... | 198 |
| | 198 |
| Tableau C.4. Températures de l'air de la deuxième partie des quatre mois de la ville de Constantine..... | 198 |
| | 198 |

LISTE DES EQUATIONS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Equation II.1. Calcul de gradient thermique | 44 |
| Equation II.2. Température indice de notation..... | 45 |
| Equation II.3. Gradient de température..... | 45 |
| Equation II.4. Transfert de chaleur par rayonnement..... | 47 |
| Equation II.5. Transfert de chaleur par conduction..... | 49 |
| Equation II.6. Rayonnement solaire incident sur la fenêtre du toit | 49 |
| Equation II.7. Charge de ventilation | 49 |
| Equation II.8. Débit de renouvellement d'air | 60 |
| Equation II.9. Dépression le long de la hauteur des atriums | 61 |
| Equation II.10. Pression due au tirage thermique | 61 |
| Equation II.11. Débit d'air | 62 |
| Equation II.12. Débit d'air en fonction de A1 et A2 | 62 |
| Equation II.13. Chaleur évacuée par la ventilation | 62 |
| Equation II.14. Pression intérieur..... | 63 |
| Equation II.15. Pression extérieur..... | 63 |
| Equation II.16. Différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur | 63 |
| Equation II.17. Ventilation nocturne..... | 68 |

LISTE DES SIGNES ET ABREVIATIONS

| | |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| CVC | Systèmes de chauffage, ventilation, et climatisation. |
| dB | Le décibel l'acoustique. |
| ETFE | Ethylène tétra fluoro éthylène. |
| SHGC | Le coefficient de gain de chaleur solaire. |
| SC | Le coefficient d'ombrage. |
| R | La résistance thermique. |
| U | Le coefficient de transmission thermique. |
| LCP | Panneaux coupés par laser (Laser cut panels). |
| UV | Ultraviolet . |
| °C | Le degré Celsius. |
| Btu | Le British Thermal Unit est une unité anglo-saxonne d'énergie. |
| ft² | Le pied carré (square foot) est une unité anglo-saxonne de surface. |
| ft³ | Le pied cube en anglais (cubic foot est une unité de volume). |
| P | Pression. |
| m² | Mètre carré. |
| K | Kalvin. |
| TiO₂ | Le dioxyde de titane ou oxyde de titane(IV) est composé d'oxygène et de titane . |
| CFD | La mécanique des fluides numérique. |
| Faible-E | Les vitrages basse émissivité. |
| g | Total de transmission d'énergie solaire. |
| W | Watt. |
| PVC | Poly Vinyl Chloride. |
| O.N.M | Office national de météo. |
| mm | Millimètre. |
| moy | Moyenne. |
| max | Maximum. |
| min | Minimum. |
| Im | Indice d'aridité marathon. |
| RDC | Rez de chaussée. |
| m/s | mètre/ seconde. |
| USB | Un support de stockage amovible. |
| ST | Station de mesure. |
| STG | Station de mesure gauche. |
| STD | Station de mesure droite. |
| T ext | Température extérieure. |
| HR | Humidité relative. |
| 3D | Trois dimensions. |
| 2D | Deux dimensions. |
| NO | Nord-Ouest. |
| NE | Nord -Est. |
| SO | Sud- Ouest. |
| V T | Ventilation naturelle. |
| ISO | Organisation internationale de normalisation |
| PPD | Le Pourcentage prévisible des personnes insatisfaites |

INTRODUCTION GÉNÉRALE

" La relation de l'architecture avec l'environnement est à l'ordre du jour ; elle concerne l'impact écologique et visuel, mais aussi les échanges entre le climat et les ambiances intérieures, cet aspect a été particulièrement négligé ces dernières années, mais il est devenu en raison de crise de l'énergie, un des principaux thèmes de recherche en matière d'architecture " B.GIVONI.

Introduction

Depuis des siècles, l'architecture cherche à satisfaire les besoins de l'humanité en matière de confort. Pour cela, l'architecture a connu plusieurs mutations à travers le temps et l'espace. Chaque époque a marqué son passage par des productions architecturales spécifiques. Pendant des milliers d'années, l'être humain a créé des concepts architecturaux pour fournir le confort acceptable dans un environnement spécifique, tenant compte des conditions climatiques locales, des matériaux de construction disponibles, aussi bien que des aspects culturels et religieux. De la hutte primitive à la maison d'aujourd'hui, l'architecture reflète à travers son évolution les différentes solutions trouvées par l'homme pour faire face aux aléas climatiques (Guaouass Oussama, 2014). Notamment le réchauffement planétaire, l'augmentation des gaz à effet de serre, l'épuisement des ressources naturelles, sans omettre la crise énergétique des années 70, qui illustre la fragilité des systèmes dépendants des énergies fossiles. Avec la raréfaction des ressources de ces énergies, en plus des effets négatifs des émissions qui en résultent du réchauffement de la planète sont autant d'enjeux actuels qui engagent l'humanité à se sensibiliser, à se mobiliser et à se responsabiliser (Reeves, 2003). On commence à prendre en considération le climat dans le mode de construire et d'en faire un facteur important dans la recherche architecturale pour adapter les constructions aux conditions climatiques de la région afin d'atteindre le niveau de confort thermique requis à la moindre consommation d'énergie (Akchiche Zineb ,2011). Un tel engagement consiste inévitablement à réduire, d'une part, la consommation énergétique mondiale et d'autre part, à profiter des énergies primaires renouvelables, pour une réduction de l'exploitation des énergies fossiles telles le pétrole, le charbon et le gaz naturel (Bouffard Émilie, 2013), en s'inscrivant dans une démarche de durabilité, dans le but est d'exploiter les effets bénéfiques du climat, spécialement ceux liés au captage du soleil ou en offrant une protection contre les effets négatifs.

Afin de profiter de ces énergies renouvelables citées auparavant , actuellement plusieurs bâtiments prestigieux ont incorporé un atrium dans leur conception, pour augmenter leurs

valeurs de commercialisation en imitant l'esthétique. Ils ont des effets psychologiques et physiologiques sur l'augmentation du moral des gens et permettent la pénétration de la lumière du jour, afin d'augmenter le niveau de confort à l'intérieur pour une performance de l'enveloppement du bâtiment.

L'atrium qui est un espace populaire a été en usage avec une tendance à la hausse tout au long des siècles, depuis les temps anciens (Moosavin Leila et al,2014) , cet espace qui a une forme particulière d'une cour, était un centre social de l'ancienne maison Grecque , Romaine et Mésopotamienne, (Gon Kima et al,2010). Depuis le 19^{ème} siècle, avec le développement de la technologie du fer et du verre et la création des nouvelles techniques de construction , cet espace central se trouve en particulier dans les centres commerciaux, bureaux, Il est considéré comme un impressionnant espace d'esthétique, ou en exposant les espaces intérieurs à la lumière du jour, maximisant et bénéficiant d'un gain solaire direct, et offre une augmentation de la socialisation et les interactions entre les usagers. Il fournit également la circulation de l'air et de la communication entre les différents étages du bâtiment (Moosavin Leila et al, 2014). Tandis qu'il est entièrement clos, il a pour objectif, le rassemblement social. L'atrium est un espace à la fois intérieur et extérieur, c'est un lieu de rencontre sociale mais aussi environnementale. Mais son important apport en lumière naturelle procure des bénéfices psychologiques indéniables, surtout en période critique de désordre affectif saisonnier, trouble mieux connu sous le nom de blues hivernal (Demers Claude et Potvin Andre, 2001).

L'atrium, c'est l'espace de référence de la composition architecturale, puisqu' autour de lui s'articulent les autres parties du bâtiment, c'est une caractéristique architecturale commune dans les bâtiments modernes et historiques (Andrew Acreda et al, 2014). Il contribue au chauffage passif et utile dans une stratégie globale de ventilation et de refroidissement. Il garantit la disponibilité de la lumière du jour pour les espaces qui l'entourent. Il sert à la création d'une transparence souhaitée avec une amélioration de la qualité de vie et de la réduction de la consommation d'énergie, ils peuvent diminuer la consommation énergétique notamment les systèmes de climatisation dans les bâtiments par l'obtention de l'énergie solaire pendant l'hiver et le contrôle de la surchauffe en été.

En hiver, l'air de l'atrium est sensiblement plus chaud que l'air extérieur par un préchauffage de l'air neuf hygiénique réalisé dans les locaux. En quelque sorte, c'est la chaleur du bâtiment elle-même qui est recyclée. L'intérêt est renforcé en période ensoleillée puisque

tout l'atrium sert alors comme capteur solaire. Une économie d'énergie importante a lieu sur le préchauffage de l'air neuf. En été, une ventilation naturelle peut être assurée au niveau de l'atrium, des coursives et des espaces adjacents pour améliorer le niveau du confort thermo-aérauliques des usagers.

Problématique

La qualité environnementale d'un bâtiment est l'aptitude de l'ensemble des caractéristiques intrinsèques du bâtiment, des équipements et de la parcelle à satisfaire les exigences liées à la maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur et la création d'un environnement intérieur confortable et sain.

Le mot atrium est utilisé pour désigner le volume libre intérieur "atrium, patio, puit de lumière (instruction technique 263), c'est un volume de grands verres sur un bâtiment, il est observé comme un espace agréable qui est devenu très prisé tant dans les bâtiments commerciaux, résidentiels ou de bureaux, grâce à sa situation frontalière entre l'intérieur et l'extérieur qui implique les conditions environnementales comme le rayonnement solaire, et la permission à la lumière du jour de pénétrer à l'intérieur et de créer une ambiance lumineuse, Cela admet une continuité visuelle entre l'intérieur et l'extérieur.

Malgré tous ces avantages, cet espace constitue un défi pour les architectes lors de la conception afin d'assurer un confort thermo-aéraulique et de satisfaire les usagers spécialement durant la période estivale sans retour aux moyens de pointe et aussi sans influencer sur son aspect esthétique, prestigieux et la lecture architecturale de l'ensemble du bâtiment. Pour éviter les surchauffes à l'intérieur de cet espace vital, nous nous intéressons à la ventilation naturelle qui a toujours été un enjeu majeur, car elle joue un rôle déterminant dans le bâtiment en influençant la température de l'air intérieur pour favoriser la qualité de l'air intérieur par un renouvellement d'air. Comme a dit Givoni en 1978: "*Les conditions de ventilation à l'intérieur d'un bâtiment sont parmi les principaux facteurs déterminants de l'hygiène de l'homme, de son bien-être*".

Il nous paraît alors crucial de porter une connaissance du comportement thermo-aéraulique des atriums pour réduire les besoins énergétiques, il s'avère nécessaire de mettre en évidence une étude dans le centre commercial "Sans Visa" qui se trouve dans la ville nouvelle Ali Mendjeli à Constantine, caractérisé par un atrium ventilé qui est son critère du choix comme cas d'étude. Donc, il est important de répondre aux questions suivantes:

- Quel sera le comportement thermo-aéraulique dans l'espace atrium sous le climat semi-aride?
- Est ce que l'atrium à couverture mobile (rétractable) a un impact sur la performance du confort thermo-aéraulique par rapport à celui qui est immobile durant la période estivale ?

Hypothèses

Afin de répondre aux questions citées précédemment, la présente étude propose les hypothèses suivantes :

L'Atrium est une zone tampon entre l'environnement intérieur et extérieur. Il agit comme un filtre d'effets indésirables des facteurs de l'environnement extérieur tel que la pluie, la neige ou le vent.

-L'atrium est très bénéfique durant la période froide. Mais la grande surface vitrée de sa couverture est responsable de l'inconfort durant la période estivale. Ceci se manifeste sous la forme d'une stratification thermique d'air et une surchauffe interne (effet de serre).

-La ventilation naturelle est considérée comme remède à ces problèmes par le biais de l'ouverture du toit rétractable d'atrium qui est plus efficace que celui immobile en favorisant une convection naturelle due aux différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur, en assurant un renouvellement d'air des espaces intérieurs par le biais du tirage thermique ,en réduisant l'usage des moyens de pointe mécaniques.

Objectifs

Ce projet de recherche convoitera les objectifs suivants:

- Déterminer le comportement thermo-aéraulique de l'atrium ventilé (toit rétractable) durant deux périodes (printanière et estivale) sous le climat de Constantine (semi-aride).
- Mettre en œuvre des techniques passives comme solutions aux problèmes d'adoption de cet espace vital dans notre région.
- Proposer des recommandations pour les concepteurs et les architectes afin de réaliser des bâtiments à atrium confortable durant toute l'année sans consommation abusive des énergies non renouvelables.

Structure du mémoire

L'étude suivante sera développée en deux principales parties, afin d'arriver à une conclusion qui confirme ou infirme les hypothèses présentées ci-dessus.

La première partie traitera des aspects théoriques du sujet et dans la seconde partie, nous prendrons connaissance du cas d'étude et les différentes étapes de déroulement de l'investigation in situ ainsi que les divers scénarios d'optimisation, qui vont se baser sur une simulation numérique.

Le présent manuscrit est ainsi constitué de cinq chapitres, définis comme suit:

Chapitre 01

Nous allons exposer un bref aperçu sur les atriums et leurs apparitions à travers l'histoire de l'atrium traditionnel passant par celui de la période de fer et de verre arrivant à l'atrium moderne de nos jours. En citant la raison de son intégration dans le bâtiment, parfois selon une dimension spatiale, énergétique ou patrimoniale. Ce qui mène par la suite à des ambiances internes. En premier lieu, nous trouverons l'ambiance lumineuse qui est sa raison de son apparition autant qu'un puit de lumière, deuxièmement l'émergence de l'ambiance thermique et aéraulique (thermo-aéraulique) qui sont les plus représentatives de ces grands volumes vitrés. On trouve aussi celle d'acoustique et le vécu caractérisant le bien être. Enfin, nous avons essayé d'élaborer une classification des atriums suivant la configuration des atriums, les lucarnes, le système d'ouverture de la lucarne ainsi que le matériau utilisé pour sa couverture.

Chapitres 02

Vise à définir le comportement thermo-aéraulique des atriums, composé de deux volets essentiels. L'un, est le comportement thermique dans les atriums caractérisé par deux phénomènes essentiels qui sont le chauffage passif (gain solaire) en hiver et l'effet de serre en été. L'autre, c'est le comportement aéraulique caractérisé par les différentes techniques de refroidissement passif dans cet espace soit par ventilation naturelle par le biais du tirage thermique, occultation d'atrium, ventilation nocturne et le refroidissement par évaporation.

Chapitre 03

Nous allons citer les facteurs déterminants l'ambiance thermo-aéraulique dans les atriums, afin de bien comprendre leur contribution pour assurer une meilleure performance dans les bâtiments qui comportent des atriums, qui sont classés en deux catégories : L'une est d'ordre

climatiques et l'autre d'ordre conceptuels, en s'appuyant sur des études précédentes qui traitent le même contexte.

Chapitre 04

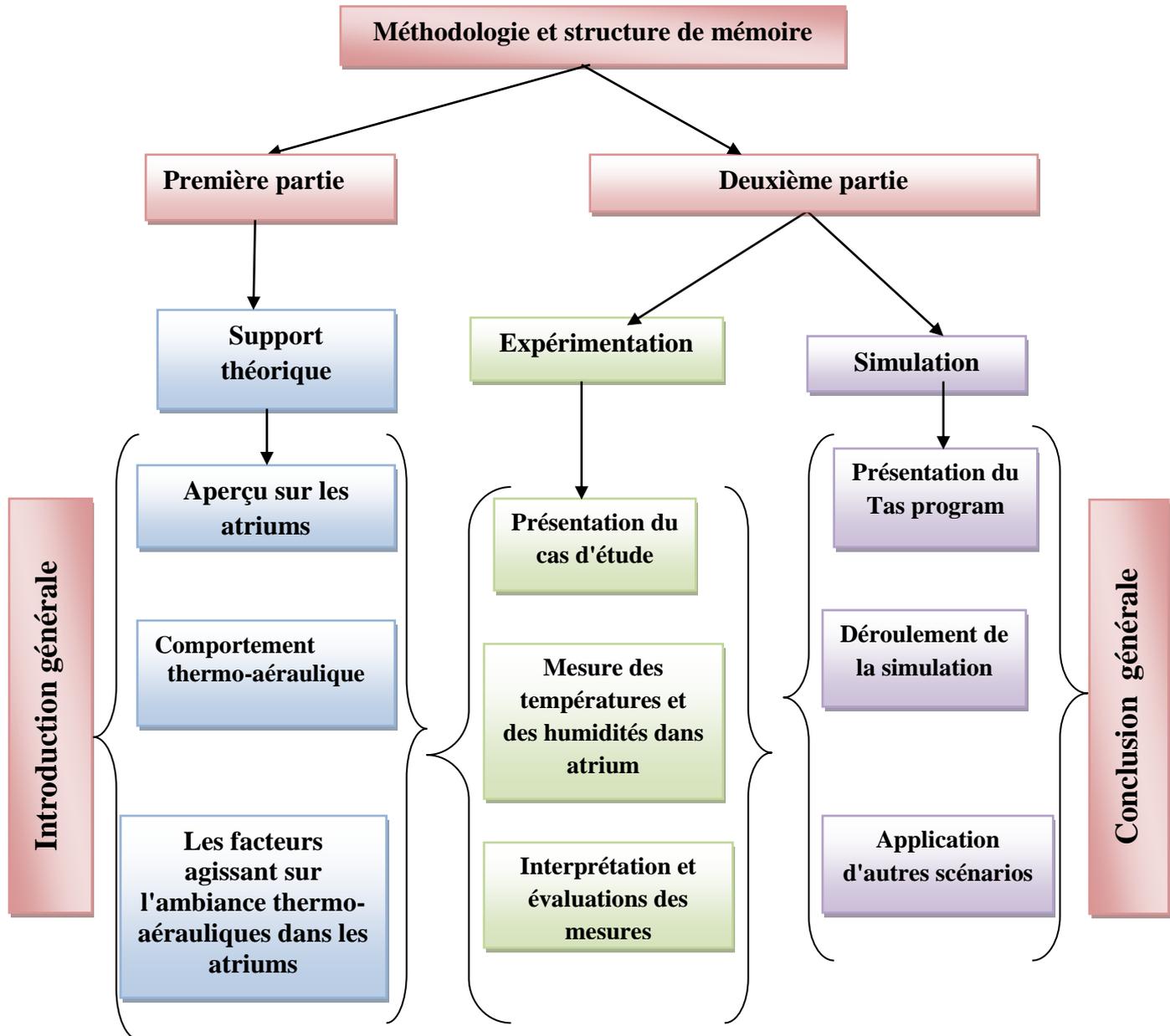
Dans ce chapitre, nous allons essayer d'analyser les critères de choix du cas d'étude (le centre commercial "Sans Visa" de la ville nouvelle Ali Mendjeli à Constantine, ainsi que les résultats issus de l'investigation in situ. Ce centre commercial sera décrit formellement dans le but d'extraire les caractéristiques de son ambiance thermo-aéraulique. Cette dernière va être étudiée durant deux périodes celle printanière et estivale accompagnée par de discussions et commentaires des résultats acquis.

Chapitre 05

Il sera consacré à une étude utilisant la technique de simulation numérique à l'aide d'un programme "EDSL Tas", nous allons d'abord expliquer les raisons qui nous ont conduits vers l'utilisation de ce logiciel. Ensuite, décrire sommairement ses principaux aspects, et notamment sa structure générale (les étapes de déroulement de la simulation).

Ce logiciel vise la vérification de notre hypothèse et l'élaboration des scénarios qui ne peuvent pas être réalisés à cause des contraintes de l'expérimentation. Des interprétations et discussions des résultats obtenus établiront des conclusions en proposant des recommandations pour une meilleure performance de ces grands volumes vitrés.

Enfin, suggérer des domaines d'application et des différentes directions pour un développement ultérieur de cette étude.



CHAPITRE I

APERÇU SUR LES ATRIUMS

Introduction

De nos jours, Plusieurs bâtiments prestigieux ont incorporé un atrium dans leur conception. Pour augmenter leurs valeurs de commercialisation (Liz Briggs, 1989), les atriums ayant des effets psychologiques et physiologiques sur l'augmentation du moral des gens et de permettre la pénétration de la lumière du jour. Tandis que, la typologie de l'atrium a été adoptée en imitant l'esthétique en même temps, faisant usage des matériaux nouveaux et des solutions adéquates, afin d'augmenter le niveau de confort à l'intérieur pour une performance de l'enveloppe du bâtiment.

Toutefois, les architectes cherchent des stratégies de conception les plus appropriées pour les intégrer à la conception des bâtiments, afin d'améliorer leur performance. L'utilisation de l'atrium suscite des inquiétudes de l'énergie qui devrait être éliminé. Puisqu'ils peuvent avoir des effets négatifs sur la demande annuelle d'énergie s'ils ne sont pas utilisés de manière appropriée (Ahmed Qadir Ahmed, 2013).

I.1.Aperçu historique de l'émergence d'espace atrium

On ne peut pas discuter des atriums sans connaître l'origine de cette nomination et son apparition.

Le mot atrium viendrait de la ville d'Adria selon Varron confirmé par Paul Diacre.

Une autre théorie avance que le mot *atrium* est tiré de l'adjectif latin *ater*, qui signifie *noir*, *noirci* et suggère que l'atrium primitif était la pièce unique de la maison, dans laquelle on cuisinait, provoquant ce noircissement.

I.1.1.Atrium traditionnel (atrium classique)

En conséquence, L'atrium n'est pas une invention de l'architecture contemporaine, il était déjà trouvé sous forme de cour non couverte dans les maisons datant de l'époque grecque et romaine (Kainlauri,1987).

La cour se réfère généralement à un espace ouvert dans un bâtiment entouré de chambres ou murs et dont l'objectif principal est d'apporter de la lumière et de l'air pour les chambres qui l'entourent (**figure I.1**).Un deuxième objectif est de fournir une pièce extérieure protégée ou privée qui peut être utilisée en conjonction avec les espaces intérieurs du bâtiment (Bednar, 1986).

1- entrée 2- coups 3-atrium 4- salon 5- cour péristyle

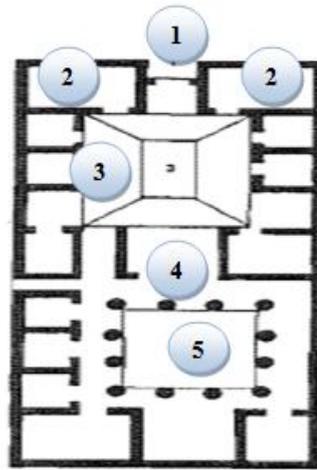


Figure I.1. Atrium Romain.
(Source : Liz Briggs, 1989)

I.1.2. Emergence des grands volumes vitrés pendant le XIXe siècle

L'atrium connaît son apogée dans l'architecture victorienne « cour couverte », Mais pendant le 19^{ème} siècle, il fut doté de la révolution industrielle et l'avènement du fer et de verre qui ont permis l'apparition des grandes portées et la structure métallique avec un vitrage modulaire et le fer forgé, qui sont devenus des techniques normalisées de préfabrication rapide et solide (Rahal Samira, 2011).

Il apparaît ainsi sous forme de passages et de rues couvertes durant la première moitié du XIXe siècle. L'un des premiers exemples, c'est l'atrium dans le Reform-Club à Londres (**figure I.2.**), conçu par Sir Charles Barry en 1837. Il a utilisé le Palazzo Farnese comme son modèle pour le plan et la forme du bâtiment de ce Club. Il couvre la cour centrale avec une structure voûtée en métal, cette dernière est alors devenue entièrement protégée des intempéries, mais profitant de la lumière du jour (Liz Briggs, 1989).



Figure I.2. Reform-Club à Londres.
(Source: <http://www.reformclub.com/>)

A l'instar du Crystal Palace (1851-1854) conçu par Joseph Paxton (1802-1865), Construit à Londres pour abriter la première Exposition Universelle de 1851, le Crystal Palace (Palais de cristal) est un bâtiment emblématique de l'architecture du XIXe siècle (**figure I.3**).

Cette architecture à structure métallique est issue de la révolution industrielle, elle permet une performance à la fois technique et artistique. Avec une forme originale, inspirée tout à la fois des halles, des serres et des gares.



Figure I.3. Crystal Palace.

(Source: Raymond Balestra Conseiller Pédagogique Départemental en Arts Visuels).

Beaucoup d'atriums ont été construits en France pendant cette époque, et connus comme des «Galeries». Par exemple, le marché "Bon Marché" conçu par Boileau et Eiffel en 1876 (**figure I.4**), avait une structure en fer squelettique et toit en verre, et contenait un espace continu et de nombreux puits de lumière. La France a continué à exploiter ce type spatial de l'atrium qui est utilisé dans de nombreux types de bâtiments, comme les bureaux, les hôtels, les musées, les appartements et les bibliothèques (Liz Briggs,1989).

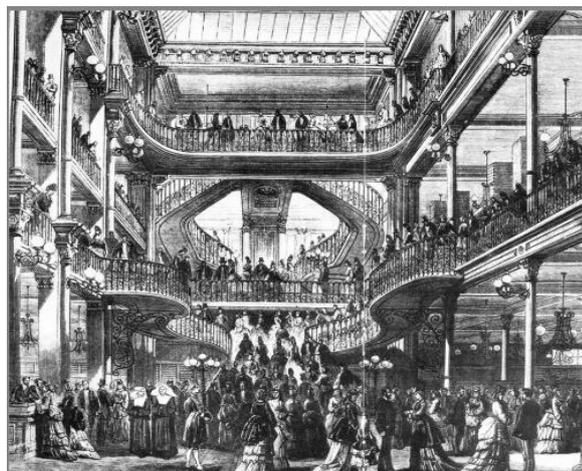


Figure I.4. Marché Bon marché.

(Source: http://passerelles.bnf.fr/albumsmobile/bon_marche/index.htm).

L'atrium se retrouva aussi intégré dans les édifices d'habitat, comme l'utopique phalanstère de Fourier qui a séduit l'industriel Godin quand il a réalisé son familistère (1859-1883), dans lequel il intégra trois grandes cours vitrées de dimensions de 40 sur 17 mètres. «Le familistère est une interprétation critique du phalanstère de Fourier», explique Frédéric Panni, conservateur du patrimoine et responsable du lieu (Daoudi .N .S, 2013).

Cependant, au tournant du XIXe siècle, il y avait un regain de popularité dans l'espace de l'atrium aux États-Unis. Les exemples les plus remarquables de cette période sont:

Bâtiment Pension Washington DC (**figure I.5.**) , conçu par le général Montgomery Meigs en 1882 : Ceci est un des plus anciens et des plus grands bâtiments de l'atrium aux États-Unis. Il a été construit comme un bâtiment civique pour abriter les bureaux, mais actuellement, il abrite le musée national des Arts .Son atrium est vaste, étant d'environ 89 x 28 mètres et 48,5 mètres de hauteur. Il est entouré par quatre niveaux de bureaux, et ponctué par deux séries de colonnes qui soutiennent l'immense toit en claire-voie (Liz Briggs, 1989).

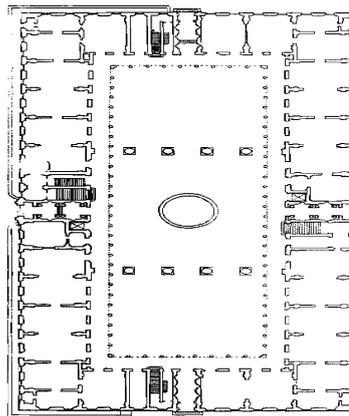


Figure I.5. Bâtiment Pension Washington DC

(Source: <http://blogs.voanews.com/edlandphairsamerica/2011/06/02/the-office/>)

I.1.3.Émergence de l'atrium moderne

Avec l'augmentation des systèmes technologiques avancées, d'incendie et de désenfumage devenus plus sophistiqués et fiables, et l'amélioration de l'équipement de traitement d'air qui ont abouti à la minimisation de la stratification et de la condensation dans les atriums. Combiné avec une prise de conscience croissante de la nécessité de conserver les ressources énergétiques et une recherche continue pour espaces publics les plus dynamiques et imaginatives et formes construites, l'atrium «moderne» est apparu comme un concept populaire dans les États- unis dans les années 1960 (Liz Briggs, 1989).

Il a été personnifié principalement par John Portman dans la conception de l'Hôtel Hyatt Regency Atlanta, en Géorgie, en 1967 (**figure I.6.**) . Il a tenté de révolutionner la conception

traditionnellement terne des hôtels du centre de la ville, et d'amener de la lumière, l'espace et une nouvelle expérience visuelle (Liz Briggs, 1989).

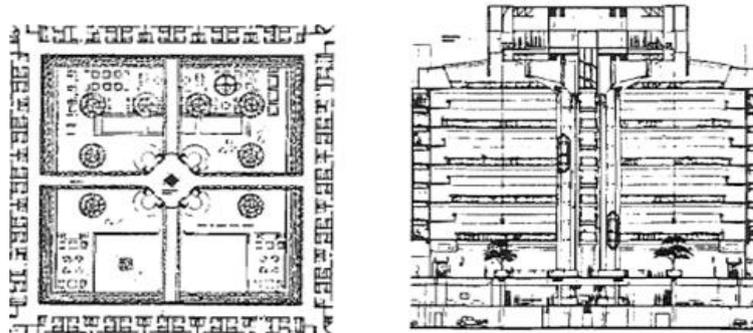


Figure I.6. A gauche : plan hôtel Hyatt, a droite : coupe hôtel Hyatt.
(Source : Liz Briggs, 1989).

On constate que les années 60, se caractérisaient par de larges façades vitrées d'édifices High Tech (**figure I.7.**). Ils sont excessivement énergivores et n'étant pas tout naturellement ventilés. L'atrium moderne est devenu le potentiel pour fournir le point de l'orientation et de l'organisation d'immeubles monumentaux tel que les hôtels, centres commerciaux et les musées, pour encourager la communication qui accueillait de grandes foules et nécessitant une multitude de services (Liz Briggs, 1989).

Comme aussi un atrium a souvent joué un rôle central dans la rénovation et la restauration des bâtiments historiques. Leurs fonctions sociales catalytiques, les implications économiques de marketing et de la flexibilité qu'elle donne à la créativité architecturale (Bensalem Rafik, 1991). Aux États-Unis, le Centre Landmark à St. Paul, Minnesota a été rénové pour offrir un centre culturel public, et l'ancien bureau de poste à Washington DC abrite aujourd'hui les bureaux fédéraux à usage multiple, espace commercial autour de son atrium. En Angleterre, le Barton Arcade à Manchester, Covent Garden à Londres et le Pantechnicon à West Halkin Street, London sont tous des exemples de bâtiments historiques (Liz Briggs, 1989).



Figure I.7. Siège de la Fondation Ford

(Source: <https://uk.pinterest.com/explore/ford-foundation/>)

I.2.Objectif d'un atrium dans un bâtiment

L'intégration d'atrium dans un bâtiment influe sur sa valeur d'esthétique ,mais il peut s'inscrire dans plusieurs dimensions.

I.2.1.Dimension spatiale et esthétique

Les atriums sont de plus en plus une caractéristique dans les nouveaux bâtiments. Ils sont souvent inclus pour leur attrait esthétique; Cependant, leur effet sur la construction de l'environnement intérieur peut être significatif (**figure I.8**).Un atrium peut être un espace emblématique puissant qui donne une identité forte et une présence architecturale à un bâtiment. La hauteur et l'ampleur d'un atrium, en particulier dans les immeubles de grande hauteur, peuvent créer un sentiment de monumentalité comme on le voit dans la tour Jin Mao à Shanghai (Swinal Samant, 2011).

Dans les immeubles de grande hauteur, en particulier, un atrium peut adoucir la transition entre la hauteur de l'immeuble et le terrain, et peut agir comme un mécanisme restreint pour attirer les gens dans le bâtiment. Ces espaces pourraient englober une multitude de fonctions, agir comme espaces d'agrément et transition ,améliorer les liens visuels et créer des communautés verticales à usage mixte vives et durables (Swinal Samant, 2001).



Figure 1.8. Esthétique de l'atrium.

(Source: www.energieplus-lesite.be/index.php?id=2).

L'atrium est un espace convivial privilégié pour la communication, la rencontre, le regroupement et l'organisation du flux. C'est un espace nœud d'orientation et de transition au sein du bâtiment. Exemple : Galeries, halls d'hôtel, centres commerciaux ou lieu d'exposition, Les atriums permettent d'apporter l'agrément des conditions extérieures (lumière naturelle, végétation) .

L'atrium est souvent animé par les différents usages de la circulation verticale et horizontale. Ils sont souvent intégrés dans des hôtels, des bureaux et des bâtiments de loisirs comme une expression de richesse. Ils sont sous forme des zones d'entrée ou/et Hall, pour fournir une entrée accueillante et ainsi faciliter la circulation dans ces immeubles avec des ascenseurs accessibles et des rampes en plus d'escaliers. Un exemple d'un atrium haut-éclairé, ce qui a été effectivement conçu et utilisé pour son potentiel de circulation, est le musée Guggenheim à New York par Frank Lloyd Wright (**figure 1.9.**).



Figure 1.9. Musée Guggenheim.

(Source: <http://www.voyage-new-york.net/tourisme-new-york/musees/musee-guggenheim>).

Les atriums permettant une transition entre l'espace public et privé sont souvent utilisés pour connecter des bâtiments à leur contexte (le tissu urbain) et de créer des voies piétonnières et des masses de construction sympathiques dans les villes.

Le QG DZ Bank à Francfort conçu par Kohn Pedersen Fox est un projet à usage mixte qui répond à son bureau de faible hauteur et quartier résidentiel en entourant son bureau et de la tour d'habitation avec un bureau de faible hauteur et podium commercial comprenant un jardin d'hiver de l'atrium central . Ici, l'atrium aide "à modérer la transition de l'échelle" (Brown et Dekay, 2000) faisant un bâtiment compatible avec ses voisins (**figure I.10.**).



Figure I.10. QG DZ Bank.

(Source: http://thomasmayerarchive.de/details.php?image_id=27190&l=english).

Une caractéristique notable de l'atrium du Bullring à Birmingham est qu'il se fonde sur les motifs des rues historiques existantes de la ville pour créer des rues internes vibrantes éclairées qui font maintenant partie de l'ensemble du réseau des espaces publics de cette ville (Benoy, 2011).

I.2.2. Dimension énergétique

Au cours du 20^{ème} siècle, la conception d'atrium occupe une place privilégiée dans l'imagination des architectes puisqu'il agit comme un filtre contre les effets indésirables des facteurs d'environnement extérieur, tels que la pluie, la neige ou le vent, et en conserve les effets souhaités de plein air tel que le soleil, l'air frais et le confort visuel .Dont les caractéristiques physiques des atriums affectent les conditions d'environnement intérieur, les charges thermiques ,la performance de l'éclairage et de refroidissement naturel.

L'effet énergétique d'atrium est d'assurer le chauffage solaire passif et un éclairage naturel au potentiel de réduire l'éclairage électrique ainsi que la consommation énergétique (Qian Lan, 2013).

Cependant, certaines précautions doivent être considérées afin d'optimiser son comportement thermique et de limiter ses charges de chauffage et de refroidissement (Claude Mh Demers et Andre Potvin, 2005).

Enfin, un atrium mal conçu peut entraîner des températures inconfortables et implique d'autres charges de climatisation pendant la période estivale.

I.2.2.1. Espace tampon

Dans le cas d'atrium, puisque c'est un espace qui protège la zone occupée aux effets du climat extérieur. En hiver, par exemple la température dans un atrium est supérieure à celle de l'extérieur en raison de gains de chaleur internes ou des gains solaires. Les températures élevées réduisent par la suite des pertes de chaleur du bâtiment occupé chauffé et donc économise de l'énergie. Le même concept tampon peut être exploité pour l'économie d'énergie de refroidissement en été .Il permet un meilleur contrôle de gain d'énergie solaire (Bensalem Rafik,1991). Dont l'effet de serre (captage bénéfique pour réduire la consommation d'énergie pour le chauffage mais il faut que la surchauffe qui surgit par le manque de ventilation naturelle en été doit être bien prise en charge).

I.2.2.2. Moyen de climatisation passive

Anne et al (2001) et Aldawoud et Clark (2008), soutiennent l'utilisation d'atriums pour améliorer la ventilation naturelle. Tandis que, si la couverture du toit d'atrium est télécommandée afin de garantir la fermeture et l'ouverture va créer un effet de "cheminée" vertical grâce à des ouvertures basses et hautes pour l'échappement de l'air chaud qui influe sur la qualité du confort intérieur, afin d'assurer un équilibre entre la température extérieure et celle du bâtiment.

I.2.2.3. Puit de lumière naturelle

Un atrium est créé "en ouvrant dans le cœur d'un large bâtiment". Sous ce regard, c'est un puit de lumière qui est recherché.¹ Son important apport en lumière naturelle procure des bénéfices psychologiques indéniables, connu sous le nom de blues hivernal (Claude Demers et Andre Potvin, 2005). Mais il devrait être protégé de la lumière directe du soleil.

L'atrium assure un environnement de lumière claire du jour en évitant le regard furieux et inconfortable pour les autres espaces, la couleur de lumière du jour transmise par un atrium devrait paraître "naturelle" à celle entrée dans le bâtiment.

D'après Brown et De Kayle le contrôle lumineux pour qu'un atrium procure une source de lumière suffisante pour des espaces adjacents tels que les bureaux et salles de cours, il est

¹ (En ligne) <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=2>

important de leur offrir une grande vue sur le ciel. De manière générale, un rapport largeur/hauteur offre des conditions minimales d'éclairage pour ces espaces adjacents. La qualité d'éclairage naturel des espaces adjacents à l'atrium dépend des variables suivantes :

- La quantité de lumière disponible pour un climat donné .
- Le degré d'ouverture et la transmission visuelle de la toiture de l'atrium .
- Le rapport largeur/hauteur de l'atrium .
- La réflexion des surfaces intérieures ; et les dimensions, position et transmission visuelle des surfaces vitrées donnant sur l'atrium .

L'éclairage naturel est directement lié à l'angle de ciel visible (**figure I.11**). Le toit de l'atrium, comme une surface horizontale, peut théoriquement «voir» tout l'hémisphère de ciel. Une recherche élaborée par Andrew Morrison et David Walshe affirme qu' 'il faut que la surface du toit de l'atrium soit le double de celle d'une fenêtre de la paroi verticale. Afin de maximiser l'angle de ciel visible et donc la lumière du jour, l'atrium doit être aussi large que possible par rapport à sa hauteur (idéalement même rapport largeur-hauteur). L'écartement des parois internes de l'atrium peut également améliorer l'éclairage naturel pour des étages inférieurs.

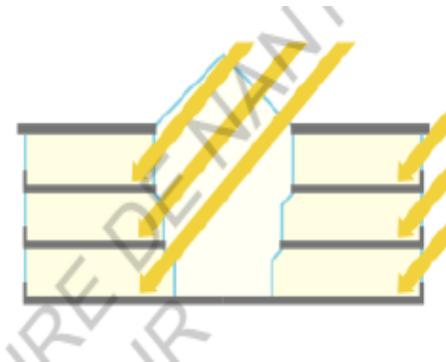


Figure I.11. Atrium est un puits de lumière naturelle.
(Source: www.energieplus-lesite.be/index.php?id=2)

I.2.2.4. Atrium et l'acoustique

En milieu urbain, l'atrium isole de façon remarquable des bruits extérieurs. Un traitement acoustique doit toutefois être mis en œuvre afin de réduire la résonance des bruits intérieurs (**figure I.12**). En effet, le grand volume de l'atrium, ainsi que la présence de parois dures, engendre des temps de réverbération acoustique élevés.

Ceci peut conduire à des réflexions gênantes dans l'atrium, et vers les locaux adjacents. Pour réduire le temps de réverbération, on intègre des éléments absorbants en façade ,des protections solaires au niveau du toit, ainsi que l'aménagement de l'espace par un traitement

acoustique adéquat. Telle que la présence de végétations, de mobilier, la qualité des revêtements de sol et de parois sont autant d'éléments qui peuvent améliorer le confort acoustique et diminuer le phénomène de résonance. Le niveau sonore recommandé est en fonction de l'occupation, mais se situe entre 40 et 50 dB(A) (à comparer aux 35 à 40 dB(A) (demandés dans les bureaux)).²



*Figure I.12. Exemple d'absorbeurs acoustiques intégrés sur les parois d'un atrium.
(Source: www.energieplus-lesite.be/index.php?id=2).*

I.2.3. Dimension patrimoniale (Extensions, rénovations et conservation)

Les architectes et les défenseurs de l'environnement ont utilisé les atriums pour revivre les bâtiments historiques, pour relier sympathiquement les bâtiments existants avec nouveaux dans l'intention de rénovation, d'extension, pouvant accueillir de nouveaux usages ou de donner une nouvelle vie à un bâtiment existant. La verrière de verre sur le toit du musée de Great Court au British à Londres a permis la rénovation sensible de cette structure très importante (**figure I.13**). Le toit de l'atrium flotte au-dessus de la structure en admettant la lumière du jour abondante tout en offrant une protection contre les intempéries pour les espaces publics logés dans l'espace de l'atrium (Anderson, 2005).

Le projet Manchester Art Gallery conçu par Hopkins Architectes a employé un atrium afin de lier la nouvelle aile de la galerie avec les anciennes.

² (En ligne) <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=2>



Figure I.13. Musée Britannique.

(Source: <http://www.fosterandpartners.com/projects/great-court-at-the-british-museum/>)

I.3.1. Ambiances dans l'atrium

Des études paramétriques ont été développées afin de déterminer l'influence de plusieurs paramètres sur l'environnement intérieur des atriums. Ces espaces d'intériorisation offrent d'une part des qualités d'architecture passive par l'apport gratuit de gains d'énergie ; par l'ensoleillement et la lumière naturelle et d'autre part, par leur qualité d'espaces de transition, une interface entre un dedans abrité et un dehors hostile, créant à la fois un microclimat et un espace de socialisation (Douadi. N. S, 2013). Donc, ils peuvent présenter des qualités en termes d'environnements thermiques, aérauliques, acoustiques, lumineux et de dispersion des polluants. Pourtant ils sont déclarés être des espaces de surchauffe, incompatibles avec le confort thermique recherché par les usagers particulièrement pendant la période estivale.

I.3.1. Ambiances thermiques

Ces espaces produisent les deux types d'environnement où nous nous situons. De manière générale, ces espaces sont des collecteurs passifs. Même si les températures de l'air enregistrées à l'intérieur de l'atrium sont toujours supérieures aux températures extérieures, A-propos le confort d'hiver, une fraîcheur peut être perçue, surtout dans les niveaux bas. Par contre en confort d'été, s'il y a absence d'ouvrants correctement localisés, ces espaces deviennent des espaces de surchauffe surtout en climats méditerranéens (Groupe ABC, 1997).

Parmi les principaux indicateurs environnementaux caractérisant les ambiances thermiques, nous pouvons citer (Les zones thermiques, La stratification des températures d'air, Le gradient thermique et Le supplément de température solaire) pour plus de détail (voir chapitre II).

I.3.2.Ambiances aérauliques

Les déplacements d'air enregistrés sont minimales, ils sont la résultante de deux situations parmi d'autres :

- 1.Généralement l'existence des ouvertures dans la partie basse (au Rez-de chaussée) , et en haut de l'atrium sous la couverture vitrée ainsi que la mobilité de sa couverture qui permet une ventilation naturelle de l'air , dont l'air froid provenant de l'extérieur chasse l'air chaud (vicié) de l'atrium vers le haut, par effet cheminée ou le tirage thermique (Douadi. N.S ,2013).
- 2.Les différences de température entre les parties basses et hautes de l'atrium induisent une différence de densité qui génère une convection naturelle (Groleau et al, 1994).

I.3.3.Ambiances lumineuses

L'objectif essentiel de la création d'un atrium, c'est d'assurer la pénétration de la lumière de jour à l'intérieur afin de minimiser les dépenses de l'éclairage artificiel et de réduire les consommations énergétiques du bâtiment et de produire des effets lumineux différents de ceux fournis par une baie verticale.

Plusieurs recherches ont traité le sujet de la lumière naturelle et la luminance dans les espaces adjacents dans cet espace vital et ont démontré qu'elles sont liées au ratio de vitrages de la couverture vitrée ainsi qu'à la configuration et les dimensions de l'atrium (Daoudi .N. S, 2013).

I.3.4.Ambiances sonores

Les propriétés de propagation du son sont la réflexion et l'absorption. Si l'intensité du bruit à l'intérieur de l'atrium est importante, il peut devenir une source de nuisance pour les usagers de cet espace et ceux des espaces adjacents, sous l'effet de la réflexion ; cette nuisance est surtout dénoncée dans les espaces d'habitat et de bureaux (Daoudi .N. S, 2013).

I.3.5. Le vécu

Au tant que l'atrium est un espace d'intériorisation et assure une situation de controverse , le vécu dans cet espace vital donne une impression de continuité visuelle entre l'intérieur et l'extérieur. C'est un espace extérieur privé.

I.4.Conception d'atrium

Les bâtiments de l'Atrium peuvent prendre plusieurs formes dont les dessins et les modèles peuvent aller de la simple forme à des formes plus complexes.

Nicholas Mak (1991) classe trois types principaux de conception thermique d'un atrium qui dépend de l'environnement extérieur.

I.4.1. Atrium de réchauffement

Cet atrium permet au soleil d'entrer librement dans l'espace de l'atrium .Il est conçu pour les pays avec à hiver sévère, et un court été.

I.4.2. Atrium de refroidissement

Cet atrium agit comme un dispositif d'ombrage et de stockage de l'air frais. Il est destiné pour les pays où il y a haut soleil, les hautes températures et humidité élevée.

I.4.3. Atrium convertible

Celui la fonctionne comme un atrium de réchauffement en hiver mais évite la surchauffe en été . Il est adapté pour les pays à hiver froid et été chaud.

I.5.Classification des atriums

On essayer de faire une classification des atriums selon les paramètres suivants:

I.5.1.Selon la configuration d'atrium (le type d'atrium)

Saxonne (1983), décrit cinq formes simples et quatre complexes de l'atrium génériques avec la compréhension que des dispositions plus hybrides sont possibles grâce à une adaptation de ces formes génériques.

I.5.1.1. Formes simples

I.5.1.1.1. Atrium un seul coté où veranda

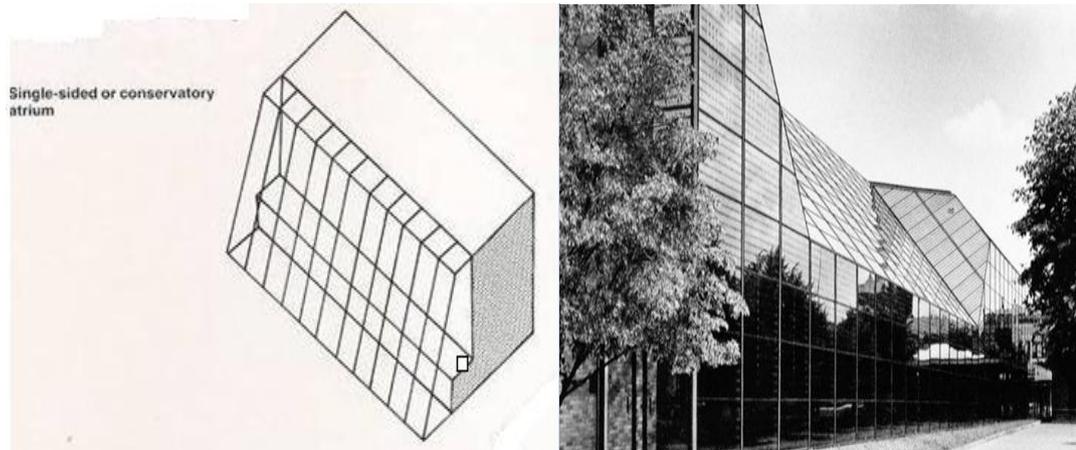


Figure I.14. Irwin Union Bank and Trust Company
(Source: <https://www.pinterest.com/pin/131871095315183616/>)

I.5.1.1.2. Atrium de deux côtés



Figure I.15. Ford foundation, new York .Roche history library .
(Source: combridge .james strilling holliday holidomes serval)

I.5.1.1.3. Atrium de trois cotés

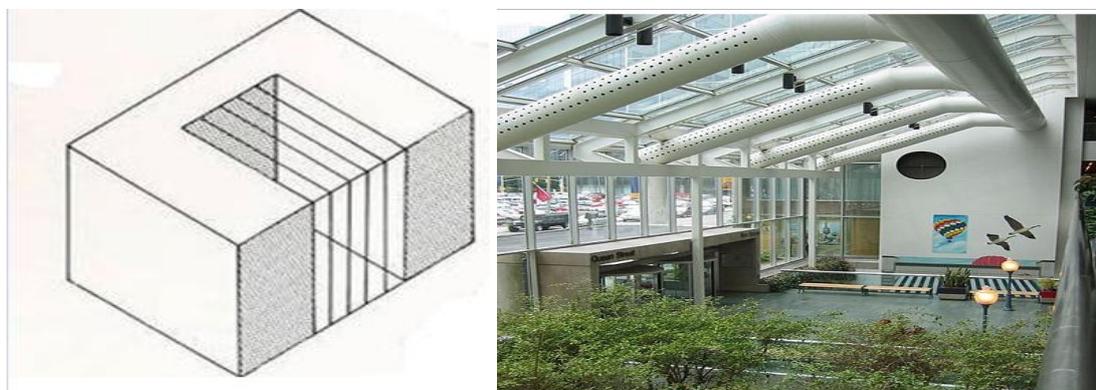


Figure I.16. CD Howe building Ottawa.
(Source: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:C.D._Howe_Building,_Ottawa_\(indoor_atrium_-_20_August_2004\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:C.D._Howe_Building,_Ottawa_(indoor_atrium_-_20_August_2004).jpg))

I.5.1.1.4. Atrium de quatre côtés (encastré)

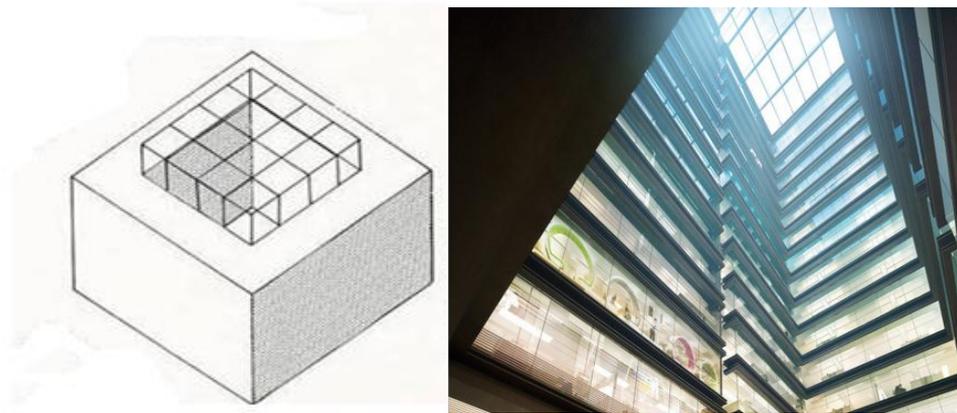


Figure I.17. IMF headquarters Washington DC
(Source: <http://mapio.net/pic/p-8663244/>)

I.5.1.1.5. Atrium linéaire (extrémités ouvertes)

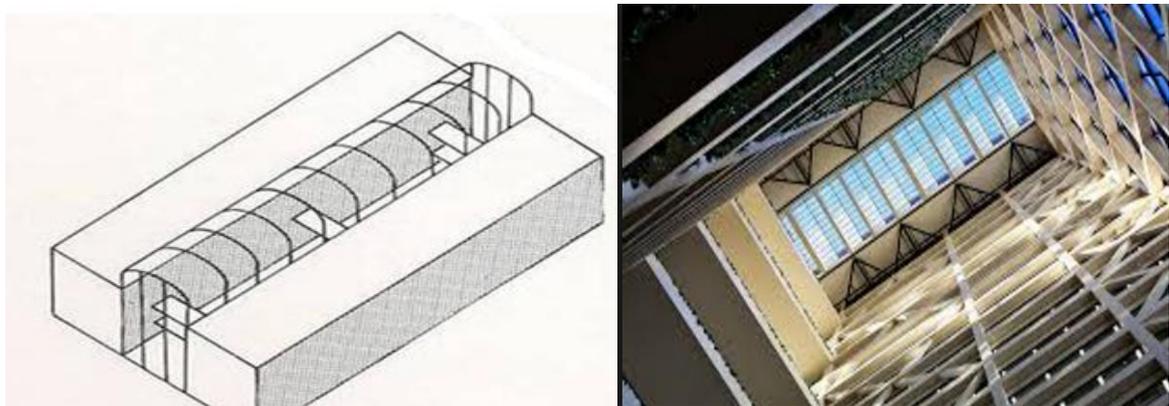


Figure I.18. Hennepin county courthouse
(Source: <http://www.mitchster.com/2008/03/14/hennepin-county-government-center/>)

I.5.1.2. Formes complexes

I.5.1.2.1. Atrium de transition(entre plusieurs bâtiments)

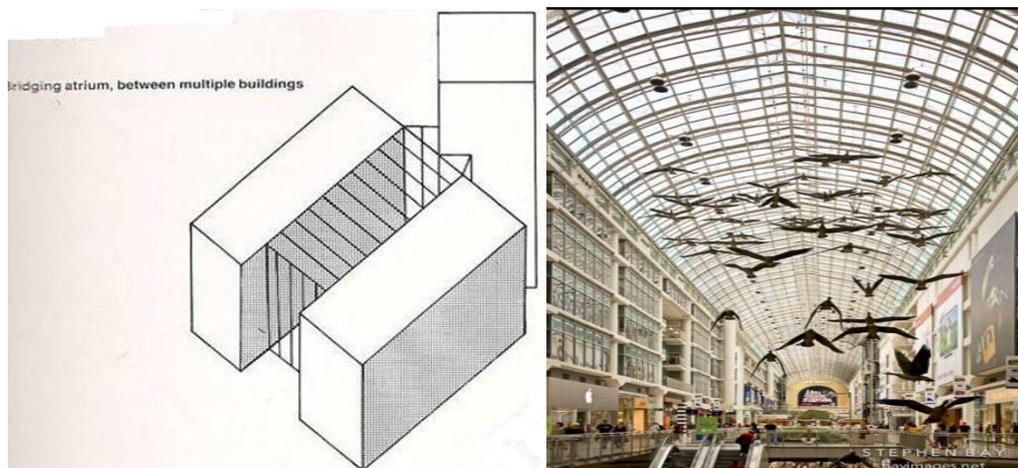
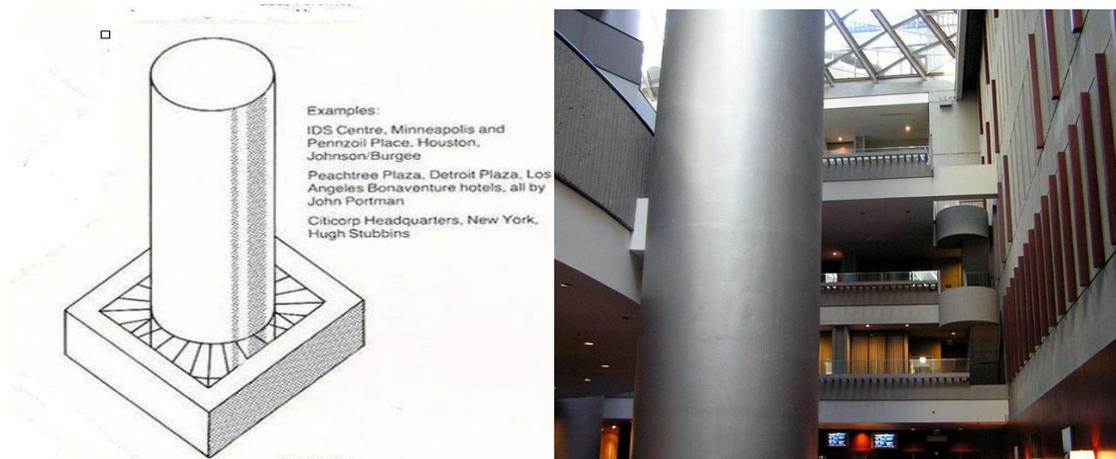


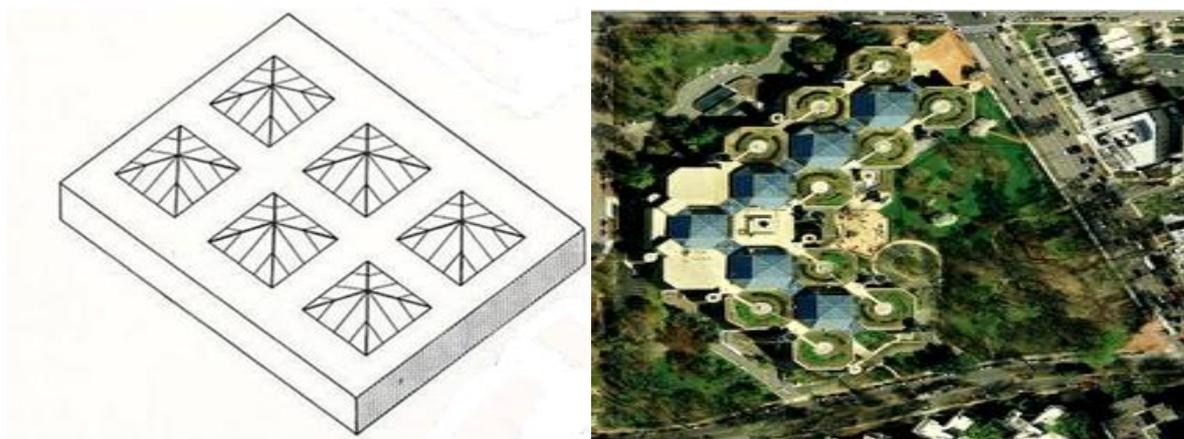
Figure I.19. Eaton center toronto atrium
(Source: <http://www.gettyimages.ca>)

I.5.1.2.2. Atrium podium à la base de la tour



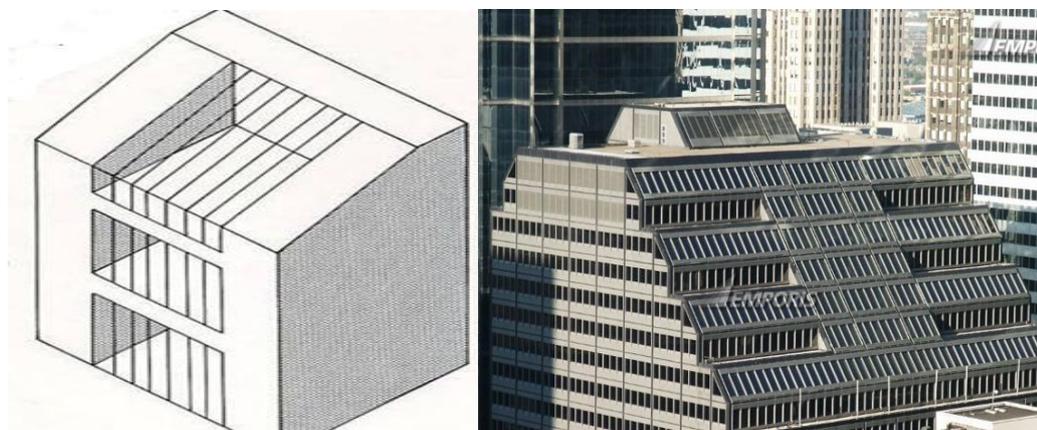
*Figure I.20. Westin peachtree plaza hotel
(Source: <https://en.wikipedia.org>)*

I.5.1.2.3. Plusieurs atriums latéraux (toute forme)



*Figure I.21. Intelsat headquarters
(Source: https://en.wikipedia.org/wiki/Intelsat_headquarters)*

I.5.1.2.4. Plusieurs atriums verticaux



*Figure I.22. 33 west monroe chicago atrium
(Source: <https://www.emporis.com/buildings/117120/33-west-monroe-chicago-il-usa>)*

Mais les configurations les plus souvent utilisées sont (**figure I.23.**)³

- 1- Atrium central ou il n'y a aucun contact avec l'extérieur.
- 2- Atrium intégré (semi encastré): une face vitrée avec l'extérieur.
- 3- Atrium linéaire: localisé entre deux corps d'édifice.
- 4- Atrium accolé (adjacent): plein contact avec l'extérieur.
- 5- Atrium enveloppe: entoure le bâtiment.

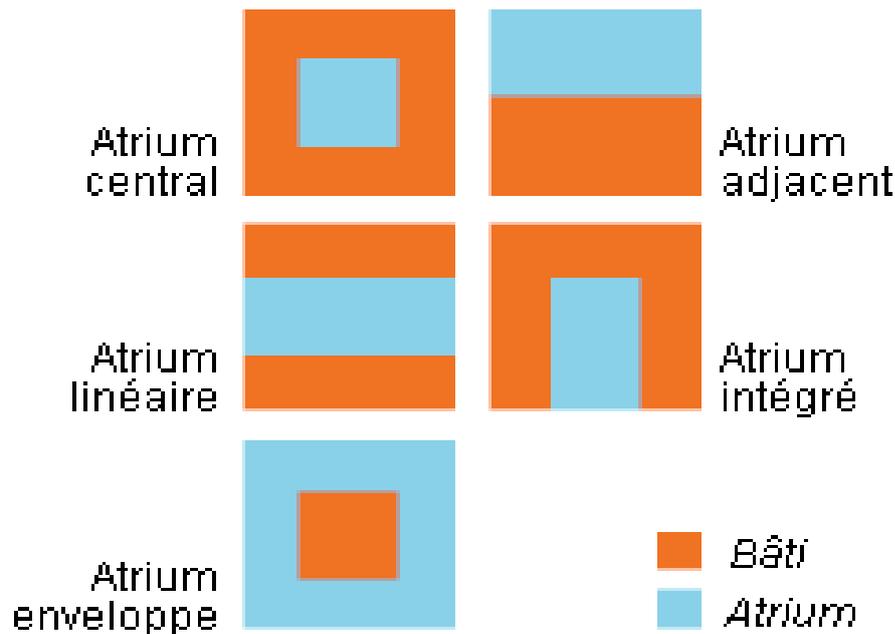


Figure I.23. Typologie des atriums.

(source: <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759>)

L'atrium dépend d'une part de l'architecture prévalent de l'époque dans laquelle il est réalisé, de la fonction de l'immeuble dans lequel il est intégré, et enfin des normes émises, à l'instar des règlements d'urbanisme, qui de manière dirigiste recommandent le dimensionnement et la localisation en fonction des espaces qu'ils doivent éclairer et ventiler (Daoudi. N.S, 2013).

La forme générique comprend cinq types, dont les atriums "adjacent" ou "enveloppe" sont à éviter. Leur comportement étant celui d'une serre, c'est à dire d'un espace en déséquilibre thermique suite à l'excès de surfaces vitrées par rapport aux masses thermiques de stockage. Il y fait trop froid en hiver et trop chaud en été.⁴ Par contre, l'atrium central constitue l'exemple le plus répandue. Lomas et Eppel (1994) affirment qu'en Angleterre vers 1992, ce

³ (En ligne) <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759>

⁴ (En ligne) <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16759>

type représente 45% du parc immobilier à atrium ; cette proportion rejoint celle identifiée par Yoshino et al (1995), avec 40% de cas répertorié (Daoudi .N. S, 2013).

Pour de plus petits bâtiments, des surfaces vitrées orientées vers le Sud peuvent contribuer au chauffage de l'atrium en hiver.

I.5.2. Selon la configuration de la lucarne (type de lucarne)

La forme du toit (lucarne ou skylight) est un élément essentiel de la conception de l'atrium. Puisque le toit reçoit de la chaleur solaire en fonction de sa couleur, sa matière (sa transmission, la réflexion) ainsi que ses ouvertures.

La nature du toit (système fenestration) influe sur la performance thermique. Et aura même une incidence sur la conception finale en termes de consommation d'énergie et la performance d'enveloppe, en ce qui concerne les niveaux d'éclairage naturel interne, les températures internes, le flux d'air et la performance acoustique, ayant une influence sur l'environnement intérieur (Marzieh Kazemzadeh, 2015).

La lucarne est un excellent élément qui laisse passer la lumière extérieure à l'intérieur, Il est conçu de manière d'être plus fonctionnel avec une possibilité de permettre d'être ouvert et fermé à volonté (suivant les besoins)⁵. Certaines de ses formes les plus courantes comprennent :

I.5.2.1.Puit de lumière avec une seule pente

C'est comme son nom l'indique, puits de lumière avec une seule inclinaison. Il est considéré comme la conception de puits de lumière la plus simple (**figure I.24.**).

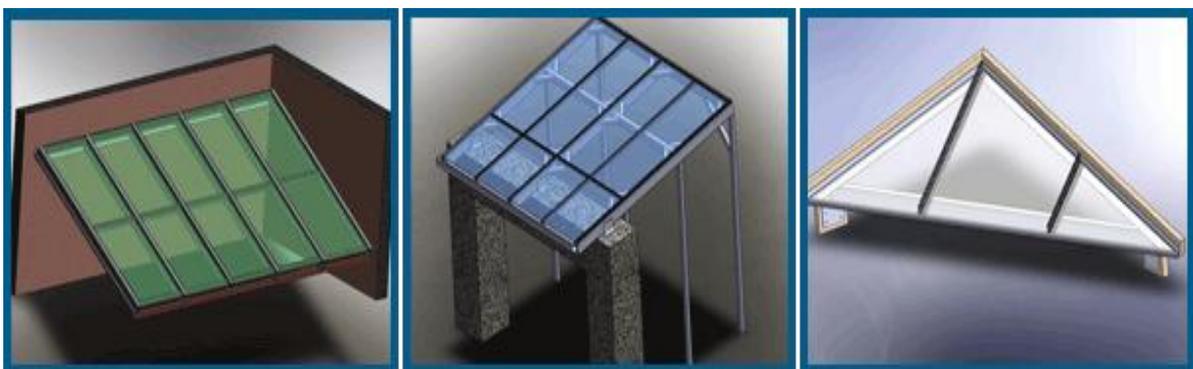


Figure I.24. Puit de lumière avec seule pente
(Source: <http://spectrumskyworks.com/products/skylights/>)

⁵ (En ligne) : <http://spectrumskyworks.com/products/skylights/>.

I.5.2.2.Puit de lumière de deux pentes

Similaire à la lucarne d'une pente unique, sauf que la double pente à deux plans (**figure I.25.**).



Figure I.25. Puit de lumière de deux Pentes.
(Source: <http://spectrumskyworks.com/products/skylights/>).

I.5.2.3.Puit de lumière sous forme d'un berceau

Les puits de lumière sous forme d'une voûte en berceau, Sont traditionnellement utilisés pour des applications notamment dans les espaces où il y a une activité commerciale, résidentielle pour couvrir les passerelles (**figure I.26.**).



Figure I.26. Puit de lumière sous forme d'un berceau.
(Source : <http://www.solarinnovations.com/skylights/commercial-skylights/>).

I.5.2.4.Puit de lumière sous forme d'un Dôme avec des rayons segmentés

Lucarnes Dôme est une forme très populaire depuis les temps anciens, et c'est un élément classique dans l'architecture. Cette forme a gagné sa popularité au cours de l'âge d'or, où ils sont devenus un symbole de la richesse (**figure I.27.**).



Figure I.27. Puit de lumière sous forme d'un Dôme avec des rayons segmentés.
(Source : <http://www.solarinnovations.com/skylights/commercial-skylights/>)

I.5.2.5. Puit de lumière avec un baril voûtes et dômes segmenté

Ces puits de lumière en forme de tonneau sont un peu plus complexes que la voûte en berceau simple. Chevrons en aluminium sont utilisés pour le cadre, qui est fabriqué et ensuite expédié sur le site où le vitrage effectué (**figure I.28.**).



Figure I.28. Baril voûtes et dômes Segmenté.
(Source : <http://www.solarinnovations.com/skylights/commercial-skylights/>).

I.5.2.6. Puit de lumière sous forme d'une pyramide

Les lucarnes pyramidales sont l'une des formes les plus anciennes connues, elles ont été imitées dans la vie quotidienne pour des milliers d'années, elles sont inspirées des anciens pyramides Egyptiens. La forme d'une lucarne pyramidale est une option de conception abordable. Cette forme permet le ruissellement de la neige, comme elle peut être utilisée dans une application commerciale ou résidentielle (**figure I.29.**).



Figure I.29. Puit de lumière sous forme d'une Pyramide.
(Source: <http://spectrumskyworks.com/products/skylights/>)

I.5.2.7. Puit de lumière sous forme de polygones avec des rayons segmentés

Ceci est un puits de lumière en forme de polygone qui permet la création d'une forme attrayante. Tous les éléments de structure sont soudés ensemble avant l'installation du vitrage (figure I.30.).

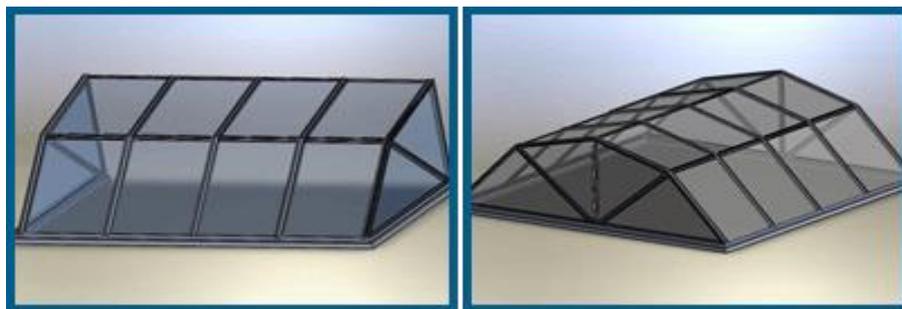


Figure I.30. Puit de lumière sous forme de polygones avec des rayons segmentés.
(Source: <http://spectrumskyworks.com/products/skylights/>)

-Comme il y a aussi d'autres configurations (figure I.31.) :

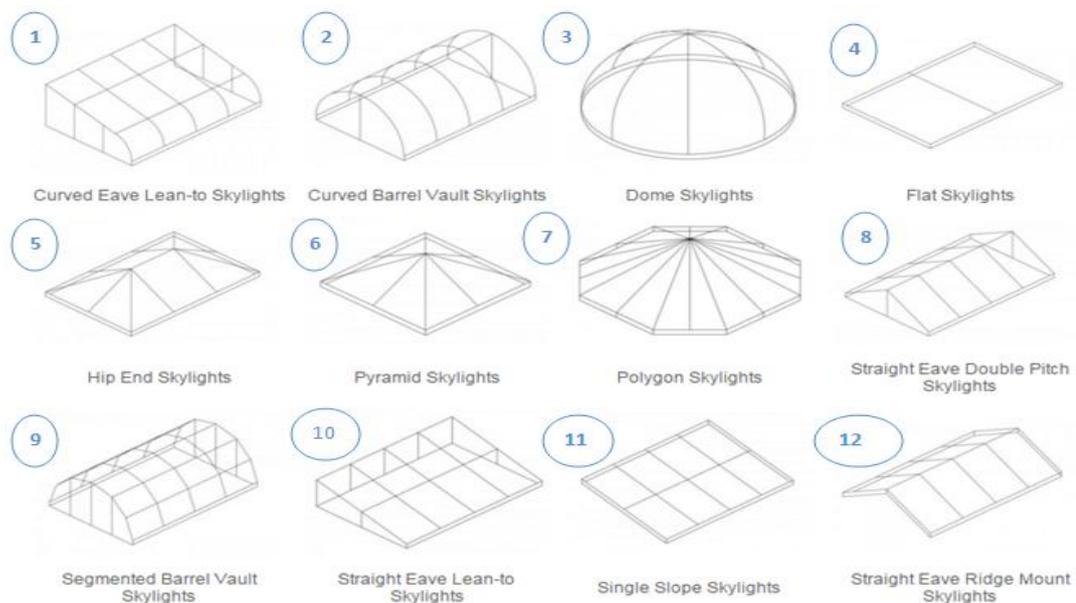


Figure I.31. Différents modèles des lucarnes.
(Source: <http://spectrumskyworks.com/products/skylights/>)

I.5.3. Selon la manière d'ouverture ou mobilité du toit

Avec le développement de la technologie de construction et l'apparition des nouveaux procédés dans l'architecture, et afin d'assurer le bon fonctionnement et un confort optimal des usagers à l'intérieur du bâtiment qui incorpore un atrium, on constate des nouvelles techniques pour garantir l'ouverture et la fermeture du toit que se soit manuel, ou automatique (électrique suivant une commande).

Donc on peut citer les différents types d'ouverture du toit d'un atrium soient:

I.5.3.1. Lucarne (Toit d'atrium) qui s'ouvre manuellement

C'est la possibilité d'ouvrir ou de fermer le toit ou bien les fenêtres qui se trouvent sur le toit de l'atrium manuellement suivant les besoins des usagers (**figure I.32.**).



Figure I.32. Skylight qui s'ouvre manuellement

(Source : <http://www.livingdaylight.co.uk/opening-roof-applications.htm>).

I.5.3.2. Lucarne télécommandée (Lucarne rétractable électriquement)

Skylight (la lucarne) rétractable favorise la ventilation pour réduire la quantité de l'air stagnant, en lui permettant de parcourir naturellement dans un espace. Lorsque l'air stagnant est retiré d'un environnement et s'est échappé par cette ouverture, les germes et les bactéries dans l'air sont fortement réduits. Cette ventilation adéquate pourrait être contrôlée en fonction des besoins saisonniers. Dont les matériaux peuvent résoudre les problèmes de la préservation de la lumière, ce qui réduit le gain de chaleur et d'isolation contre les pertes de chaleur et accroître la productivité.⁶

Ces panneaux de toit rétractables sont simples, ils peuvent être actionnés avec un système de câble motorisé, ayant la capacité de fonctionner à gauche et à droite. Ce type de puits de lumière peut être utilisé indépendamment ou dans le cadre d'un groupe et peut être utilisé pour

⁶ (En ligne): <http://eag.my/2011/02/atrium-roof-design-mainstay-development/>

garantir une ventilation naturelle et qui pour fournir un environnement en plein air et en contact visuel avec le ciel. Par rapport aux événements de façade, les lucarnes rétractables sont beaucoup plus importantes et performantes en matière de ventilation naturelle.⁷

Un puits de lumière rétractable, est gardé la plupart du temps fermé pendant l'hiver et partiellement ouvert pendant l'été. Mais puisque le coût est une préoccupation, et des modèles rétractables ont tendance à aggraver le prix.

Recob, Swinerton et Walberg : «À l'origine, le puits de lumière a été conçu pour être fixé, mais il faudrait ériger exigé beaucoup d'échafaudage intérieur, qui à son tour aurait obstrué notre travail. Nous avons découvert que la lucarne rétractable pourrait être installée entièrement sur le toit. Cela seul nous a sauvés du temps et de l'argent. »

Ces skylights qui se trouvent sous forme d'une seule unité ou une combinaison de deux unités, glissent sur une raille soit dans un seul sens ou en deux sens opposés, le déplacement du skylight se fait par le biais d'une translation afin de garantir une ouverture partielle ou complète notamment pendant le bon temps (**Tableau I.1.**). On trouve cet exemple clair dans les skylights sous forme d'un berceau ou dôme.

⁷ (En ligne): www.solarinnovations.com/skylights/commercial-skylights/

Tableau I.1. Différents types d'ouverture du skylight (Source: www.rollamatic.com)

| Skylights d'une seule unité qui glissent dans un seul sens | Skylights rétractable sur une partie fixe dans un seul sens |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| <p>SS-1, SS-2, SS-3, SS-4, SS-5</p> | <p>EO-1, EO-2, EO-3, EO-4</p> |
| Skylights rétractable dans deux sens opposés | Skylights rétractable dans deux sens opposés sur une partie fixe |
| <p>BP-1, BP-2, BP-3, BP-4, BP-5</p> | <p>BPS-1, BPS-2, BPS-3, BPS-4, BPS-5</p> |
| Skylight rétractable en segments | |
| <p>OD-1, OD-2</p> | |

I.5.3.3.Skylight pliable

Lorsque la couverture d'atrium est faite par des matériaux qui puissent se plier en éventail à titre d'exemple ETFE (éthylène tétra fluoro éthylène) ou un autre matériau, ils peuvent également être utilisés pour la rénovation de bâtiments historiques et traditionnels existants par le biais de couvrir des cours. Sa possibilité de pillage permet de profiter de la cour et de l'atrium (**figure I.33.**) .



Figure I.33. Maison des banques et des institutions financières Munich, en Allemagne.

(Source: <http://lopressroom.com/sefar/convertible-sefar-architecture-tenara-fabric-roof-adds-modern-flexibility-historic-hvb-forum>).

I.5.4.Selon le matériau de la couverture

I.5.4.1.Couverture en verre

Le plus souvent, la couverture du toit d'atrium est en verre puisqu' il a des propriétés optiques qui influencent évidemment sur la qualité et la quantité de la lumière entrante, et donc les économies d'énergie en matière l'éclairage (**figure I.34.**). Les propriétés thermiques affectent les charges thermiques de chauffage et de refroidissement. Les deux principaux types de couvertures utilisées pour les atriums sont les couvertures transparentes ou translucides. Ces dernières pouvant être claires, teintées ou réfléchissantes. Les vitrages clairs transparents transmettent presque intégralement la lumière naturelle et procurent la vue la plus naturelle du ciel. Cependant, ces matériaux laissent aussi passer les rayons directs du soleil. Ce rayonnement direct peut être bloqué, dévié ou diffusé par des objets intérieurs pour éviter l'inconfort possible des occupants.

Les vitrages translucides diffusent le rayonnement direct, mais ne permettent pas une vue directe du ciel. Ils permettent cependant de se rendre compte des variations importantes du temps à l'extérieur. De façon à fournir une lumière uniforme, les matériaux doivent être hautement diffusants. Cependant, ces derniers ont tendance à avoir une transmission plus

faible qui peut réduire de façon importante les niveaux d'éclairage dans des conditions de ciel couvert. S'ils ont une grande transmission, ils ne sont plus de très bons diffuseurs de la lumière.

Comme il y avait aussi une couverture en verre revêtue de couches minces. Ces revêtements «intelligents» autorisent à la lumière du soleil visible de pénétrer tout en bloquant l'énergie solaire infrarouge et ultraviolet pendant l'été, et réduit les pertes de chaleur en réfléchissant la chaleur côté pièce à l'intérieur pendant l'hiver.⁸

Groupe Heschong Mahone (2008) a élaboré quelques paramètres du choix du matériau de vitrage :

- Combien de lumière transmise à travers le vitrage mesuré par la visible transmission (T vis).
- Combien de lumière du soleil de faisceau direct diffusée mesurée par la transparence du matériau.
- Combien de chaleur rayonnante du soleil est transmise à travers le vitrage mesuré par le coefficient de gain de chaleur solaire (SHGC) ou le coefficient d'ombrage moins précis (SC).
- Quelle quantité de chaleur de l'air va passer à travers le vitrage mesuré par la valeur R de la matière et la valeur de U de l'ensemble de l'unité de puits de lumière.
- D'autres propriétés de vitrage sont également importants dans la sélection, la résistance à la rupture ou la fissuration, et comment le matériau va vieillir au fil du temps et est ce qu'il peut perdre quelques unes de ses propriétés décrites ci-dessus.

Un matériau transparent obstruant la majeure partie de la lumière visible qui le frappe. Pourtant les verres teintés font dans une certaine mesure, avec un exemple extrême (gris foncé) transmettre seulement 14 % de la lumière visible.



Figure I.34. Hôtel Hesperia-bercelone.

(Source: <http://www.bellapart.com/fr/realisations/structures-verre-acier/55-hesperia-tower-hotel-atrium>).

⁸ (En ligne): <http://eag.my/2011/02/atrium-roof-design-mainstay-development/>

I.5.4.2.Couverture en ETFE

ETFE (éthylène tétra fluoro éthylène) est un matériau léger de en utilisé dans des applications de construction. Il a gagné sa popularité principalement en raison de sa transmission de lumière du jour, il a une meilleure protection à l'excès du rayonnement solaire et garantit l'économie d'énergie. Il était utilisé pour l'industrie aéronautique (Harris Poirazis et al ,2009).

I.5.4.2.1.Avantages

- Résistance à la déchirure extraordinaire.
 - Il est toujours fonctionnel avec une transmission lumineuse élevée.
 - A gré comme respectueux de l'environnement, architecture esthétique garantie coût efficace, il n'est pas surprenant qu'il a été inclus à la fois sous forme de plis et feuille unique.
 - Il assure la translucidité de la membrane, garantit un sentiment d'un abri contre les intempéries.
 - Parallèlement à son faible poids, le principal avantage de l'ETFE est sa grande translucidité. La transmission jusqu'à 95% de lumière.
 - ETFE est un matériau extrêmement durable, des recherches approfondies en laboratoire et sur le terrain ont suggéré que ce matériau a une durée de vie supérieure à 40 ans.
 - D'ETFE comme un matériau de construction à long terme se situera dans le développement de divers revêtements de haute technologie et des méthodes d'impression qui modifieront pas seulement la translucidité, mais aussi les propriétés thermiques et acoustiques du tissu lui-même.
- ETFE est de plus en plus spécifiée sur un large éventail de projets: des installations sportives..... ect.

I.5.4.2.2.Principes

Une feuille d'ETFE est essentiellement un polymère plastique est créée en prenant la résine polymère et extrusion en un film mince. Il est largement utilisé comme un remplaçant du vitrage en raison de ses propriétés de transmission lumineuse élevée.

On constate l'utilisation d'ETFE dans les jardins botaniques, des jardins zoologiques, des piscines, et espaces d'exposition. Cependant, ETFE est de plus en plus trouve sa place dans des bâtiments plus traditionnels comme couverture pour des cours, des centres commerciaux, des atriums et des magasins. Dont son utilisation dans les bâtiments offre environ 95% de transmission de lumière (Harris Poirazis et al ,2009).

Pesant environ 1% du poids du verre, seule nappe membrane ETFE et de feuille d'ETFE sont à la fois extrêmement légères. Cela permet une réduction des travaux de structure. Cette exigence réduite pour construction métallique, offre un avantage clé lors du remplacement de vitrage dans les anciennes structures pour répondre aux codes de construction actuels, par exemple chemins de fer, toits de la station. Mais il ya beaucoup plus de développement à faire.

Les ingrédients d'ETFE comme un matériau de construction à long terme se situeront dans le développement de divers revêtements de haute technologie et des méthodes d'impression qui ne modifieront pas seulement la translucidité, mais aussi les propriétés thermiques et acoustiques du tissu lui-même.

I.5.4.2.3. Coté acoustique

Le bruit écho aujourd'hui échappe tout simplement à travers le toit, Cependant lorsque l'exclusion de bruit est nécessaire par exemple les aéroports, les bruits de la circulation extérieure et de fortes pluies et grêle, ETFE lutte contre le bruit. Ils sont maintenant incorporés dans des structures externes pour améliorer l'acoustique.

I.5.4.2.4. Coté lumineux

ETFE permet de transmettre la lumière visible (**figure I.35.**). Les systèmes actuels ont des niveaux d'isolation similaires aux produits de vitrage classiques de sorte que la recherche est pour des produits qui vont considérablement améliorer sur ces valeurs (**Tableau I.2.**). Tous ces développements vont déplacer ETFE dans les zones de produits plus large.



Figure I.35. ETFE .

(Source: <http://www.architen.com/articles/etfe-the-new-fabric-roof/>).

Tableau I.2. Comparaison entre ETFE et les autres matériaux
(Source: <http://www.architen.com/materials/pvc-glass/>)

| | Exterior / Interior | Life Expectancy | Translucency | Recyclable | Frequency of Maintenance | Cost | Fire Rating |
|----------------|---------------------|-----------------|--------------|------------|--------------------------|-------|-------------|
| PVC Polyester | Exterior | ★★★★ | ★ | Yes | ★★★ | ★★ | ★★★ |
| Silicone Glass | Both | ★★★★★ | ★★★ | Yes | ★★ | ★★ | ★★★★★ |
| PTFE Glass | Exterior | ★★★★★ | ★ | No | ★★ | ★★★★ | ★★★★★ |
| ETFE | Exterior | ★★★★★ | ★★★★ | Yes | ★ | ★★★ | ★★★★★ |
| Tenara | Exterior | ★★★★★ | ★★★ | No | ★★ | ★★★★★ | ★★★★★ |
| PVC Glass | Interior | ★★★ | ★★ | No | ★★★ | ★ | ★★★★★ |
| Stretch Fabric | Interior | ★★ | ★★ | No | ★★★ | ★★ | ★★★★★ |

I.5.4.3. Vitrage LCP

LCP sont les feuilles acryliques transparentes coupées par le laser. La théorie optique de ces panneaux (LCP) a été développée en 1993, commencée après une méthode pratique de production d'un panneau de réacheminement léger en faisant des coupes de plastique acrylique transparent avec le laser qui a été breveté en 1988. Le vitrage LCP est utilisé comme une solution de système du captage de la lumière naturelle passive (Azni Zain Ahmed et al ,2008), l'inclusion de ce type de vitrage peut produire efficacement la lumière du jour. Il a été constaté que la modification du toit de l'atrium de manière innovante peut positivement créer une performance efficace de la lumière du jour dans un bâtiment et d'obtenir des économies d'énergie et un environnement du travail durable (**figure I.36.**).



Figure I.36. Lucarne avec LCP sélectifs angulaires
(Source: John Ashley Mabb, 2011).

Azni Zain Ahmed et al (2008) , conclut que le toit des atriums avec un vitrage double classique est modifié en utilisant un vitrage angulaire sélectif, Le panneau découpé au laser (LCP) pourra améliorer la performance de la lumière du jour dans les bâtiments de l'atrium sous un ciel de climat tropical. Comme il a été trouvé qu'il était convenable pour tous les autres climats, en fournissant une meilleure lumière du jour, une bonne performance thermique et une disponibilité de regarder l'extérieur (Kischkoweit-Lopin, 2002). le vitrage LCP assure moins de gain d'énergie solaire à travers le milieu de la journée se traduira par une température plus basse et une moindre stratification (Mabb John Ashley, 2011).

La plupart des recherches effectuées sur l'utilisation des LCP a mis l'accent sur l'enquête des éléments de propriétés de transmission bidirectionnels dans diverses applications (**tableau I.3.**), telles LCP comme store vénitien, fenêtres verticales et conjointement avec des étagères lumineuses, triforium (Thanachareonkit et al, 2006 ; Maamari et al, 2006 ; Andersen et al, 2005; Cutler et al ,2008 ; Boer, 2006; Smith et al, 2001;Andersen et al,2005).

Tableau I.3. Critères et performance du LCP (Source : John Ashley MABB, 2011).

| Méthode de production | Critères | Performance |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fabrication des découpes au laser dans de feuilles de plastique acrylique brut extrêmement minces. | <ul style="list-style-type: none"> - En tant que miroir à l'intérieur de l'acrylique, il dévie une partie de la lumière entrante. - Angle sélectif réflectance. - Transparence. - illumination. - Homogène. - La distribution uniforme de la lumière, contraste élevé. - Peut être attaché à la fenêtre ou puits de lumière vertical. | <ul style="list-style-type: none"> - Convient à tous les climats. - Haute efficacité du rejet de la chaleur rayonnante. - Effets d'éblouissement faible. - Minimiser la surchauffe. - La réduction de la charge de refroidissement de pointe. - Apporter la lumière plus profondément dans l'espace. |

On a constaté que, le LCP augmente le niveau de lumière par rapport au verre clair. Grâce à cette amélioration, l'atrium peut bien être potentiel d'économie de la lumière artificielle.

Il est prouvé qu'avec des pièces jointes LCP, il a un fort potentiel sur l'économie d'énergie pour être incorporé dans les immeubles à caractères commerciales dans le cadre de la forme architecturale dans la réalisation de bâtiments.

I.5.4.4. Polycarbonate

Les matières plastiques courantes sont les acryliques, les polycarbonates et les fibres de verre. Ces matériaux sont disponibles dans un certain nombre de couleurs, du blanc clair et translucide, à bronze et gris. Ils viennent aussi dans une variété d'épaisseurs et le nombre de couches. Toutes ces variables affectent la performance de la lucarne (Heschong Mahone, 1998).

Une plaque polycarbonate alvéolaire un remarquable matériau de vitrage isolant fabriqué à partir de polycarbonate résistant aux détériorations et muni d'une protection co-extrudée de longue durée contre les effets des rayons UV, ayant une qualité supérieure offrant une excellente transmission de la lumière, une résistance exceptionnelle aux chocs et un remarquable rapport résistance / poids. Ainsi que sa superbe clarté optique et ses excellentes performances en cas d'incendie. Avec ses avantages par rapport aux autres matériaux de vitrage, il offre de nombreuses applications domestiques, commerciales, sportives et industrielles (DHAZE) et (Brett Martin Plastic Sheets) (**figure I.37.**) .

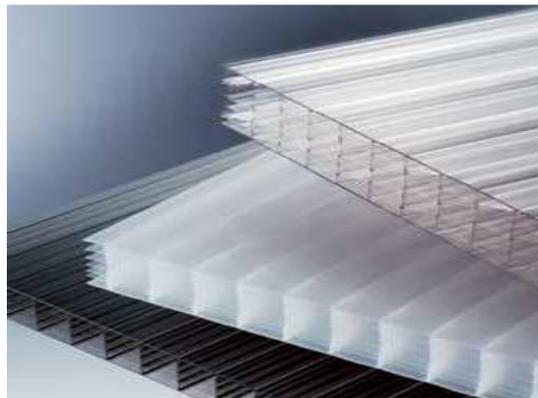


Figure I.37. Vitrage en polycarbonate alvéolaire.
(Source: www.dhazeplastique.com).

I.5.4.4.1. Avantages du matériau

-Robustesse et résistance aux chocs

La plaque de vitrage en polycarbonate alvéolaire assure une résistance aux chutes de grêle, les chocs et les actes de vandalisme ou les dégâts accidentels subis par le vitrage en toiture qui occasionnent des réparations dangereuses à effectuer et onéreuses (Brett Martin Plastic Sheets). Donc le polycarbonate alvéolaire offre une résistance aux chocs 200 fois supérieure à celle du verre. Cette caractéristique se maintient sur une large gamme de températures et pendant toute la durée de vie des plaques avec une durée de vie jusqu'aux 10 ans.⁹

⁹ (En ligne): www.dhazeplastique.com

La plaque de vitrage en polycarbonate alvéolaire présente une résistance exceptionnelle aux chocs. Elle est la solution de vitrage idéale pour un large éventail d'applications extérieures .

Elle conserve toutes ses propriétés de robustesse sur une large plage de température. Ce produit convient parfaitement pour une utilisation à des températures extrêmes (chaudes ou froides). Donc elle est plus solide que le verre.

Elle sert à :

- Réduire les coûts de réparation et permet de maintenir la sécurité des bâtiments en offrant un accès au toit
- Solution idéale pour un large éventail d'applications, notamment les usines et bâtiments industriels, les serres et bâtiments agricoles ou les bâtiments et toitures exposés à des températures extrêmes (Brett Martin Plastic Sheets).

-Protection Anti-UV et contre les intempéries

Le polycarbonate est revêtu sur les deux faces ou sur une seule d'entre elles d'une couche protectrice

Co-extrudée très efficace. Cette couche empêche les rayons UV de pénétrer. Il protège les personnes

travaillant dans le bâtiment en filtrant plus de 98 % des rayons UV nocifs pour la santé.

Les plaques protègent contre les intempéries et le jaunissement causé par une exposition prolongée aux rayons du soleil et prolonge la durée de vie de la plaque. Par ailleurs, La plaque de vitrage en polycarbonate alvéolaire protège aussi contre les effets à long terme des intempéries. Elle convient parfaitement aux applications en extérieur. La plaque conserve toutes ses propriétés et sa couleur même sous des températures extrêmes.

Le produit avec une protection U.V. sur le côté extérieur (2 côtés) qui garantit la résistance au vieillissement même après une longue exposition au soleil et aux agents atmosphériques.

-Isolation thermique et éco-énergie

La structure alvéolaire offre un vitrage à isolation thermique, en utilisant des parois multiples, en diminuant sensiblement les pertes de chaleur. La perte de chaleur est normalement identifiée comme valeur "K" (transmission). L'installation d'une plaque de Polycarbonate fait bénéficier au bâtiment un éclairage naturel important tout en réduisant les déperditions de chaleur par le vitrage. Ce même produit bénéficie d'une structure beaucoup plus éco-énergétique qui se décline sous un large choix de structures et d'épaisseurs jusqu'à

55mm. Le produit permet d'atteindre des valeurs U qui peuvent descendre jusqu'à 0,83W/m² K en réduisant l'empreinte du carbone du bâtiment.

- Large choix de structures alvéolaires offrant un vitrage à isolation thermique.
- Réduction de l'utilisation d'un éclairage artificiel et des déperditions de chaleur pour un meilleur bilan éco-énergétique général du bâtiment.

Enfin on peut dire que l'installation de plaques en polycarbonate est un moyen efficace d'empêcher la perte de chaleur. Ces avantages augmentent lorsque les plaques sont installées comme vitrage secondaire à l'intérieur ou à l'extérieur d'un vitrage traditionnel.

-Transmission de la lumière et contrôle des rayons du soleil

Les plaques transparentes permettent d'atteindre des hauts niveaux de transmission lumineuse et de contrôler le rayonnement solaire et réduisent l'accumulation de chaleur dans les bâtiments.

La plaque de vitrage en polycarbonate alvéolaire transparente permet de bénéficier d'environ **80 %** de transmission de la lumière. Les besoins d'éclairage artificiel sont donc moindres tout comme le sont les coûts de consommation d'énergie. S'utilise pour des couvertures, des bardages, des serres, des lanterneaux, des vérandas, des verrières et des faux-plafonds.

- le polycarbonate sous une palette de teintes adaptées à différents degrés de contrôle des rayons du soleil.
- Options de teinte opale ou de double teinte également disponibles pour une lumière d'ambiance plus douce.

Ces plaques permettent de contrôler le rayonnement et une réflexion des rayons solaires permettant de réduire l'accumulation de chaleur solaire et réduisant l'accumulation de chaleur dans les bâtiments. En reflétant une lumière diffusée, Ces propriétés restent valables pendant toute la durée de vie de la plaque.

-Comportement au feu

La plaque en polycarbonate satisfait au plus haut niveau de classification de la norme européenne (EN13501). En cas d'incendie, elle se ramollit et s'ouvre afin de permettre à la fumée, à la chaleur et aux gaz de s'échapper. Cette propriété d'évacuation permet de limiter les dégâts dans le bâtiment.

La plaque de vitrage en polycarbonate alvéolaire offre des propriétés isolantes exceptionnelles et une forte résistance aux impacts. Ainsi qu'une transmission excellente de la lumière et offre un aspect attrayant.

Conclusion

Nous avons montré brièvement à travers ce premier chapitre un aperçu historique sur l'évolution des atriums en architecture. Cet aperçu nous a permis de présenter l'atrium traditionnel qui n'est pas une invention de l'architecture contemporaine car il existait déjà sous forme de cour non couverte dans les maisons datant de l'époque grecque et romaine, passant par des galeries caractérisant l'époque du fer et de verre arrivant à nos jours, où ils sont influencés par les technologies modernes dans les bâtiments résidentiels et commerciaux.

Après ce passage historique, nous avons cité les objectifs d'inclusion d'un atrium dans un bâtiment, qui s'inscrit dans trois dimensions essentielles (spatiale, énergétique et patrimoniale) en agissant sur les différentes ambiances internes. L'ambiance la plus remarquable est l'ambiance thermique qui concerne les températures de l'air et sa répartition. La deuxième est l'ambiance aéraulique qui caractérise le mouvement de l'air sans oublier l'ambiance lumineuse puisque c'est son objectif principal de création en tant qu'il était un puits de lumière ainsi que sa configuration qui permet d'assurer une isolation phonique contre les bruits indésirables qui proviennent de l'extérieur. Nous avons conclu par le vécu la sensation de la protection de sécurité et du bien être.

Ces ambiances sont constantes dans les différentes typologies d'atriums qui ont été adoptées en imitant l'esthétique en même temps, faisant usage des matériaux nouveaux et des solutions adéquates, afin d'augmenter le niveau de confort à l'intérieur. Nous avons ressorti des paramètres pour classer les atriums : tout d'abord suivant la géométrie de l'atrium et de la lucarne qui peut avoir plusieurs configurations. Puis, nous avons discuté des différents systèmes d'ouverture du toit soit manuel, ou électrique (rétractable qui se déplace sur rails à partir d'une télécommande) ou bien skylights pliables. Ce dernier est utilisé surtout pour la rénovation des anciens édifices et la couverture des cours. En dernier lieu, nous avons classé les skylights suivant leurs matières de couverture. Puisqu'il y avait une diversité de matériaux utilisés pour la couverture du toit. Tout d'abord le verre, c'est la matière la plus utilisée, nous avons constaté l'apparition d'une nouvelle matière : C'est le LCP caractérisé par son captage de lumière naturelle, comme il réduit aussi la stratification thermique dans le bâtiment, il a un effet d'éblouissement faible. Ce type de vitrage est convenable pour tous les climats. Nous constatons aussi l'émergence des nouveaux matériaux tels que : ETFE qui est largement

utilisé et qui est caractérisé par ses propriétés de transmission lumineuse élevée ,et sa légèreté. Le polycarbonate: C'est la matière qui a connu un grand succès ces dernières années puisqu'elle offre une résistance aux chocs 200 fois supérieure à celle du verre et filtrant plus de 98 % des rayons UV nocifs pour la santé. Elle permet d'atteindre de hauts niveaux de transmission lumineuse allant jusqu'à 80 %.

CHAPITRE II
COMPORTEMENT
THERMO-AÉRAULIQUE
DES ATRIUMS

II.1.COMPORTEMENT THERMIQUE DES ATRIUMS



Introduction

Le confort thermique, dans les espaces de vie et de travail, constitue une demande reconnue et justifiée, à laquelle le concepteur doit apporter des solutions durables notamment lors de la conception afin d'éviter toute opération de réhabilitation thermique prématurée (Mazari Mohammed, 2012). Ces grands volumes vitrés sont caractérisés par leurs aspects énergivores en matière de consommation énergétique. Cela est dû à la surface de leurs toits vitrés, qui porte la lumière naturelle et des apports solaires directs qui sont bénéfiques durant la période hivernale puisqu'ils assurent un bien-être des usagers. Tandis que pendant la période estivale, ils sont connus comme une source de surchauffe qui provoque l'inconfort. Donc, il faut trouver un compromis entre les deux périodes lors de la phase conceptuelle.

II.1. Notions de base

Pour mieux comprendre l'ambiance thermique dans un atrium, il faut d'abord comprendre les principaux indicateurs caractérisant cette ambiance, nous pouvons alors citer:

II.1.1. Zones thermiques

Certains chercheurs ont identifié deux zones à l'intérieur de l'atrium, une basse et une haute, dans lesquelles la stratification thermique évolue de différentes manières (Jones et Luther, 1993). Dans la première zone une différence de températures de 1°C est enregistrée alors que dans la seconde zone 9°C sont enregistrées. Les problèmes de stratification durant les périodes de pics de températures, doivent être soigneusement étudiés si l'on veut éviter une dépendance en climatisation forcée (Daoudi. N.S, 2013).

II.1.2. Gradient thermique

Il correspond à la valeur numérique de la stratification thermique, puisqu'il calcule la différence entre la température trouvée en partie haute et celle enregistrée en partie basse, sur une même colonne (suivant un axe) (**figure II.1.**), selon la formule suivante (Daoudi. N.S, 2013).

Calcul du gradient thermique : $\Delta T = T_h - T_b$ (°C) (éq. II.1)

Où :

T_h : est la température des parties hautes.

T_b : est la température des parties basses.

La stratification thermique dans les espaces vitrés peut être montrée comme un index qui est défini en estimant la température pour chaque sol comme équation suivante :

Température indice de notation = $(T_{\max} - T_{\min}) / \Delta t$ (éq. II.2).

Où

t: c'est le temps de l'intervalle de données enregistrées entre température maximum (T_{\max}) et minimums (T_{\min}), C'est évident que la chaleur a été accumulée dans la partie supérieure d'un atrium

Le gradient de température par rapport à la hauteur est un autre facteur important (Qunfei Zhu et Da Yan,2007).

Gradient de température = $\Delta T = \Delta h$ (éq. II.3).

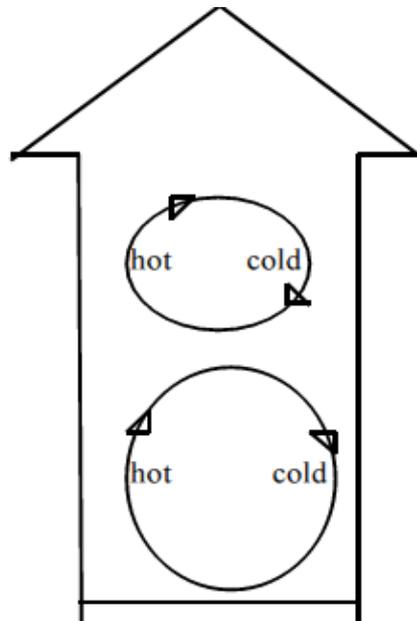


Figure II.1. Circulation d'air convectif et la création de la stratification.
(Source : Qunfei Zhu1 et Da Yan1,2007).

II.1.3. Supplément de température solaire, STs

C'est le résultant de la différence entre la température extérieure et la température de l'atrium. Il est un indicateur de la fluctuation de l'environnement thermique à l'intérieur de l'atrium mais surtout de l'influence directe de l'environnement thermique extérieur (Izard, 1997).

II.1.4. Stratification thermique

La stratification de la température est une caractéristique importante des grands espaces vitrés comme un atrium, où l'environnement thermique intérieur n'est pas généralement uniformément réparti, En raison de la grande surface de vitrage et le grand volume d'air interne (**figure II.2.**).

Elle est définie par une variation de température entre les différentes zones de l'atrium, plus spécialement entre les parties basses chaudes et les parties hautes, très chaudes. Il s'agit de la stratification thermique verticale car ce phénomène induit une augmentation de la température de l'air au fur et à mesure que l'on approche de la surface de la couverture vitrée qui pourrait être très chaude toute l'année. C'est processus de convection et la pénétration directe des radiations solaires. Par conséquent des différences de température entre le point le plus bas et le plus élevé pourraient être autant que 7 degrés (Daoudi .N. S, 2013; Abd Halid Abdullah et al ,2009).

Tous ces problèmes thermiques créeraient des conditions défavorables et causeraient un grand inconfort thermique pour les occupants, en particulier sur le haut niveau d'atrium (Abd Halid Abdullah,2009).

Ce phénomène est difficile à contrôler, à cause de la répartition des gains de chaleur solaire interne. Et le mouvement de l'air dans l'atrium et les espaces adjacents ont également une influence significative sur le confort interne dans cet espace (Ida Bryn et Per Arne schiefloe, 1996).

Les différences de densité entre l'air froid et chaud créent des différences de pression verticale, entraînant le déplacement de l'air du bas vers le haut (connu comme effet de cheminée), s'il ya des ouvertures en bas et en haut. L'effet du tirage est plus prononcé beaucoup plus dans les climats froids, en raison de grandes différences de température entre l'intérieur et l'extérieur et le rayonnement solaire direct est bénéfique.

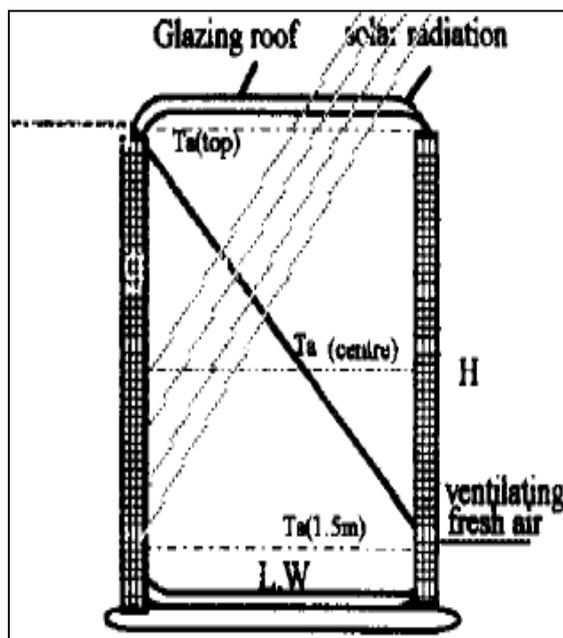


Figure II.2. Stratification thermique.
(Source: AYOUB. A.N et IZARD .J.L,1994).

II.2. Différents modes de transfert de chaleur dans un atrium

Les phénomènes physiques relatifs au transfert de chaleur dans les atriums sont :

II.2.1. Echanges radiatifs

Le rayonnement solaire dans un atrium a des influences sur le confort thermique et la consommation d'énergie. Il est difficile de faire des estimations des gains solaires en raison des bâtiments et de la complexité géométrique du mouvement solaire (Ida Bryn et Per Arne schiefloe, 1996).

L'échange radiatif est le mode d'échange de chaleur à distance entre deux corps par ondes électromagnétiques. On distingue deux catégories selon la bande d'émission : les échanges courtes longueurs d'onde (rayonnement solaire) non pris en compte dans les bâtiments, et les échanges grandes longueurs d'onde (rayonnement infrarouge) avec les parois qui entourent le bâtiment.

Le transfert de chaleur par rayonnement est très prononcé dans les atriums. La lumière du soleil entre au sein d'espace de l'atrium et fait chauffer les objets intérieurs et émet une énergie électromagnétique qui est absorbée et réfléchiée par d'autres surfaces. En fonction de l'émissivité et des températures de ces surfaces, le transfert de chaleur radiatif peut être significatif surtout dans les grands systèmes d'atrium (Kitagawa .A, 2011).

Étant donné que le transfert de chaleur par rayonnement dépend fortement de la température de surface des parois, il est nécessaire de prévoir les températures des parois qui sont affectées par les conditions thermiques extérieures et intérieure (Xin Wanga et al, 2009).

Abdelaziz Laouadi et Morad Atif montrent que:

$$G_{net} = G_{in} - G_{ext} = \sum G_{surf} \dots\dots\dots(\text{éq.II.4}).$$

G_{in} = le rayonnement solaire moyen transmis sur le toit (mesuré)

G_{ext} = le rayonnement solaire moyen sortant sur le toit (mesuré)

G_{surf} = le rayonnement solaire absorbé par la surface intérieure de la paroi (prédite).

II.2.2. Echanges convectifs

Les atriums ont généralement des échelles très importantes et ont le potentiel de créer des flux de convection naturels qui sont turbulents (Oosthuizen et Lightstone, 2009).

La convection correspond aux échanges de chaleur entre le corps et l'air entourant. Pour un bâtiment qui incorpore un atrium, les espaces adjacents interagissent avec l'espace de l'atrium à travers l'échange de chaleur par convection et la pénétration de la lumière naturelle

à travers les fenêtres dans les murs intérieurs de l'atrium. L'espace atrium peut gagner ou perdre de la chaleur par convection à travers les coursives et les portes qui relient l'atrium aux espaces adjacents (Laouadi .A et al, 2002). Tandis que les pertes de chaleur à travers le vitrage dans un atrium varient en fonction de la convection et le rayonnement des longues ondes vers le ciel. Donc le transfert de chaleur de surface est fait par rayonnement et convection. (Ida Bryn et Per Arne schiefloe, 1996). Elle dépend de la différence entre la température de l'air et celle de la surface exposée.

II.2.3. Conduction de la chaleur à travers les parois

C'est le phénomène de la conductivité thermique, il est lié à la propriété qu'ont les matériaux de transmettre la chaleur par conduction, symbolisée par le coefficient λ (lambda), elle est exprimée en Watt par mètre Celsius ($W/m^{\circ}C$).

La conductivité thermique propre à chaque matériau permet de quantifier le pouvoir isolant des parois, c'est à dire leur aptitude à s'opposer au passage des calories contenues dans l'air, plus la conductivité thermique d'un matériau est grande, plus ce matériau sera conducteur et plus la conductivité est faible, plus il sera isolant (Mazari mohammed, 2012).

La conduction du courant de la chaleur à travers une matière solide transfère l'énergie à travers les murs des bâtiments et les cadres de la fenêtre.

Dans des cas pratiques, la circulation de l'air des espaces connectés est mélangé par la conduction thermique, la convection et le rayonnement se produisent simultanément sur les surfaces murales dans le grand espace. En outre, les échanges thermiques par rayonnement entre les surfaces intérieures sont également provoqués par la température de l'air (Xin Wanga et al, 2009; Shafqat .H ; Oosthuizen .P, 2012).

II.2.4. Transfert de chaleur conjugué (la masse thermique)

La masse thermique est la propriété d'un matériau à stocker et libèrent la chaleur au fil du temps. Elle est régie par la capacité thermique spécifique de la matière, la densité d'un matériau, et la différence de température entre lui-même et le milieu environnant. Si le bâtiment est conçu de manière optimale, la masse thermique peut être utilisée pour absorber la chaleur pendant une journée d'été et progressivement libérée pendant la nuit lorsque les températures sont beaucoup plus fraîches. L'effet en fonction du temps de la masse thermique et sa capacité pour stocker et libérer de grandes quantités d'énergie rend l'étude du transfert de chaleur conjugué très important (Kitagawa Aaron, 2011).

Le transfert de chaleur par conduction à travers les enveloppes extérieures et intérieures peut être calculé en utilisant l'équation (éq.II.5). Le rayonnement incident sur la fenêtre du toit peut être approximé par l'équation (éq.II.6). La charge de ventilation pourrait être estimée en utilisant l'équation (éq.II.7) (Susan Bajracharya, 1989).

$$q_{\text{cond}} = U A \Delta t \dots\dots\dots(\text{éq.II.5})$$

$$q_{\text{rad}} = G_{\text{global}} \dots\dots\dots(\text{éq.II.6})$$

$$q_{\text{vent}} = 1200 Q \Delta t \dots\dots\dots(\text{éq.II.7})$$

Dont :

q_{cond} : transfert de chaleur par conduction .Btu/h

q_{rad} : transfert de chaleur par radiation .Btu /h.

q_{vent} : charge de ventilation, Btu / h

U = coefficient global de transfert de chaleur, Btu / h.ft² ° F

A= surface ; ft²

V = volume, ft³

Δt =différence de température maximale pour l'ensemble de données

G_{global} = radiation global, Btu /h ft².

II.3.Phénomènes caractérisant un atrium

Actuellement, le concept du confort thermique constitue une demande reconnue ayant impact significatif sur la qualité des ambiances intérieures dans le domaine du bâtiment (Moujalled Bassam, 2007).L'atrium représente un environnement thermique et lumineux complexe. Où ils existent plusieurs interactions entre lui, les coursives, les espaces adjacents et l'environnement extérieur. Ces interactions sont dynamiques et changent selon la saison et le moment de la journée. La conception efficace d'un atrium est essentielle et souhaitable, afin d'assurer un confort thermique optimal qui nécessite une compréhension de ces divers paramètres (Ida Bryn et Per Arne schiefloe, 1996),car l'atrium est caractérisé par un gain solaire durant la période froide et un problème d'inconfort thermique pendant la période chaude estivale à cause de surchauffe en raison de l'adoption d'une grande surface vitrée du toit. A cet effet là, l'utilisation du système de CVC (chauffage, ventilation et climatisation) est un souci des concepteurs afin d'assurer une efficacité énergétique d'enveloppe.

La sensation thermique dans un atrium subie par les occupants est connue pour être affectée par les facteurs suivant : la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse de l'air.

L'ambiance thermique dans un atrium est caractérisée par deux phénomènes essentiels qui sont :

II.3.1. Chauffage passif (Gain solaire en hiver)

Chauffage passif qui signifie le stockage de la chaleur avec un gain direct par l'effet de serre. Dans les atriums, grâce aux surfaces vitrées importantes, les murs massifs et les planchers en béton, il s'agit des propriétés des matériaux émaillés d'admettre avec le rayonnement solaire de courtes longueurs d'onde à piéger à l'intérieur. Cela permet la collection de chaleur solaire passive et le pré-réchauffement de l'air emprisonné, en réduisant l'utilisation du chauffage de pointe et conservation de l'énergie.

Cependant, dans les climats froids, en hiver, les bâtiments tels que les hôtels et les centres commerciaux, les considérations de chauffage deviennent plus importantes en relation avec son enveloppe.

Donc, il est nécessaire de choisir entre un atrium qui recueille la chaleur (l'atrium de réchauffement), qui rejette de la chaleur (l'atrium de refroidissement), et celui qui tente de faire les deux en fonction de la saison (l'atrium convertible) (Saxon, 1983).

Le comportement thermique des atriums durant la période hivernale garantit (**figure II.3**):

- Le maximum de gains solaires en hiver, (collection de la chaleur).
- La fourniture d'un stockage de chaleur rayonnante, (accumulation de chaleur).
- L'empêchement de la perte excessive de chaleur de la nuit.

Tandis que, La sensation de chaleur peut aussi souvent être renforcée par les effets psychologiques fournie par la pénétration de la lumière directe du soleil ou par la présence de plantes (Baker, 1988).

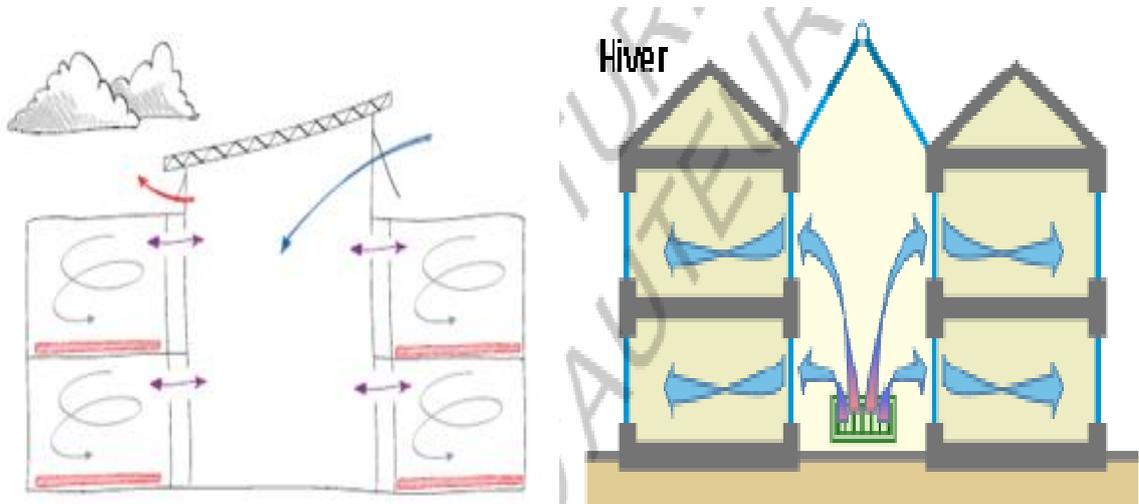


Figure II. 3 .Comportement thermique d'atrium pendant l'hiver.
(Source : www.energieplus-lesite.be ; BREATHING BUILDINGS)

II.3.2. Effet de serre (surchauffe en été)

C'était le cauchemar des ingénieurs, il est causé par le fait que le rayonnement solaire thermique de courtes longueurs d'ondes qui traverse le vitrage réchauffe les surfaces intérieures (**figure II.4.**).

Il est difficile de prédire le comportement thermique dans les atriums, puisqu'il dépend du taux de surface vitrée, de la configuration de l'atrium par rapport au bâti, de son orientation, du nombre d'étages, de l'existence de protections solaires, et du taux de ventilation du volume¹.

Non seulement la température de l'air interne peut être supérieure à la température de l'air extérieure, mais aussi la quantité de la chaleur du rayonnement solaire absorbée par l'enveloppe de l'atrium augmente la température moyenne des surfaces internes, qui conduisent à l'élévation de la température intérieure. Cela peut produire un grand risque d'inconfort thermique et même des problèmes de surchauffe telle que la stratification thermique (Abd Halid.A et al ,2009).

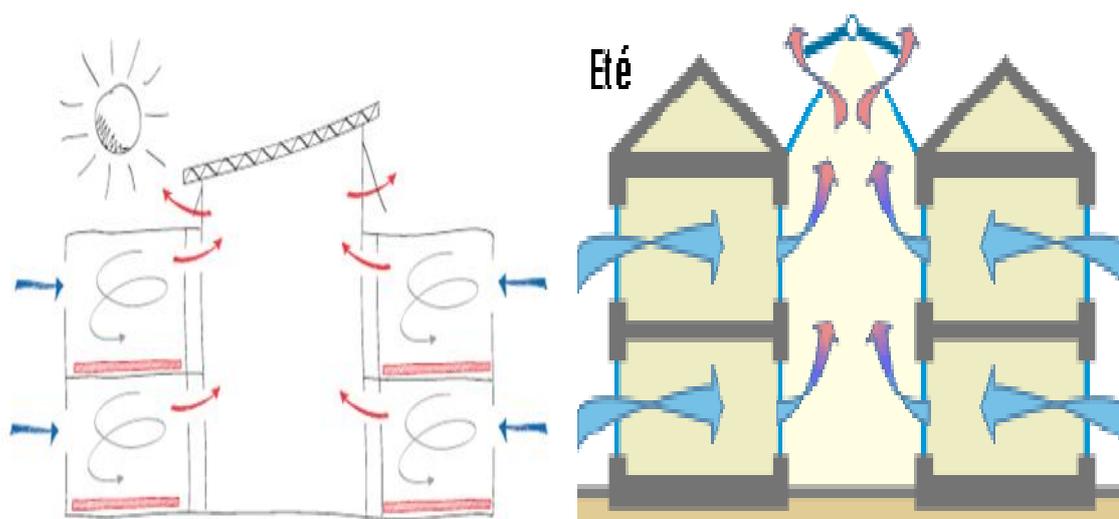


Figure II. 4. Comportement thermique d'atrium pendant l'été.
(Source : www.energieplus-lesite.be ; BREATHING BUILDINGS)

II.3.2.1. Stratification thermique

Les températures mesurées et prédites dans l'espace atrium ont montré qu'en hiver la stratification de température était faible. Cependant, en l'été, la stratification de la température a été beaucoup plus prononcée. Ce phénomène dans l'espace atrium a été principalement due au rayonnement solaire (Shafqat Hussain ,2012) .

¹ (En ligne) www.energieplus-lesite.be

II.3.2.1.1. Différents types de stratification thermique

-Stratification adiabatique : se produit lorsque le support est en équilibre neutre et qu'il n'y a aucun changement de température dans un fluide idéal par rapport à la hauteur.

-Stratification instable : se produit lorsqu'un brique se situe en dessous de fluide plus froid et plus lourd. L'élément de brique, se déplace verticalement donnant lieu à un autre fluide par mouvement « convection ».

-Stratification stable : se produit lorsque le fluide léger plus chaud se trouve au-dessus du fluide le plus froid et plus lourd (**figure II.5.**).

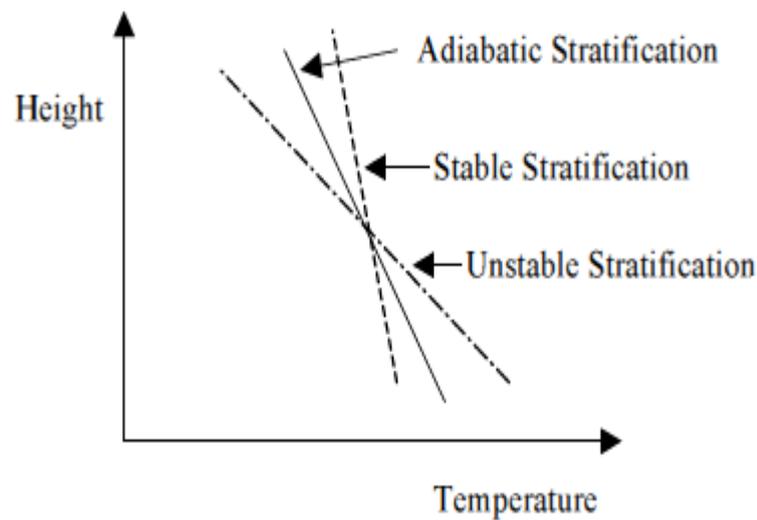


Figure II.5. Représentation des conditions aux limites de stratification.
(Source: Juluria, 1980).

Une étude menée par Susan Bajracharya (1989) effectuée dans la région Groningen (Pays bas) dans un atrium de 20m d'hauteur avec un toit plat en double peau de PVC avec 80 % de transmission. Les ouvertures de toit peuvent fournir une ouverture nette maximale de 7 % de la surface du toit (40 m²). Les ouvertures du toit sont normalement exploités pour le contrôle de la température .

Cette expérimentation était faite durant une journée de printemps (06 Mai, 1989) avec un toit fermé, la température maximale dans l'atrium de stratification atteint environ 5°C avec des températures de 24°C du point bas et 29°C en haut point.

Cependant pendant une chaude journée d'été (12 Juin, 1989), lorsque les événements de toiture ont été ouvertes, la température maximale de stratification dans l'atrium atteint environ 4°C, avec des températures de 26°C à la base et 30°C en haut. Au cours d'une chaude journée d'été (7 Juillet, 1989) quand le toit a été ouvert la stratification de température maximale à l'atrium

atteint environ 4°C, avec des températures de 29°C à la base et 33°C en haut. Au cours d'une autre chaude journée d'été (août 20,1989), la température maximale dans l'atrium de stratification atteint environ 9°C, avec des températures de 29°C au bas point et 38°C en haut, après l'ouverture du toit qui avait été oublié fermé (**figure II.6.**)

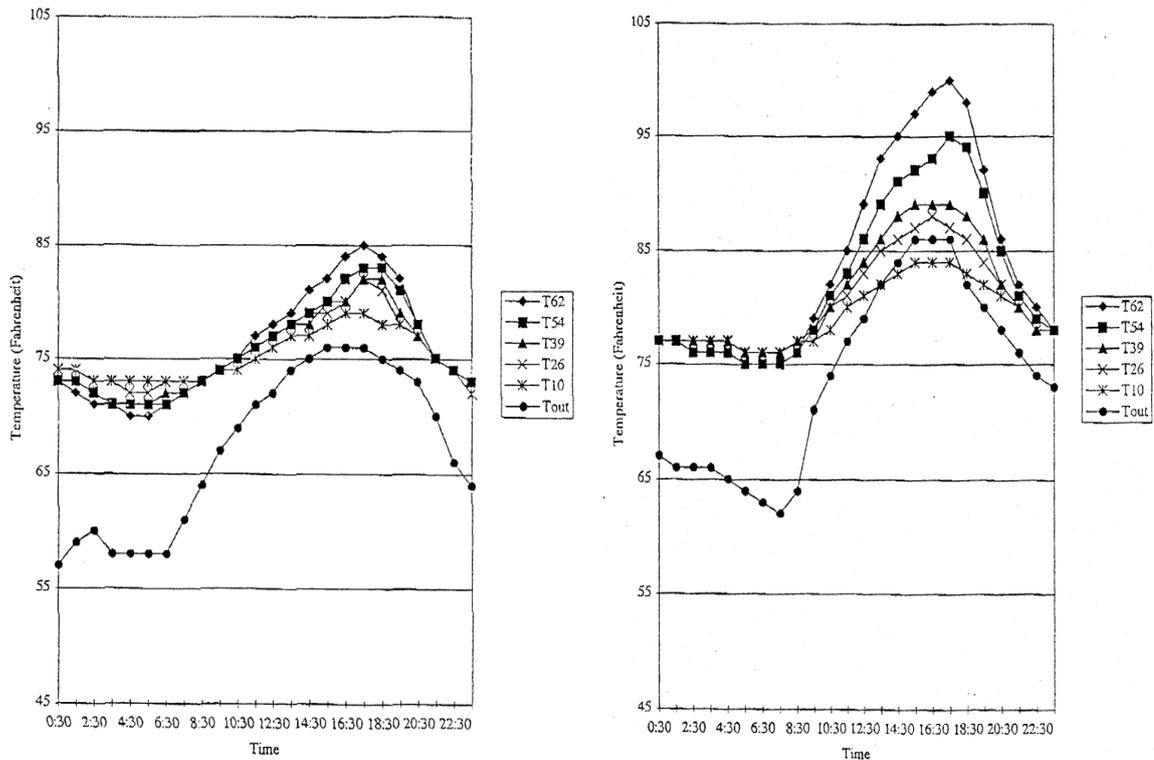


Figure II.6. Stratification thermique a droite le 20 aout 1989 a gauche 12 juin 1989.
(Source: Susan Bajracharya ,1989)

Une autre étude élaborée par Belmaaziz. M et al où les résultats montrent une importante stratification thermique et des températures de l'air non acceptables dans l'ensemble de l'atrium. Cela est dû à une ventilation naturelle insuffisante.

Dans le même contexte une autre étude élaborée par Ahmed Qadir Ahmed en 2013, a montré comment différents climats ont une incidence sur la performance énergétique des bâtiments avec atrium ou cour (**tableau II.1.**).

Il est constaté que les bâtiments de la cour sont plus adaptés aux climats chauds et les bâtiments de l'atrium sont plus appropriés pour les climats tempérés et continentaux. En ce qui concerne les climats semi-aride, les deux types de bâtiments peuvent être utilisés en tenant compte des mesures nécessaires pour améliorer leurs performances.

Tableau II.1. Performance énergétique de la cour et de l'atrium dans différents climats .
(Source: Ahmed Qadir Ahmed ,2013)

| ville | espace | Énergie de chauffage (KWh) | Énergie de refroidissement (KWh) | Energie totale (KWh) | Observation |
|----------------------------------------|--------|----------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Riyad climat sec | cour | 3,414.39 | 69,427.83 | 72,842.22 | Les résultats peuvent s'expliquer par le fait que le gain de chaleur dans l'atrium est plus qu'une cour pendant les saisons chaudes qui ne sont pas préférables. |
| | Atrium | 481.88 | 109,388.23 | 109,870.12 | |
| Bangkok climat humide à chaud | cour | 0.00 | 63,034.38 | 63,034.38 | Il n'y a pas de consommation d'énergie de chauffage. C'est peut-être dû au fait que la température de l'air extérieur est élevée pendant toute l'année et la perte de chaleur ne se produit pas. Par conséquent, la charge de chauffage n'est pas nécessaire. |
| | Atrium | 0.00 | 97,533.00 | 97,533.00 | |
| Londres climat tempéré | Cour | 75,021.01 | 443.81 | 75,464.82 | Le modèle de la cour est caractérisé par la perte de chaleur est plus que sa avec gain de chaleur par rapport au modèle de l'atrium en particulier pendant la saison froide qui n'est pas préférable. atrium provoque le besoin d'énergie de climatisation plus de cour. |
| | Atrium | 45,583.67 | 7,429.70 | 53,013.37 | |
| Moscou un climat continental | Cour | 117,199.37 | 1,136.66 | 118,336.03 | La perte de chaleur dans la cour est plus que son gain par rapport au modèle de l'atrium en particulier dans les saisons froides. |
| | Atrium | 80,551.28 | 10,436.24 | 90,987.51 | La consommation d'énergie de refroidissement n'est pas car importante le refroidissement n'est pas requis en cas d'utilisation de la ventilation naturelle en raison de la faible température extérieure à Moscou. |
| Téhéran climat semi-aride | Cour | 26,737.78 | 35,818.40 | 62,556.1 | La demande d'énergie de refroidissement augmente et diminue avec la demande d'énergie de chauffage par rapport au cas de l'utilisation de la cour. |
| | Atrium | 12,289.12 | 73,413.99 | 85,703.11 | |

Conclusion

Dans ce chapitre, l'objectif principal consiste surtout à présenter un aperçu sur le comportement thermique des atriums. Nous avons d'abord essayé de montrer brièvement les notions de base et les différents modes de transfert de chaleur dans un atrium pour mieux comprendre cette ambiance dans cet espace vital. Ensuite on a présenté les phénomènes caractérisant les atriums qui peuvent être un espace de gain de chaleur direct qui pourrait être avantageux en hiver mais peut être un désavantage en été (Bednar ,1986; Zhang ,2009). A cet effet là, nous nous sommes intéressés à la stratification thermique, ce phénomène remarquable dans ces espaces, est la cause d'inconfort interne dans les bâtiments incorporant un atrium.

Enfin, l'adoption d'atrium et/ou cour dans un climat semi-aride est bénéfique mais à condition que certaines mesures soient prises en compte afin d'améliorer leurs performances.

II.2.COMPORTEMENT AÉRAULIQUE DES ATRIUMS



" L'architecte qui rend sa construction "un four solaire " puis il utilise les grands appareils pour la refroidir, sa conception est considérée au dessous de l'architecture" Hassen FETHI.

Introduction

Les grands volumes vitrés ont été conçus en imitant l'esthétique des bâtiments et la technologie avancée. Cela a entraîné le fait que les bâtiments de l'atrium sont souvent connus par leur confort bas et les demandes de refroidissement excessives (Rundle , 2011). Donc, l'architecture frappante et la ventilation naturelle vont souvent main dans la main, puisque l'utilisation des normes actuelles du confort thermique va impliquer des dépenses énergétiques inutiles en été et compromettre les efforts engagés pour réduire la consommation d'énergie. Les bâtiments naturellement ventilés offrent généralement à leurs occupants une marge importante de contrôle individuel et laissent l'opportunité à chacun d'eux de créer les conditions qui lui conviennent. Comme ces bâtiments consomment moins de la moitié de l'énergie utilisée par rapport aux autres non climatisés (Nicol, 2004), en outre les bâtiments climatisés nécessitent un entretien régulier qui n'est pas toujours assuré et résulte par des plaintes plus fréquentes concernant la qualité des ambiances intérieures (Leyten, 2006). Par conséquent, il est de grande importance d'essayer d'atteindre le confort thermique via des moyens naturels pour garantir le rafraîchissement passif autant que possible à titre d'exemple la ventilation. Elle est devenue plus attrayante au cours des dernières années, en raison de la réduction de l'énergie électrique nécessaire pour les ventilateurs et systèmes de climatisation.

II.4. Techniques de refroidissement passif dans les atriums

A cause des gains de chaleur internes très élevés dans les bâtiments qui incorporent un atrium, le refroidissement est rendu très nécessaire. C'est pour cela on utilise les différentes techniques de refroidissement passif élaboré par Swinal Samant et al en 2011, qui comprennent le contrôle de gain de chaleur solaire à travers l'ombrage, l'utilisation de la masse thermique, refroidissement radiatif et le refroidissement par convection. Cependant, la ventilation naturelle est capable de réduire la consommation énergétique CVC qui a largement contribué à l'économie d'énergie dans les bâtiments avec plus de 60 % de la consommation d'énergie totale du bâtiment. Cela permet d'optimiser le potentiel d'économie d'énergie d'atrium dans divers climats par remplacement de l'assistance mécanique par une ventilation naturelle (Moosavi Leila et al, 2014).

II.4.1. Ventilation naturelle par tirage thermique (Effet de cheminée)

En raison de préoccupations environnementales dans le monde entier, la nécessité de réduire l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments a augmenté l'intérêt pour des stratégies de rafraîchissement passif.

L'atrium avec grandes surfaces vitrées ont quelques inconvénients associés à une forte consommation d'énergie qui peut entraîner un gain de chaleur solaire en été et des pertes de chaleur en hiver, et aussi la stratification de l'air surtout en été qui peut affecter le confort (Shafqat Hussain,2012).

Moosavi Leila et al (2014) affirment fortement que «la ventilation naturelle est le principal atout potentiel pour l'environnement des atriums» afin de réduire la consommation énergétique dans les bâtiments et porter la température ambiante à un niveau confortable. Par l'écoulement du vent sur le bâtiment et par différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur. Mais la bonne conception de la ventilation naturelle doit être basée sur la compréhension détaillée de l'air dans les espaces clos régis par des différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur.

II.4.1.1. Rôle de la ventilation naturelle

La ventilation naturelle dans l'atrium est déterminée comme la meilleure solution qui peut réduire les impacts négatifs de surchauffe dans les espaces internes. En effet, elle peut être atteinte en créant des ouvertures appropriées dans des lieux particulièrement dans les niveaux supérieurs et inférieurs d'atrium à fournir et des déplacements de la ventilation (Ahmed Qadir Ahmed ,2013).

Hunt et Holford (1998) ont étudié le flux de ventilation naturelle dans les espaces à plusieurs étages connectés à un grand atrium avec top-down-cheminées utilisé pour amener l'air frais dans les espaces de haut niveau. Ces modèles analytiques ont été validées par des expériences à petite échelle. Ils servent d'offrir une meilleure compréhension des principes généraux de la ventilation naturelle.

Tahir et Osman (2005) ont étudié l'utilisation de la ventilation naturelle en tant que système de refroidissement passif numériquement en utilisant le logiciel FLUENT © dans les nouvelles constructions à Kayseri, en Turquie. Il a été suggéré à partir des simulations que la ventilation naturelle peut être utilisée pour fournir un environnement intérieur thermiquement confortable pendant la saison estivale.

La ventilation naturelle dans les atriums est manifestée par le biais du tirage thermique

II.4.1.2. Principe du tirage thermique

C'est le système de ventilation naturelle le plus répandu actuellement et le plus efficace et fiable. Afin de réaliser un bon tirage thermique. La dépression qui génère les mouvements d'air est créée par la différence de masse volumique de l'air plus ou moins chaud « L'air chaud a tendance à monter » (**figure II.7.**). Si on prévoit des ouvertures en partie basse pour introduire l'air extérieur dans un espace à rafraîchir, et des ouvertures en partie haute pour laisser l'air s'échapper (Khaldi Sabrina, 2013). En raison des différences de température, et donc la densité de l'air, entre l'extérieur et l'intérieur, il en résulte des gradients de pression différents pour les masses d'air interne et externe, ce qui entraîne une différence de pression qui varie avec la hauteur (Nicholas Mak, 1991). Sachant que l'intégration d'une cheminée sur le toit a le potentiel d'être une meilleure option pour la ventilation naturelle (Shafqat Hussain ,2012).

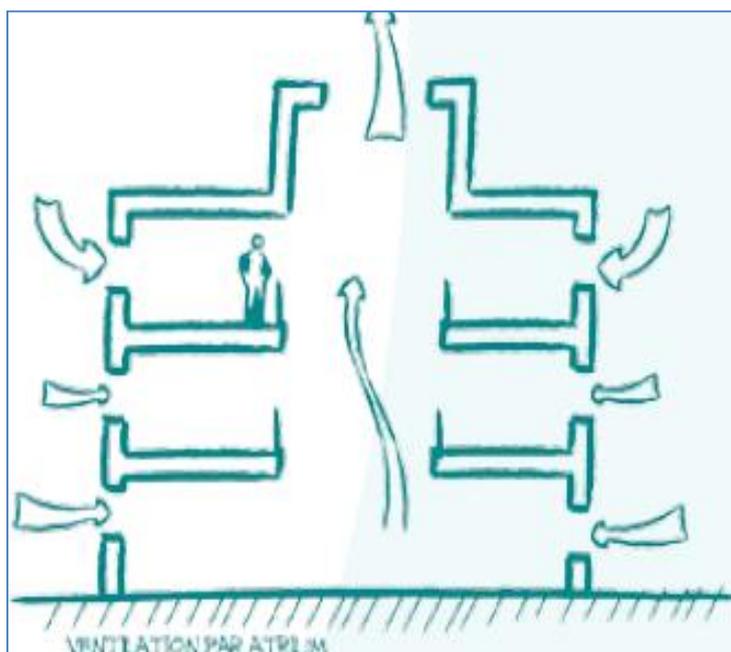


Figure II.7. Ventilation naturelle par effet du tirage thermique dans l'atrium.
(Source: LES GUIDES BIO-TECH)

L'étude élaborée par Nicholas Mak (1991) sert à montrer que la pression diminue à mesure que la hauteur augmente à la fois pour l'extérieur et l'intérieur, mais le gradient de pression externe est plus raide en raison de la température plus basse. Cela provoque une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur au niveau des ouvertures.

Un mouvement d'air se produit lorsque la température de l'air interne est supérieure à la température extérieure, l'air pénètre par l'ouverture inférieure et quitte l'ouverture supérieure (**figure II.8.**) .

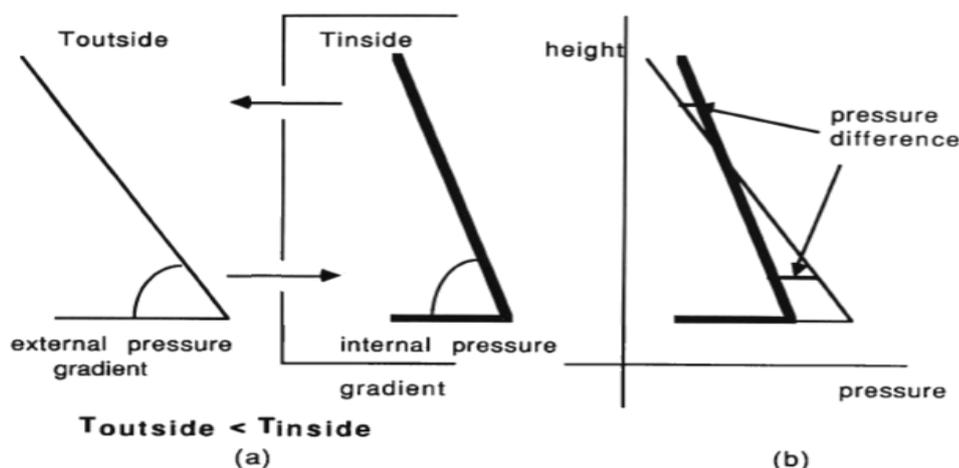


Figure II.8. Effet de cheminée induit la pression entre deux ouvertures placées verticalement.
(Source: Nicholas Mak, 1991)

De toute évidence, la pression de la cheminée dépend de la température interne du bâtiment. On peut montrer que l'effet de cheminée est réduit lorsque l'on considère la stratification thermique dans un bâtiment, comparée à une répartition uniforme de la température. Par conséquent, les concepteurs doivent tenir compte de la réduction de pression disponible pour entraîner le débit de ventilation lors du dimensionnement des ouvertures de ventilation.

Une ventilation efficace avec un effet du tirage thermique pourra s'établir à condition de disposer d'ouvrants au niveau du sol et de la toiture (afin de tirer profit de l'effet de cheminée²).

-Des ouvertures inférieures: (grilles, etc.) seront aménagées dans la partie inférieure de l'atrium (impostes des portes d'entrée, par exemple) (**figure II.9.**).



Figure II.9. Ouvertures inférieures.
(Source: www.energieplus-lesite.be)

² (En ligne) www.energieplus-lesite.be

- **Des ouvertures supérieures** : La partie ouvrante du toit représentera de 6 à 10 % de la surface du toit. Pour des atriums de grande taille, on adoptera des systèmes automatiques ou manuels d'ouverture et de fermeture des ouvrants dans le toit d'atrium ² (**figure II.10.**).



Figure II.10. Ouvertures supérieures.
(Source: www.energieplus-lesite.be)

Rappelons que les vitrages horizontaux captent 2 fois plus d'énergie solaire que les vitrages verticaux orientés vers le Sud.

Il est possible de démontrer analytiquement que dans le cas d'une seule ouverture, le plan neutre est exactement situé à mi hauteur de l'ouverture. donc:

-Débit de renouvellement d'air est égale à:

$$q_{th} = \frac{1}{3} \cdot A \cdot C_D \cdot \sqrt{\frac{\Delta T \cdot H \cdot g}{T'}} \quad \dots\dots\dots(\text{éq.II.8})$$

Où ΔT est la différence entre la température intérieure et extérieure, **A** est la surface de l'ouverture, **H** sa hauteur, **T'** est la température moyenne entre intérieure et extérieure et **C_D** est le coefficient de décharge, généralement il est supposé égal à 0.6 (Marcello Caciolo,2010).

Pour maintenir un confort thermique et une ventilation suffisante dans les deux espaces simultanément, Les tailles des événements, doivent être ajustés de manière appropriée en fonction du régime de flux de chaleur (**figure II.11.**).

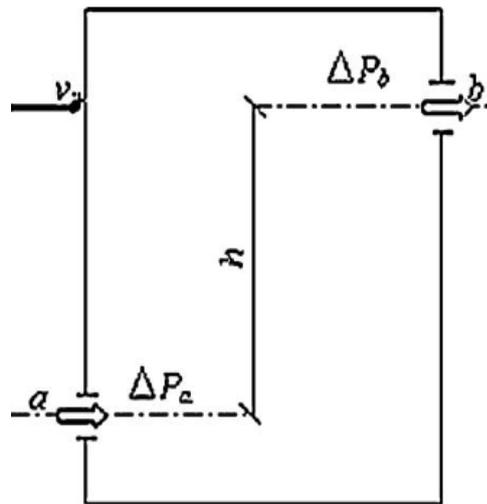


Figure II.11. Comportement de la ventilation naturelle.
(Source: Xin Wang et al,2009).

On constate que le toit vitré permet à beaucoup de soleil de pénétrer à travers le verre pour assurer l'éclairage, donc on a beaucoup de surchauffe. A cet effet, on a besoin d'une ventilation naturelle de l'air chauffé pour fournir un rafraîchissement passif afin de garantir un confort thermique. Par une ouverture appropriée dans le toit, donc

-Dépression le long de la hauteur des atriums est :

$$\Delta P = 3462 \cdot H \cdot \left(\frac{1}{T_0 + 273} - \frac{1}{T_i + 273} \right) \quad [\text{N/m}^2] \dots\dots\dots(\text{éq.II.9})$$

ou :

H: c'est la hauteur de l'atrium.

T₀: la température de l'air extérieur en (°C).

T_i: la température de l'air intérieur en (°C).

-Pression due au tirage thermique est proportionnelle à la hauteur du conduit à la ventilation et à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur (**Guide de la ventilation naturelle**).

$$P_m = P_0 \times g \times H \cdot \left[\frac{273}{273 + T_i} - \frac{273}{273 + T_e} \right] \dots\dots\dots(\text{éq.II.10})$$

Avec P₀ la masse volumique de l'air à 0°C.

P₀= 1.293 Kg/m³ à P_{atm}.

P_m: le tirage thermique en PASCAL (Pa).

g: l'accélération gravitationnelle (m.s⁻²).

H: la hauteur en mètres (m).

T_i : la température intérieure en degrés Celsius (°C).

T_e: la température extérieure en degrés Celsius (°C).

Le débit d'air dû à l'effet de cheminée est en fonction de la taille des ouvertures (**A**), des caractéristiques des ouvertures traduits par le coefficient de perte de charge (**C_a**) . Elle est en fonction de la différence de niveau entre les deux ouvertures et des températures intérieure et extérieure (Elisabeth Gratia et Andre De herde).

Calcul des débits d'air: si les ouvertures ont la même surface (**figure II.12.**):

$$Q_v = C_a \times A \times \sqrt{g \times H \times \frac{\Delta T}{T_e}} \dots\dots\dots(\text{éq.II.11})$$

dont :

C_d: le coefficient de perte de charge .

A: la taille de l'ouverture supérieure qui est semblable à l'ouverture inférieure.

H: différence de niveau entre les ouvertures.

ΔT: différence des températures.

Si les deux ouvertures sont de tailles différentes **A1** est la taille de l'ouverture supérieure et **A2** celle de l'ouverture inférieure (Elisabeth Gratia et Andre De Herde).

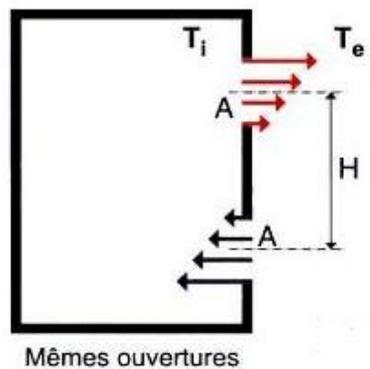


Figure II.12. débits d'air.
(Source: Elisabeth Gratia Et Andre De Herde)

Q_v est calculé d'une façon semblable avec **A** calculé en fonction de **A1** et **A2**(Elisabeth Gratia et Andre De Herde).

$$A = (A1 + A2) \times \left[\frac{\frac{A1}{A2} \sqrt{2}}{\left(1 + \frac{A1}{A2}\right) \cdot \sqrt{\left(1 + \left(\frac{A1}{A2}\right)^2\right)}} \right] \dots\dots\dots(\text{éq.II.12})$$

La ventilation est l'un des moyens les plus appropriés pour éliminer la chaleur du grand espace couvert en verre. Donc :

-Chaleur évacuée par la ventilation : peut être déterminée par la formule suivante (Vissers,2011)

$$Q_{\text{vent}} = \Phi_{\text{air}} * \rho_{\text{air}} * C_{\text{air}} * (T_1 - T_2) \dots\dots\dots(\text{éq.II.13})$$

Q_{vent} : le gain net d'énergie par ventilation [W].

Φ_{air} : le flux d'air à travers l'atrium [m³/s].

ρ_{air} : La densité de l'air [kg/m³].

C_{air} : La capacité calorifique spécifique de l'air [J/kgK].

T_1 : La température de l'air d'alimentation [K].

T_2 : La température de l'air d'évacuation [K].

Trois facteurs sont nécessaires pour créer la force de ventilation conduit par l'effet de cheminée (Moosavi Leila et al ,2014).

1-L' ouverture d'entrée de niveau inférieur.

2-L'ouverture de sortie plus élevée.

3- Des sources de chaleur créant des différences de température entre l'intérieur et l'extérieur, sans prendre l'effet du vent dans l'examen.

Les pressions intérieures et extérieures peuvent être exprimées comme suit (Moosavi Leila et al , 2014) :

$$P_{\text{in}} = P_0 - \rho_{\text{out}} gh \dots\dots\dots(\text{éq.II.14})$$

$$P_{\text{out}} = P_0 - \rho_{\text{in}} gh \dots\dots\dots(\text{éq.II.15})$$

h : c'est la hauteur d'une hauteur intérieure ou extérieure par rapport à la hauteur de référence (m).

P_0 :c'est la pression statique de l'air extérieur à une hauteur de référence, (Pa).

ρ_{out} : c'est la pression de l'air extérieur à la hauteur h par rapport à la hauteur de référence (Pa).

ρ_{in} : c' est la pression de l'air intérieur à la hauteur h , par rapport à la hauteur de référence (Pa).

les différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur portent à des environnements de hauteur h est :

$$\Delta P = (\rho_{\text{out}} - \rho_{\text{in}}) gh \cdot A_s \dots\dots\dots(\text{éq.II.16})$$

La figure II.13 illustre en raison que l'air chauffé à l'intérieur du bâtiment, sa densité est inférieure que l'air à l'extérieur du bâtiment. Par conséquent, la pression de l'air extérieur est plus élevée que la pression de l'air intérieur, une condition qui provoque l'entrée de l'air extérieur dans le bâtiment.

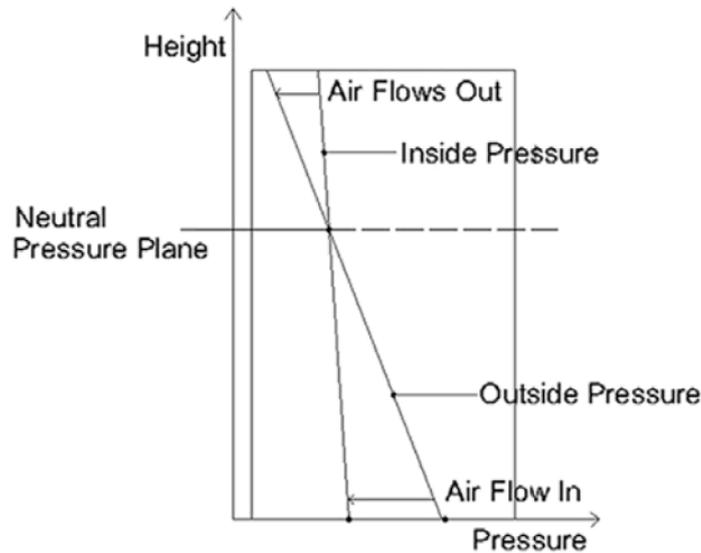


Figure II.13. Pressions dans un atrium.
(Source: Leila Moosavi et al ,2014).

II.1.1.5. Système de purge dans un atrium

La figure II.14 montre une coupe verticale dans un atrium générique à deux étages montrant l'emplacement des ouvertures et de l'air chaud (montré en rouge) à purger.

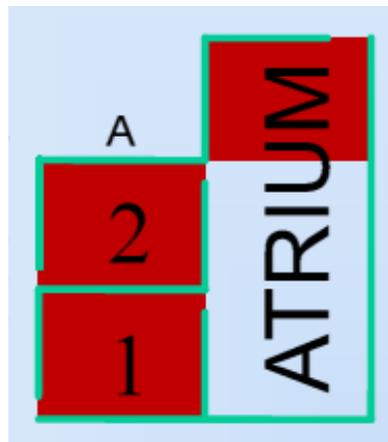


Figure II.14. Système de purge dans un atrium.
(Source: Paul Lynch and Gary R. Hunt)

Il est reconnaissant que la ventilation naturelle est plus efficace. Elle supprime simultanément l'excès de chaleur et parvient à une bonne qualité de l'air. Le principe physique de base derrière la ventilation naturelle à travers des ouvertures est de retirer l'excès de stagnation de chaleur dans la zone supérieure, la ventilation naturelle générée par des événements supérieurs (Chen Huang et al,2009).

Dans le même contexte, Torwong Chenvidyakarna et Andrew W. Woods en 2010 ont étudié la ventilation naturelle de deux espaces qui sont connectés les uns aux autres par une ouverture, et dont chacun est connecté à l'extérieur par un événement.

La ventilation naturelle d'un bureau relié à un atrium par une ouverture de haut niveau, lorsque l'office était chauffé par une source localisée (a), une source distribuée (b), des sources localisées multiples (c) et une combinaison d'une source localisée et d'une source distribuée (d) (**figure II.15.**).

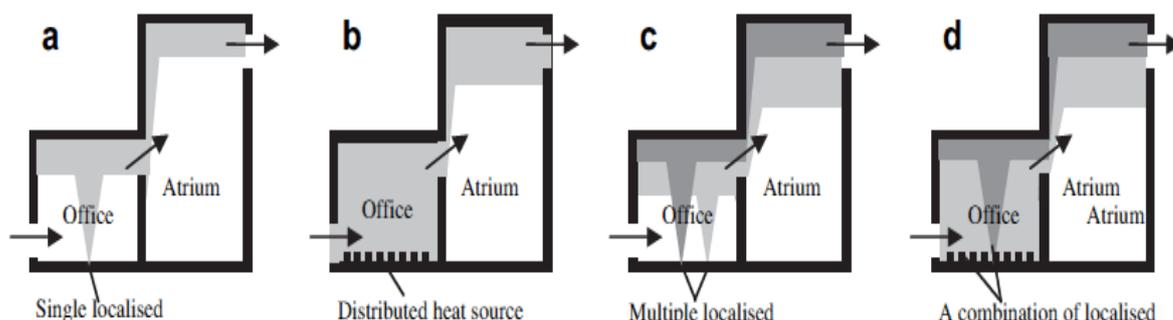


Figure II.15. Ventilation naturelle de deux espaces qui sont connectés les uns aux autres par un faible niveau d'ouverture, et dont chacun est connecté à l'extérieur par un évent.
(Source: Torwong Chenvidyakarna et Andrew W. Woods ,2010)

Cette étude prouve qu'il est donc possible que dans certaines situations, une augmentation de la charge de chaleur dans l'espace ascension puisse conduire non seulement à la modification du régime d'écoulement, mais aussi au chauffage de l'espace ascension et au refroidissement de la descente.

La charge de chaleur dans chaque espace évolue, la direction du flux conduisant au refroidissement d'un espace et au réchauffement de l'autre.

L'atrium naturellement ventilé permet d'assurer un échappement de l'air chauffé par des ouvertures en bas et en haut (**figure II.16.**).

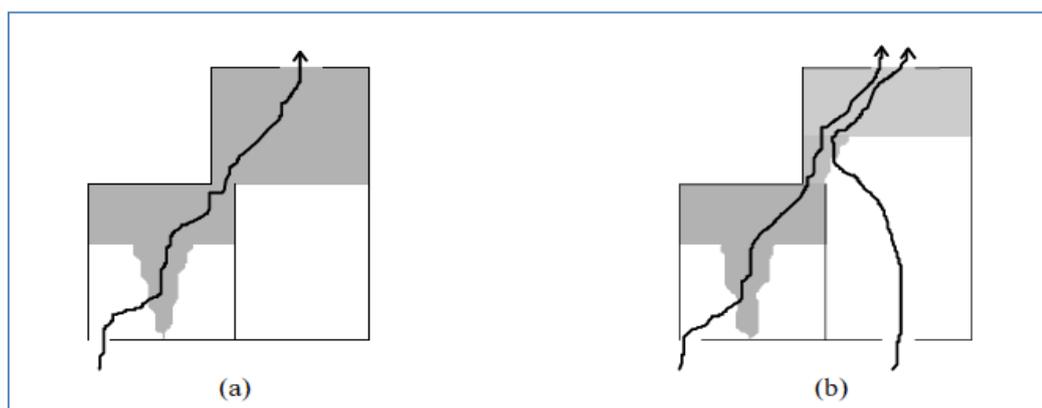


Figure II.16. Schéma du flux dans un bâtiment à un étage relié à un atrium plus grand. Si l'atrium est «non ventilé» (a) il n'y a qu'un seul trajet d'écoulement. Si l'atrium est «ventilé» (b), deux voies d'écoulement se rejoignent dans l'atrium.

(Source: Joanne M. Holford & Gary R. Hunt ,2000)

D'autre part, Joanne M. Holford et Gary R. Hunt, font une étude sur l'effet de changement d'hauteur M de l'atrium relié à l'étage. La stratification thermique présentée en couleur, dont, les couleurs plus foncées représentent des températures les plus élevées, la longueur de la flèche représente le débit. (1) montre un atrium suffisamment grand pour augmenter le débit à travers l'étage. (2) montre un atrium de la hauteur critique pour donner le même flux que dans un étage isolé. (3) montre un atrium suffisamment court pour réduire le débit transféré à travers l'étage (**Figure II.17.**).

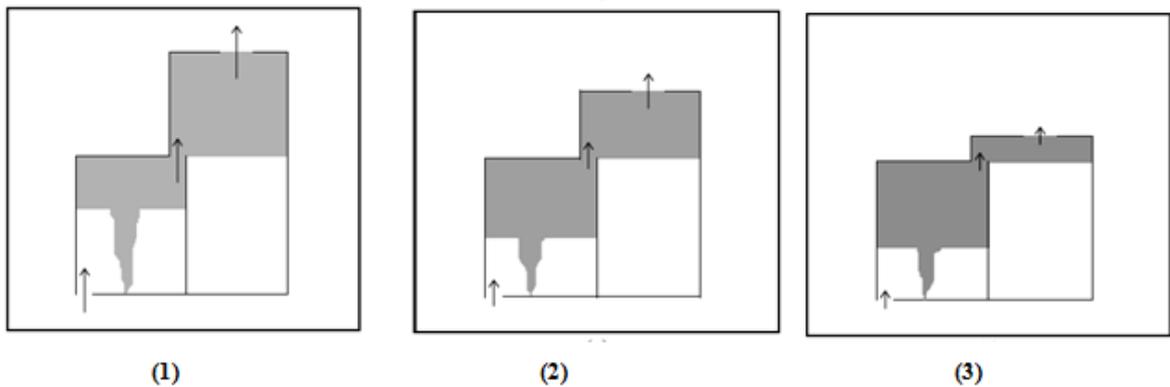


Figure II.17. Schéma du flux dans un bâtiment à un étage relié à un atrium avec différentes hauteurs.
(Source: Joanne M. Holford & Gary R. Hunt ,2000)

On utilise des atriums comme cheminées solaires pour améliorer l'écoulement à travers les parties connectées du bâtiment. Cependant, dans l'atrium sans aucune ouverture en bas, l'air n'y est pas renouvelé.

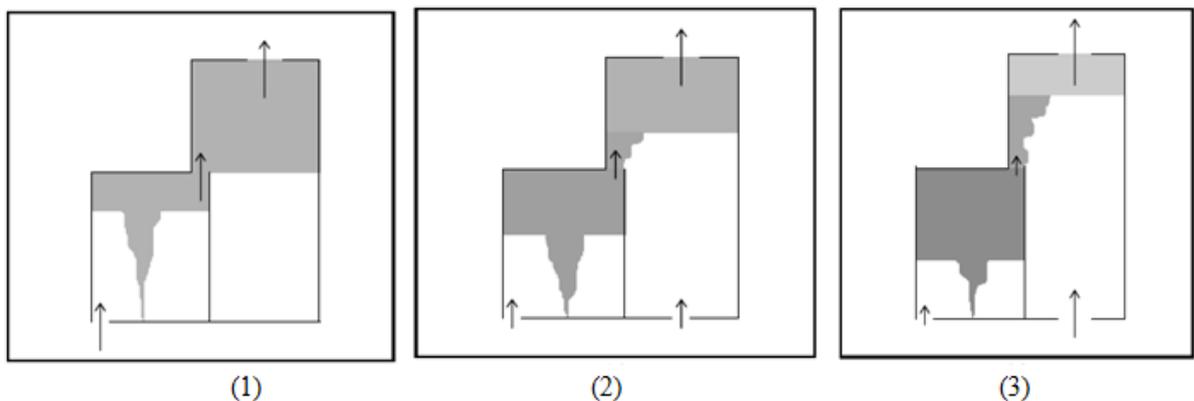


Figure II.18. Atrium naturellement ventilé.
(Source: Joanne M. Holford & Gary R. Hunt ,2000).

La figure II.18. présente que l'effet d'une grande ouverture supérieure de l'atrium et une petite ouverture inférieure de l'atrium sont nécessaires. Dans la pratique, la taille de l'ouverture supérieur de l'atrium sera limitée par les exigences d'étanchéité pour que l'atrium

améliore de manière significative le flux de ventilation à travers un étage connexe, l'ouverture supérieure de l'atrium doit être relativement importante et l'orifice inférieur de l'atrium relativement petit (Joanne M. Holford et Gary R. Hunt ,2000).

En conclusion, un atrium améliore la ventilation naturelle à travers l'étage connecté à condition que l'ouverture supérieure de l'atrium soit suffisamment grande et que son ouverture inférieure soit suffisamment petite. L'introduction des exigences de ventilation pour l'atrium lui-même entraîne la conception idéale pour être un compromis qui donne des conditions acceptables dans les deux espaces (Joanne M. Holford et Gary R. Hunt ,2000).

II.4.2. Atrium Ombragé

L'atrium est susceptible d'être une sujette de surchauffe due à une combinaison de chaleur par rayonnement et les gains solaires excessifs. Une certaine forme d'ombrage sur le toit de l'atrium peut être nécessaire pour maintenir la chaleur à l'extérieur. Par exemple, l'étude d'un atrium à cinq étages dans le climat méditerranéen de Santiago du Chili a montré que la protection du rayonnement solaire peut entraîner une réduction de 75% de la demande de refroidissement (Moosavi Leila et al ,2014). Ainsi que l'orientation solaire est un aspect important pour ombrager les murs de l'atrium et le plancher. Dans les climats où il est chaud en été et froid en hiver, les orientations vers le Sud devraient inclure des parasols horizontaux vers l'angle haut du soleil d'été est conservé à l'angle bas du soleil d'hiver .Des éléments de commande réglables ou mobiles peuvent être ajoutés à l'intérieur des surfaces du toit et de la paroi pour éviter la surchauffe et la perte de la lumière du jour qui servent à combiner entre la ventilation et la protection solaire et qui sont généralement des protections d'une couleur claire ou des stores réfléchissants.

II.4.3. Ventilation nocturne

La ventilation de nuit a été appliquée avec succès dans les immeubles de bureaux. Elle s'est révélée efficace méthode de refroidissement, en particulier dans les régions où il y a de grandes variations de température entre le jour et la nuit. Pour créer un climat intérieur confortable en été, le bâtiment doit être refroidi pendant la nuit afin d'atteindre la bonne température au début du jour suivant (Shafqat Hussain et Patrick .H. Oosthuizen ,2013). La ventilation de nuit des bâtiments pouvant être incorporés en tant que partie de la stratégie de ventilation passive pour purger l'immeuble d'air chaud qui est accumulé au cours de la journée , par conséquent, de refroidir le bâtiment afin qu'il peut agir comme un dissipateur de chaleur durant le jour suivant. Plusieurs études ont montré que la ventilation de nuit peut être

efficace dans l'amélioration de confort thermique et de la réduction de la demande de refroidissement pendant la journée par exemple (Artmann et al,2008; Finn et al,2007 ;Wang et al, 2009 ; Zhou et al ,2008). En particulier dans les atriums commerciaux, la limitation de la sécurité est considérée comme un obstacle sur la façon d'appliquer de la ventilation nocturne.

Lorsque la ventilation naturelle pendant la journée ne couvre pas suffisamment la charge de refroidissement du bâtiment, une ventilation nocturne peut être utilisée ; en profitant de l'absence d'occupants et les gains de chaleur solaire, le but principal de la ventilation nocturne est de refroidir la masse de bâtiment et donc réduire la charge refroidissante du jour suivant.

$$q_{\text{ nuit }} \approx M \cdot C_p \cdot (T_{i\text{-csp}} - T_0) \dots\dots\dots(\text{éq.II.17})$$

M: Débit massique d'air entrant. [Kg/sec].

C_p: Capacité calorifique spécifique de l'air. [KJ/Kg.°C].

T_{i-csp}: Température de consigne de refroidissement, [°C].

T₀: Température extérieure, [°C].

II.4.3.1. Masse thermique

L'utilisation de la masse thermique élevée de l'atrium dans la forme du béton exposé peut absorber la chaleur de la journée. En outre, l'utilisation de la masse thermique dans les surfaces internes peut absorber l'énergie de chauffage pendant la journée et la libérer pendant la nuit lorsque la température de l'air diminue (Ahmed Qadir Ahmed ,2013).

II.4.3.2. Refroidissement radiatif

La nuit froide et le ciel peuvent être utilisés comme dissipateurs de chaleur, permettant le flux de chaleur de l'atrium plus chaud vers le ciel plus frais .Cette stratégie est reconnue le plus efficacement pour des surfaces de toit horizontales non obstruées, et moins à travers des surfaces verticales tandis que le plancher de l'atrium n'obtient que le refroidissement par rayonnement indirect (Bednar, 1986). Le potentiel radiatif du ciel diminue à mesure que l'humidité et la couverture nuageuse augmente.

II.4.3.3. Refroidissement par convection

Une stratégie plus efficace durant la nuit car l'air froid est utilisé pour réguler la température à l'intérieur du bâtiment, c'est la plus directe technique du refroidissement. L'effet de serre dans un atrium provoque l'air chaud pour stratifier dans le volume de l'atrium,

incitant l'effet de tirage afin d'assurer un équilibre de température entre la température extérieure et celle du bâtiment, par les ouvertures inférieures à celles plus élevées.

II.4.4. Refroidissement par évaporation

Pagliarini et Rainieri (2011) ont procédé à une étude pour voir les effets de ces applications (**figure II.19.**). Leur article présente un bref aperçu sur le refroidissement par pulvérisation qui va contribuer à la réduction de la température dans les grands volumes vitrés tels que les atriums. En appliquant un mince film d'eau sur des surfaces de bâtiment revêtues de TiO₂ super hydrophile, cette surface de verre externe peut réduire les températures des surfaces par le dégagement de chaleur latente en raison de l'évaporation de l'eau (**figure II.20.**). La température basse de surface contribue à la réduction de la température de l'air intérieur puisque l'intensité de la transmission de chaleur à travers la surface froide est réduite.

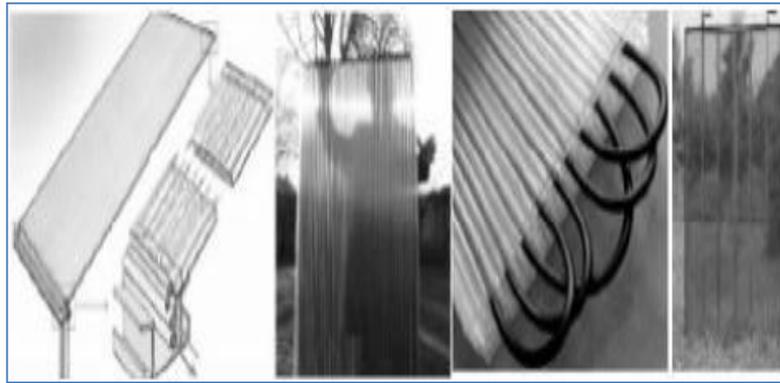


Figure II.19. Eléments de toit transparent rempli d'eau.
(Source: Pagliarini .G et Rainieri .S, 2011)

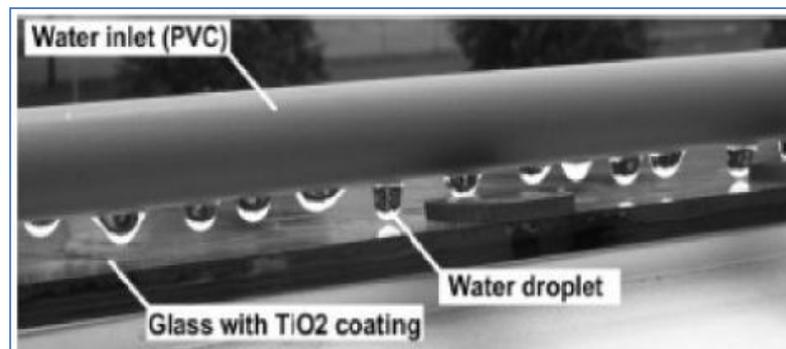


Figure II.20. Répartition de la pellicule d'eau sur toute la largeur de la vitre.
(Source: Pagliarini .G et Rainieri .S, 2011)

II.4.5. Présence des plantes dans un atrium

Jirí Tencar montre que les arbres dans les atriums offrent l'ombre en été, comme ils réduisent la surchauffe provoquée par le rayonnement solaire intense par évaporation.

Les plantes dans les atriums accomplissent de nombreux rôles, de l'esthétique à l'absorption de différents polluants. Les plantes avec les fontaines peuvent modérer l'environnement intérieur pendant toute l'année (Ahmed Qadir Ahmed ,2013) et combler plusieurs besoins biologiques des occupants, dont la stimulation visuelle et olfactive, procure aussi une source de purification de l'air. Ils ont également la capacité de modérer le micro-climat intérieur vers la zone de confort thermique sans utiliser d'équipement technologique afin de fournir des économies d'énergie.

Le concepteur verra cependant à noter que certains végétaux sont plus exigeants que d'autres, puisqu'ils pourraient entraîner une surchauffe importante en ciel clair et augmenter la vaporisation des plantes (**figure II.21.**).



*Figure II.21. Hotel Hayatt regency san francisco ,USA
(Source: l'atrium central dans les bâtiments tertiaires contemporains ,2015)*

II.4.6. Ventilation induite par le vent

L'air dans les atriums est principalement déplacé par une force induite par effet de cheminée. Dans les climats extrêmes, les modèles de ventilation à flottabilité ne sont pas considérés comme des moyens efficaces à cet effet. On doit faire recours à des efforts supplémentaires qui seront déployés pour maximiser l'efficacité de la ventilation dans les atriums, à titre d'exemple la ventilation induite par le vent, cette dernière est une stratégie employée pour atteindre un niveau de confort thermique souhaité. Cela est dû à l'emplacement des ouvertures dans l'édifice et l'effet des bâtiments entourant (**figure II.22.**).

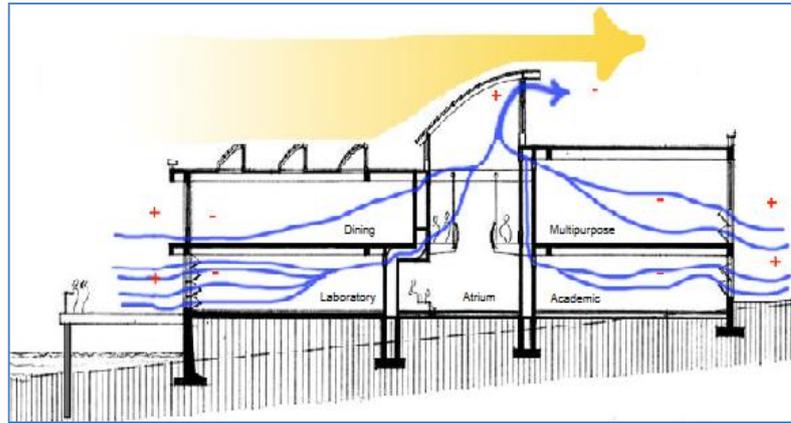


Figure II.22. Ventilation naturelle induite par le vent.
(Source: natural ventilation).

Aboshosha .H et al approuvent que la ventilation induite par le vent offre une force motrice plus forte pour la ventilation naturelle des bâtiments. Il a été noté que pendant les périodes chaudes de la journée, les pressions du vent aux différentes ouvertures extérieures du périmètre du bâtiment augmentaient l'écoulement .

La stratégie de ventilation naturelle induite par le vent considérée comme un moyen économique et écologique, serait capable d'offrir des prestations de refroidissement passif pour les atriums si bien conçus.

Un autre exemple, c'est le nouvel immeuble du groupe EIB, Ses ouvertures sont créées en parties haute et basse de la façade vitrée permettant à l'air extérieur d'entrer et de sortir du bâtiment, tout en optimisant les flux d'air frais dans les grands volumes. Cet apport d'air frais extérieur rafraîchit naturellement l'air intérieur et assure son renouvellement avant d'être expulsé vers l'extérieur. Pendant les nuits chaudes, cette circulation d'air est favorisée pour refroidir au maximum l'ensemble du bâtiment. Les fenêtres de tous les bureaux peuvent également être ouvertes pour créer un courant d'air, s'il est nécessaire (**figure II.23.**).

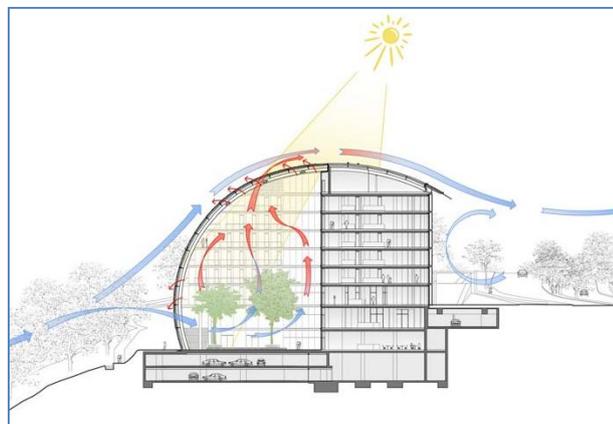


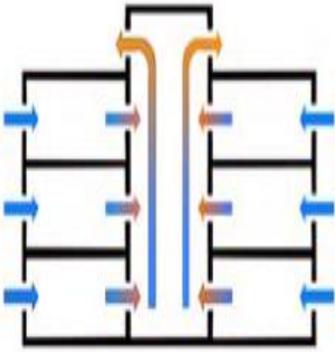
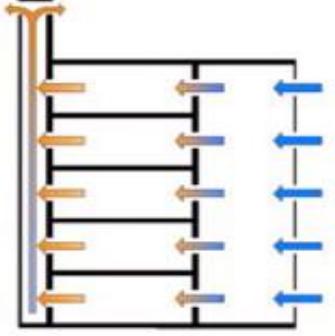
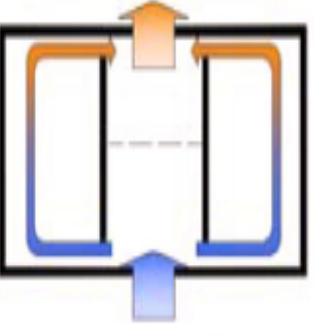
Figure II.23. Ventilation naturelle dans l'atrium du nouveau immeuble du groupe EIB.
(Source: banque européenne d'investissement, EIB Group east Building)

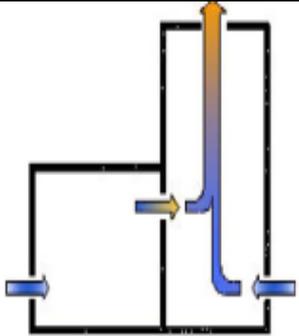
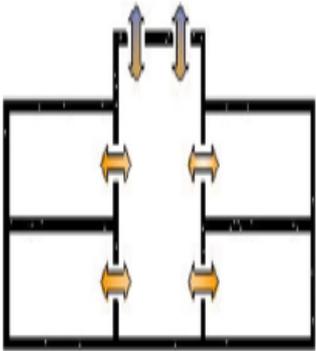
Pour le régime du toit , afin d'assurer une ventilation naturelle et réduire la pénétration du rayonnement solaire, le vent induit une ventilation transversale pour compenser la chaleur prisonnière dans l'espace couvert. Cela rendra les atriums couverts plus significatifs pour les activités commerciales et publiques notamment avec de grandes foules en plus de l'efficacité

II.5. Différents modèles de la ventilation dans les atriums

Moosavi Leila et al en 2014 présentaient le rôle de l'atrium pour assurer la ventilation (tableau II.2.).

Tableau II.2. Différents modèles de la ventilation dans les atriums (Source: Moosavi Leila et al ,2014)

| N° | Modèle | Rôle de l'atrium | Mode de ventilation | Observation |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A |  | Atrium entourant l'air entrant et évacuant l'air en dehors. | Ventilation par l'effet de cheminée | l'atrium aide simplement à évacuer l'air chaud des espaces adjacents hors du bâtiment. |
| B |  | Fournir de l'air frais | Air de l'atrium et sortie par la cheminée solaire | |
| C |  | L'entrée d'air par l'atrium et l'évacuation de l'air par l'atrium (de bas en haut) | Fournir de l'air frais et conduire l'air stagnant | l'atrium non seulement draine l'air stagnant, mais fournit également de l'air frais pour les espaces adjacents et l'atrium. |

| | | | | |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| D |  | Echappement d'air chaud | sortie d'air dans l'atrium comme un échappatoire | L'atrium épuise l'air chaud et se connecte à l'extérieur pour attirer l'air frais directement à lui-même |
| E |  | Préchauffage | L'air de l'atrium et sortie de l'air d'échappement de l'atrium (du haut vers le haut) | l'atrium peut utiliser la ventilation pour le chauffage en fournissant de l'air frais et en évacuant l'air stagnant avec moins de ventilation d'air . |

II.6.Recommandations selon les guides BIO- TECH

La hauteur de l'atrium doit être très importante car elle influe sur la stratification thermique, afin que le tirage thermique soit maximal. Il est très probable que les températures dans les niveaux supérieurs de l'atrium soient inconfortables pour les occupants. C'est le cas de l'atrium ouvert sur les étages qui permet la circulation entre eux.

Les guides BIO-TECH propose diverses possibilités permettant de contourner ce problème. Dans certains cas, il faudra envisager de couper les étages supérieurs de l'atrium, et d'envisager un système de ventilation indépendant. Il est également possible d'incorporer des éléments dans la partie supérieure de l'atrium. Ces éléments auront pour rôle d'absorber les rayonnements solaires en hauteur. Ils vont alors se réchauffer et diffuser la chaleur, donc en altitude. Les éléments absorbants peuvent être constitués :

- > Des éléments de la structure (parois), qui joueront le rôle de masse thermique. Il faut alors intégrer des protections solaires permettant de limiter l'éclairement zénithal.
- > Des cloisons ou volets (volet) qui agissent en tant que dispositifs d'ombrages, empêchant les apports solaires directs à travers l'atrium vers les espaces occupés. Les cloisons peuvent être arrangées de manière à bloquer le rayonnement solaire direct, et ainsi éviter l'éblouissement, tout en permettant une vue du ciel et un éclairage par diffusion de la

lumière. Cette stratégie est doublement efficace, car elle concentre les apports thermiques en hauteur, tout en les limitant en partie basse (**figure II.24.**).

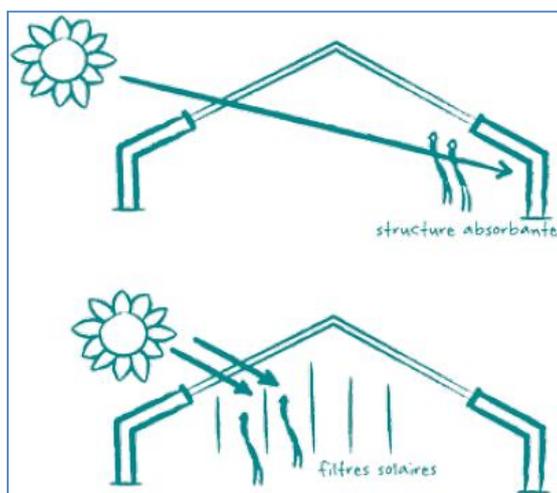


Figure II.24. Structures absorbantes dans un atrium.

(Source : « Natural ventilation in non domestic buildings » Guide CIBSE, 2005)

La hauteur de l'atrium doit être la plus élevée possible, car le débit généré pour la ventilation naturelle est en fonction de la hauteur \times gradient de température. Celui-ci étant variable et difficilement maîtrisable, il faut donc jouer sur le facteur de la hauteur de l'atrium.

La prise en compte du vent répond aux mêmes problématiques que pour les cheminées de ventilation.

Si les sorties d'air sont mal disposées, une grande surpression limitera les débits voire les inversera. Dans ce cas, il est possible de concevoir :

La sortie d'air de manière à ce que la pression induite par le vent favorise la ventilation pour toute direction du vent.

Enfin, les règles d'isolation s'appliquent ici tout comme pour les cheminées, notamment solaires. Il ne faut pas que les déperditions thermiques soient plus fortes que les apports solaires en hiver, et il faut pour cela utiliser un vitrage thermiquement performant, et qui laisse passer la lumière.

Des avantages évidents d'avoir une façade vitrée qui apporte la lumière du jour et de haut niveau de l'éclairage, mais aussi améliore la ventilation naturelle. "Cependant, un système d'ombrage doit toujours être en vigueur afin d'éviter les problèmes d'éblouissement et les taux de ventilation devraient être mieux contrôlés pour empêcher la surchauffe pendant les journées chaudes et ensoleillées. Ils mettent en lumière le fait qu'une conception passive, comme c'est le cas de ce bâtiment, qui peut conduire à un

environnement de travail de haute qualité, à condition que les techniques d'optimisation compte tant de lumière du jour et la ventilation naturelle.

Marveh Jaberansari et Hisham Elkadib en 2016 ont présenté les résultats préliminaires d'une simulation thermique en climat semi-aride pour comparer l'influence de différents types d'atriums dans un immeuble de grande hauteur en matière de chauffage et refroidissement, et de le comparer également avec une étude de base d'un immeuble de bureaux sans atrium. Pour démontrer le meilleur type d'atrium .

Cette étude porte seulement sur la forme carrée des tours d'immeubles de bureaux avec 5 différents types d'atriums (**figure II.25.**).

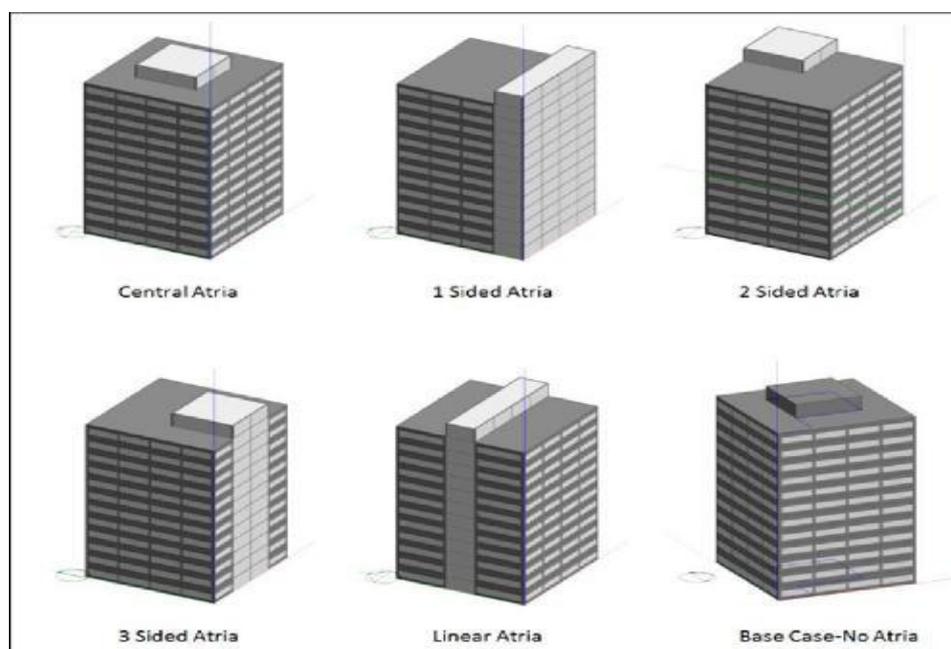


Figure II.25. Différents types d'atriums.

(Source: Marveh Jaberansari et Hisham Elkadib, 2016)

La simulation thermique a été réalisée avec le logiciel Design- Builder³. Les prototypes sont simulés avec l'examen de quatre orientations principales durant deux saisons (chaude et froide). Les résultats ont montré que les pertes de chaleur en cas de base (sans atrium) est moins que les autres modèles (avec l'atrium).

La **figure II.26** montre également que le cas de base a le moins de gains de chaleur par rapport à d'autres prototypes. Cela justifie par Bednar (1986) et Zhang (2009) : l'atrium peut être

³ DesignBuilder : est un logiciel de simulation dynamique, permet d'étudier Calcul des déperditions/gains thermiques de l'enveloppe en hiver/été et dimensionnement du rafraichissement par ventilation naturelle et/ou climatisation.

un espace de gain de chaleur direct qui pourrait être avantageux en hiver, mais peut être un inconvénient en été.

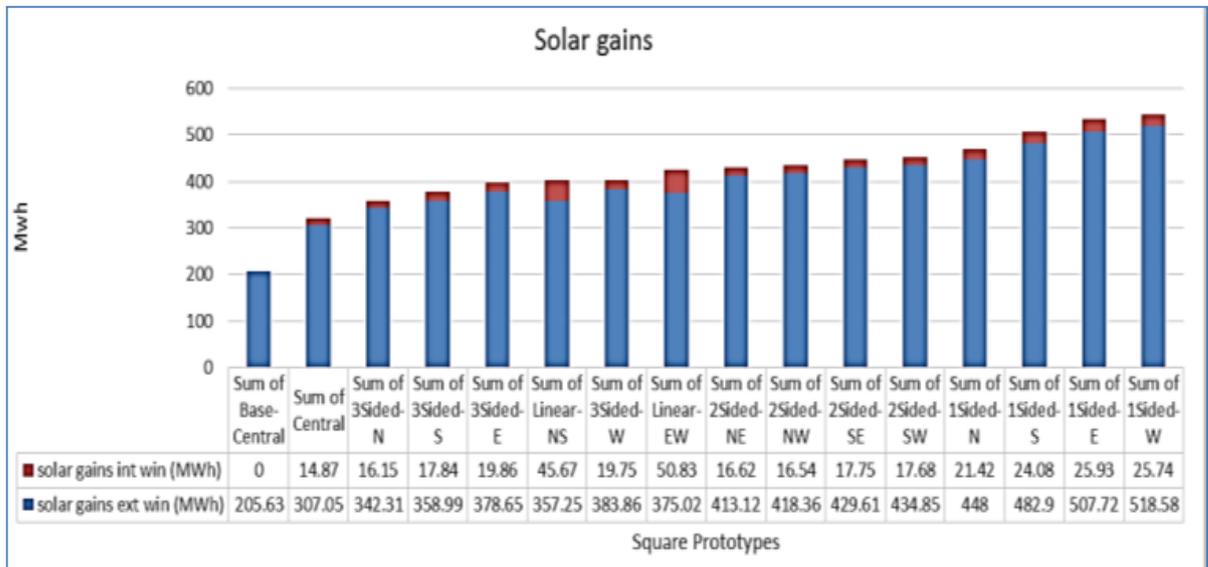


Figure II.26. Gains solaires durant la saison chaude.
(Source: Marveh Jaberansari et Hisham Elkadib, 2016)

Une conception soignée nécessite la connaissance d'interaction entre les différents éléments afin d'arriver à un équilibre thermique et de pression (figure II.27.).

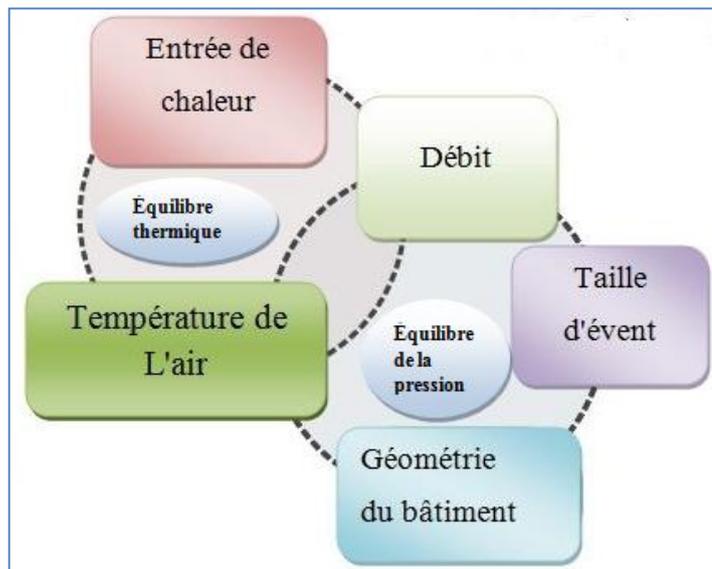


Figure II.27. Equilibre entre les variables pour une conception de base.
(Source: CIBSE technical symposium, 2015)

Conclusion

Les atriums sont connus par une surchauffe prononcée durant la période estivale qui nécessite une demande de refroidissement excessive et une consommation énergétique énorme. Afin de minimiser les dépenses ,on utilise les différentes techniques de

refroidissement passif dans les atriums qui comprennent : D'une part, la ventilation naturelle est déterminée comme meilleure solution par sa fiabilité et efficacité car elle peut réduire les impacts négatifs de surchauffe dans les espaces internes qui a largement contribué à l'économie d'énergie, manifestée par le phénomène du tirage thermique défini par différence de température et de pression entre l'intérieur et l'extérieur. En effet, elle peut être atteinte en créant des ouvertures appropriées dans des lieux particulièrement dans les niveaux supérieur et inférieur d'atrium(Ahmed Qadir Ahmed ,2013). D'autres part , l'ombrage des atriums combiné avec une bonne orientation pour maintenir la chaleur extérieur, l'emploi de la masse thermique, refroidissement radiatif , refroidissement par convection, et la ventilation nocturne pour atteindre une bonne température au début du jour suivant ,ainsi que la présence des plantes réduit la surchauffe provoquée par le rayonnement solaire intense par l'évaporation et le refroidissement par évaporation qui sert a réduire la température surfacique par l'évacuation de la chaleur latente en raison de l'évaporation de l'eau , sans oublier que le vent offre une force motrice plus forte pour la ventilation naturelle des bâtiments.

Dans le but d'avoir une très bonne ambiance aéraulique dans les atriums , il est préférable d'envisager de couper les étages supérieurs de l'atrium et d'envisager un système de ventilation indépendant ,ces étages supérieurs peuvent incorporer des éléments dans leurs partie supérieure de l'atrium pour absorber les rayonnements solaires .La hauteur de l'atrium doit être la plus élevée possible, car le débit généré pour la ventilation naturelle est en fonction de sa hauteur .

CHAPITRE III

FACTEURS AGISSANT SUR

L'AMBIANCE

THERMO-AÉRAULIQUE DANS LES

ATRIUMS

Introduction

Un grand nombre de bâtiments à atrium ont été construits au cours des dernières années, certains se sont révélés très efficaces alors qu'un certain nombre d'autres ont échoué pour diverses raisons (Oosthuizen et Lightstone, 2009). Ces échecs soulignent tous la nécessité d'une analyse détaillée de l'environnement thermique dans les atriums et la nécessité d'une évaluation des conditions de confort thermique des occupants. Certains problèmes qui peuvent survenir avec l'intégration des fonctionnalités de l'atrium en bâtiments sont l'inconfort thermique, associé à des régions à haute température, la stratification thermique résultant des rayons solaires excessifs et l'éblouissement avec une sensation d'insatisfaction.

III.1. Facteurs agissant sur l'ambiance thermo-aéraulique dans les atriums

Ces facteurs sont considérés comme des éléments de base que le concepteur doit les prendre en considération lors de la phase conceptuelle dans le but d'avoir un atrium adéquat au climat et à faible consommation d'énergie, car l'atrium n'est pas toujours notre ami, il a le potentiel de constituer un élément fonctionnel visuellement impressionnant et énergivore.

III.1.1. Facteurs climatiques

III.1. 1.1. Effet de l'emplacement géographique

Les conditions climatiques extérieures influent sur la conception architecturale des bâtiments à ventilation naturelle. La qualité de l'air interne est le résultat de l'interaction entre l'environnement intérieur et extérieur. En particulier, la ventilation naturelle, dans lequel l'emplacement géographique et les conditions extérieures ayant un effet sur le rendement thermique de l'immeuble (Shafqat Hussain, 2012) (**figure III.1.**).

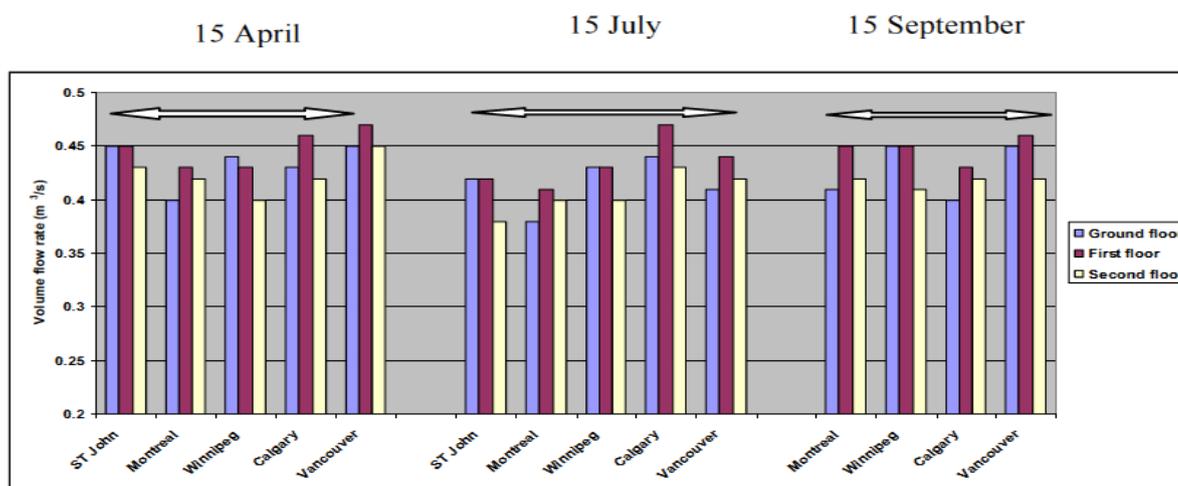


Figure III.1. Effet de la localisation géographique du bâtiment sur le taux de ventilation dans chaque étage à 13:00 h en avril, juillet et septembre 15, 2010 à St. John's, à Montréal, à Winnipeg, à Calgary et à Vancouver. (Source: Shafqat Hussain, 2012).

D'après les résultats, il a également fait observer que l'intensité solaire et la situation géographique ont une incidence considérable sur le débit de la flottabilité et les distributions de température dans le bâtiment. Dans le climat chaud et humide comme à Vancouver, un bâtiment nécessiterait une hauteur significative pour amener suffisamment de gradient de pression causée par la différence de température (Shafqat Hussain et al, 2012).

III.1.1.2.Type du climat

Les différents climats, différents lieux et différentes conditions météorologiques auront un fort effet sur la performance de l'atrium (Kitagawa Aaron .K, 2011), dans le but de fournir un apport solaire et la lumière du jour sans éblouissement ainsi que l'amélioration des caractéristiques de confort thermique, duquel chaque forme d'atrium a un avantage environnemental particulier qui est choisi en fonction de son état (Moosavi Leila et al, 2014).

On constate que les conditions climatiques ayant un impact significatif sur l'ambiance interne des atriums en climat chaud, les effets environnementaux ne sont pas toujours en mesure de désir. Un exemple typique de ceci est que le vitrage permet une profonde pénétration de haut niveau d'éclairage naturel, bienvenu pour un espace intérieur, et bien sur un fort rayonnement solaire, qui est un facteur négatif pour le confort thermique dans ces régions (Douvrou & Pitts, 2001 ; Edmonds & Grayson, 2002).

Dans le même climat l'adoption d'un atrium et une cour à Riyad (Arabie saoudite) qui a un climat sec et chaud. On constate que le modèle de l'atrium consomme plus d'énergie pour le refroidissement que le modèle d'une cour intérieure. Les résultats peuvent s'expliquer par le fait que le gain de chaleur dans le modèle d'atrium est plus que celui de la cour pendant les saisons chaudes qui ne sont pas préférable.

En conséquence, la perte de chaleur dans la cour est plus que le modèle atrium durant la courte période de l'hiver. Cependant, les pertes de chaleur ne sont pas considérables et son montant est un petit nombre (Ahmed Qadir Ahmed, 2013).

D'une part, les climats tropicaux caractérisés par un excès de rayonnement solaire à travers les vitrages qui peuvent aggraver les conditions thermiques internes surtout pendant les heures de travail (Mohd Hamdan Ahmad et Sayyed Mohammad Mahdi Mirmomtaz, 2013). D'autre part, l'atrium doit être attaché au bâtiment comme une façade vitrée afin d'obtenir plus de chaleur solaire en hiver et une vue plus attrayante au cours des différentes saisons pour les climats tempérés.

Pour les climats chauds et humides, les atriums centralisés et linéaires sont les types les plus efficaces pour minimiser les fluctuations de température pendant les saisons chaudes et

modérées. Par conséquent, ces atriums centralisés et linéaires sont les formes génériques les plus courantes en usage dans les régions chaudes (Moosavi Leila et al, 2014).

III.1.2.3.Radiation solaire

L'intensité des flux de chaleur solaire est le principal facteur pour la détermination de la performance du bâtiment. Son influence dépend également sur la direction et de l'emplacement des surfaces de vitrage du bâtiment (Shafqat Hussain, 2012), puisque le rayonnement solaire pénétrant à travers les murs ou le toit en verre pour fournir la lumière du jour qui est un le facteur le plus significatif d'inconfort dans les bâtiments, par la création de la stratification thermique dans les atriums.

Dans les tropiques, il pose un sérieux problème avec les rayonnements émanant de la haute altitude du soleil de l'après-midi. Cependant, cela dépend des formes de protection solaire et des types de verre utilisés dans le bâtiment. Par exemple, la présence de stores internes de haut niveau a eu un effet approximativement égal à celui de l'eau pulvérisée sur le toit pour atténuer l'effet de la stratification thermique dans le climat chaud et humide.

III.1.1.4.Vent

C'est la force motrice de ventilation dans les atriums, il joue un rôle important dans l'augmentation de l'effet de cheminée. La force du vent capte l'air dans l'atrium en augmentant la pression positive exercée sur l'ouverture d'entrée. Il diminue également la pression négative sur l'ouverture de sortie sous le vent. La ventilation par vent est particulièrement efficace dans les zones où la vitesse du vent est relativement élevée. Cependant, la fonction du vent est limitée à de nombreux facteurs tels que la construction environnante.

III.1.1.5.Température

La répartition de la température de l'air de l'atrium est plus importante que la charge thermique à l'intérieur du bâtiment. L'écoulement d'air froid à des températures plus basses diminue non seulement la température de l'air intérieur, mais augmente également la capacité de refroidissement qui se traduit par des quantités de refroidissement plus élevées stockées dans la masse thermique. En outre, de petites différences de température entre les espaces internes et externes peuvent briser le processus de ventilation naturelle induite par la flottabilité.

III.1.2.Facteurs conceptuels

L'atrium naturellement ventilé est apparu comme un modèle attributif dans le but de minimiser la consommation énergétique, qui le résultat de plusieurs paramètres qui pouvant agir sur la performance thermique et la performance de ventilation.

III.1.2.1.Orientation

L'atrium est peut-être sujet à la surchauffe due à une combinaison de chaleur par rayonnement et gains solaires excessifs par radiation solaire, par conséquent un gain d'énergie généré est due à l'orientation de l'atrium et de ses parois verticales et horizontales. Aussi la durée d'insolation des parois de l'atrium reçoivent une intensité de chaleur, produisant une influence sur la température de la surface et de l'air. De même, l'orientation de l'atrium est un point important à prendre en charge pour éviter les phénomènes de surchauffe pendant la période estivale (Kainlauri et al, 1995).

Dans le cas de grandes constructions qui incorporent un atrium, la priorité est généralement donnée à l'éclairage naturel, dans ce cas l'atrium sera largement ouvert vers le ciel (afin de maximiser l'éclairage zénithal) et son axe principal sera Nord-Sud. On limitera d'autre part les surfaces Est et Ouest afin de réduire les surchauffes estivales (**figure III.2.**).

Pour de plus petits bâtiments, des surfaces Sud vitrées peuvent contribuer au chauffage de l'atrium en hiver.

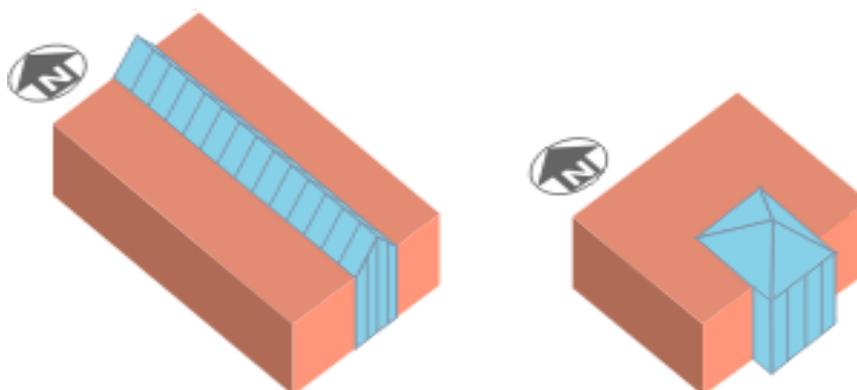


Figure III.2. Meilleure orientation.

(Source: <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=2>).

Remarquons que dans tout type d'atrium, il est intéressant d'accepter un peu de rayonnement direct, afin d'améliorer de la perception de l'espace. Ce supplément est souvent décisif puisqu'il permet alors d'éviter un appoint d'éclairage artificiel. Sans connaître ce

bâtiment ni sa fonction, une telle configuration ne nous paraît énergétiquement pas adéquate. Des surchauffes importantes doivent probablement se produire en période ensoleillée.¹

Susan Bajracharya (1989) recommande que l'orientation des surfaces vitrées est l'une des considérations de conception les plus importantes pour la conservation de l'énergie dans les espaces de l'atrium. L'impact, cependant, est beaucoup plus important pour les atriums linéaires que les atriums carrés. En outre, la sensibilité à l'orientation et à la valeur U et la transmission visible diminuent. Comme il est difficile de contrôler le rayonnement solaire à faible angle, il est préférable d'éviter les murs vitrés orientés à l'Est ou à l'Ouest; Les atriums situés au Nord ou au Sud sont préférables.

Dans un bâtiment à charge interne dominé par un climat chaud, un mur vitré orienté vers le Nord est utile pour éviter le gain solaire, tout en conservant une vue sans éblouissement.

Dans les climats froids, l'orientation des atriums est importante pour ses performances et sa fonctionnalité. Idéalement, un atrium au Sud offre le plus de potentiel pour exploiter l'énergie du soleil, mais le changement d'orientation peut avoir des effets positifs et négatifs (Kitagawa Aaron .K, 2011).

Par ailleurs, il est nécessaire d'ombrager les murs de l'atrium et le plancher. Dans les climats où il fait chaud en été et froid en hiver, les orientations Sud devraient inclure des parasols horizontaux au soleil d'été et protégé quand le soleil d'hiver est bas, une certaine forme d'ombrage sur le toit de l'atrium peut être nécessaire pour maintenir la chaleur à l'extérieur par l'emploi des éléments de la commande réglables qui peuvent être ajoutés à des surfaces du toit et des parois pour éviter la surchauffe et la perte de lumière du jour (Swinal Samant, 2011).

III.1.2.2.Géométrie de l'atrium

Une bonne conception de l'atrium permettra d'améliorer l'environnement intérieur et de réduire la consommation d'énergie. L'atrium peut être configuré de différentes façons, mais les configurations doivent toujours être une réponse à la vie en réduisant la consommation énergétique.

III.1.2.2.1.Effet du type de l'atrium sur la distribution de température et la vitesse d'air

Mohd Hamdan Ahmad et Sayyed Mohammad Mahdi Mirmomtaz (2013) ont comparé deux formes d'atrium l'un éclairé en haut (centralisé) et l'autre latéral. Son objectif est d'étudier : le flux d'air , la distribution de la température , la performance thermique et les

¹ (En ligne) <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=2>

conditions de ventilation naturelle en utilisant la simulation avec le CFD (dynamique des fluides) , sous le climat chaud et humide de la Malaisie afin d'aider les concepteurs de prendre de bonnes décisions.

Les résultats montrent que le modèle d'atrium centralisé avec deux ouvertures au niveau du toit et les portes du rez-de-chaussée est plus efficace. En effet, plus grande quantité de radiations solaires acquise par le toit crée un effet de cheminée plus puissant et conduit à l'amélioration de la ventilation de l'atrium. Bien que des ouvertures plus petites du modèle latérale montrent un plus faible taux d'air (**figure III.3**).

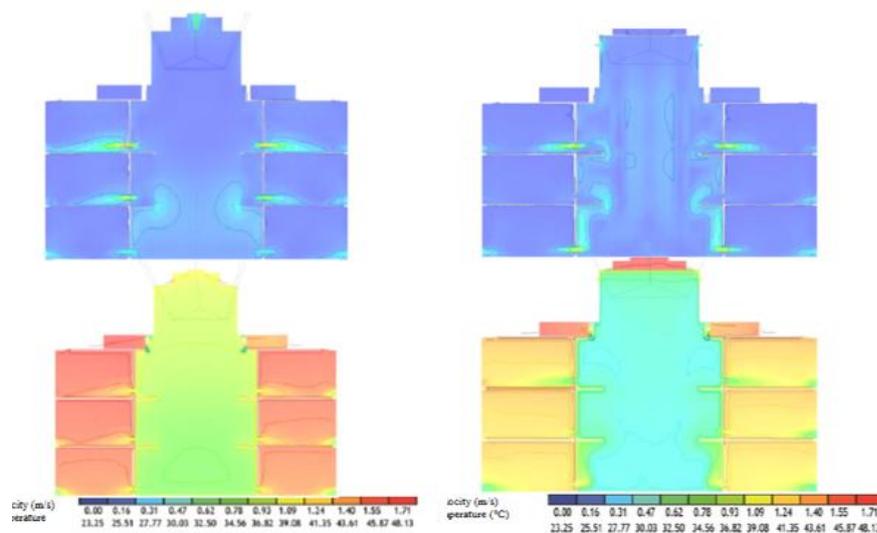


Figure III.3. Droite :Distribution de température et vitesse de l'air dans l'atrium latérale à Gauche: distribution de température et vitesse de l'air dans l'atrium centralisé.
(Source : Mohd Hamdan Ahmad et Sayyed Mohammad Mahdi Mirmomtaz ,2013).

Cette étude montre que le modèle d'atrium centralisé ayant plus de perte de chaleur par rapport à l'atrium latéral (**figure III.4**) .

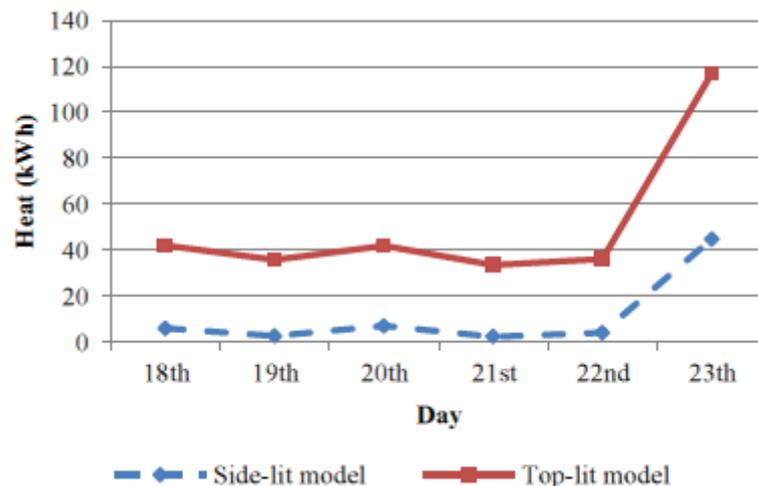


Figure III. 4. Déperdition thermique dans les deux cas.
(Source : Mohd Hamdan Ahmad et Sayyed Mohammad Mahdi Mirmomtaz ,2013).

III.1.2.2.2. Effet d'intégration d'une cheminée solaire

L'ambiance thermo- aéraulique dans les atriums est renforcée par l'effet de cheminée, où la hauteur de cette dernière augmente la hauteur de la colonne d'air chaud à l'intérieur du bâtiment et attire l'air frais de l'extérieur et qui est réchauffé à partir de l'échange de chaleur par convection avec l'espace interne (Shafqat Hussain et Patrick Oosthuizen, 2012).

Les différentes configurations géométriques de l'espace atrium ont été considérées pour étudier l'effet des changements de conception de l'atrium sur le débit d'air et les distributions de température dans le bâtiment , après l'évaluation de la performance de la ventilation des différentes configurations de l'atrium afin de déterminer l'atrium le plus performant (Shafqat Hussain, 2012).

Shafqat Hussain (2012) a conclu que l'augmentation de la hauteur de cheminée de 2 m à 4 m, augmente le débit volumique de 30 % pour chaque étage. L'augmentation de la hauteur de cheminée de 4 m à 6 m provoque une augmentation de débit volumétrique de 7 % sur le premier et deuxième étages mais de 30 % sur le troisième étage. Alors qu'il y a une petite augmentation dans les valeurs de température sur chaque étage, et l'augmentation de la largeur de la cheminée de 1 m entraîne une augmentation de 4 % en débit volumique sur chaque étage. Il a été noté que la profondeur ou la largeur de l'atrium et la largeur de la cheminée avait peu d'influence sur le débit de ventilation.

À partir de l'analyse des différentes géométries de l'atrium dans le bâtiment, il a été constaté qu'un atrium avec une cheminée sur le toit a permis d'améliorer la performance thermique du bâtiment.

III.1.2.2.3. Effet de la largeur /hauteur de l'atrium

D'une part, des études paramétriques ont démontré que la profondeur de l'atrium mise en relation avec la largeur avait un impact sur la qualité d'éclairage naturel. Lorsque l'atrium est plus profond, des problèmes d'éclairage naturel peuvent manifester dans les parties basses et même sur la stratification thermique. De même il a été démontré qu'en modifiant les hauteurs des atriums, compte tenu du phénomène de cheminée, une ventilation naturelle pouvait être optimisée (Owens et al, 1987).

D'autre part Jones et al (1993) ont effectué une étude sur l'analyse de la manière dont la modification de la géométrie de l'atrium qui affecte la stratification thermique. Il a été constaté une différence de température entre le haut et le bas lorsque la température extérieure et le rayonnement solaire augmentent.

Il ressort de la comparaison entre les résultats des simulations effectuées sur les deux configurations, que l'atrium étroit présente une importante stratification par rapport à l'atrium large, et la différence est de l'ordre de 12°C lorsqu'il y a un fort ensoleillement (**figure III.5.**). Ceci est expliqué par la limitation de la pénétration du soleil dans l'atrium étroit alors qu'une profonde pénétration du soleil sur toute la hauteur dans le cas du large atrium où les zones chauffées sont réparties sur toute la hauteur.

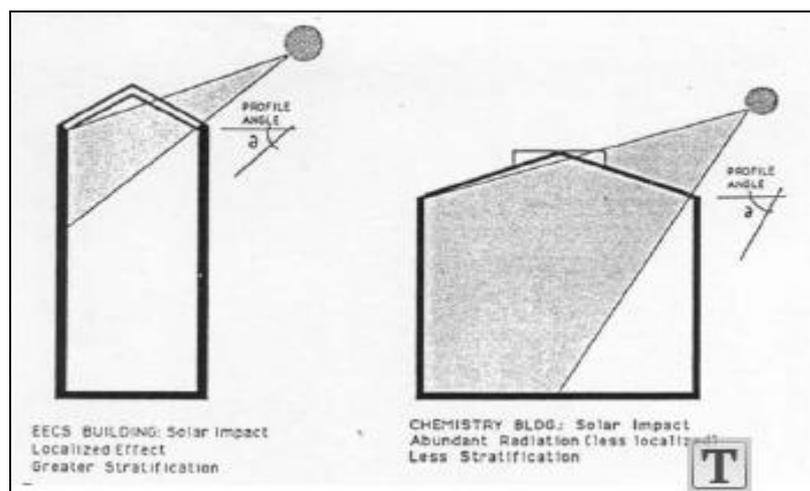


Figure III.5. Pénétrations solaires dans les deux atriums.

(Source : Jones et al ,1993)

D'après les résultats obtenus par Shafqat Hussain (2012), on constate qu'avec une augmentation de la profondeur de l'atrium de 2 m, le débit volumique augmente de 4% et il y a une petite augmentation des valeurs de température dans chaque étage. L'augmentation de la largeur de l'atrium de 1 m entraîne une augmentation de 4% du débit volumique et une légère augmentation de la température.

III.1.2.3.Choix des matériaux adéquats

La masse thermique est une caractéristique d'un matériau qui absorbe l'énergie thermique à partir d'une source de chaleur, puis le libère lentement. Cela peut être utilisé pour aider à réguler la chaleur dans un espace en augmentant la quantité d'énergie nécessaire pour changer sa température. Le béton et les briques sont souvent employés comme masses thermiques dans une structure. L'utilisation efficace de la masse thermique permet de réduire considérablement les écarts de température diurne et rendre les conditions à l'intérieur du bâtiment plus confortables. La masse thermique est donc un élément essentiel de la conception solaire passive, principalement en raison de la nécessité de stocker l'énergie solaire reçue par le bâtiment au cours de la journée et puis à la relâcher progressivement la

nuit. Ceci peut être réalisé à travers le choix des matériaux de construction. Par conséquent, pour comprendre la performance de l'enveloppe du bâtiment, la masse thermique est importante en raison de la construction de bâtiments à basse énergie parce que la masse thermique permet de réduire les charges de refroidissement et les variations de température de l'air intérieur dans les bâtiments.

III.1.2.4. Couverture du toit d'atrium

III.1.2.4.1. Forme de la lucarne (skylight)

La forme du toit d'atrium (lucarne ou skylight) est un élément essentiel dans la conception de l'atrium. Puisque le toit reçoit de la chaleur solaire en fonction de sa couleur, ses ouvertures et sa matière.

La nature du toit influe sur la performance thermique, en plus elle aura une incidence sur la conception finale en termes de consommation d'énergie et de la performance d'enveloppe, en ce qui concerne les niveaux d'éclairage naturel internes, les températures internes, le flux d'air et la performance acoustique, ayant une influence sur l'environnement intérieur (Azni Zain-Ahmed et al; Marzieh Kazemzadeh, 2015).

Laouadi, A et al ,2002 ont ressorti une synthèse à-propos la forme de la lucarne sur la performance du bâtiment dans un climat froid (Ottawa) (**tableau III.1.**).

Tableau III.1. Impact de la forme de la lucarne sur la performance du bâtiment (Source: Laouadi ,A et al,2002)

| Le taux annuel d'énergie de chauffage | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Lucarne pyramidale | A réduit le taux annuel d'énergie de chauffage entre 7% et 30% pour le double vitrage gris. |
| | A augmenté le taux annuel d'énergie de chauffage entre 7% et 24% pour le triple vitrage transparent à faible -E. |
| Le taux de gain de chaleur solaire | |
| La lucarne pyramidale / inclinée par rapport à la lucarne plate | A augmenté le taux de gain de chaleur solaire jusqu'à 25% dans la saison de chauffage pour les atriums encastrés et linéaires. |
| | A augmenté le taux de gain de chaleur solaire jusqu'à 10% pour l'atrium de trois côtés. |
| La forme du puits de lumière n'a pas affecté de manière significative le rapport de gain de chaleur solaire pendant la saison de refroidissement. | |

| Le taux annuel d'énergie de refroidissement | |
|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| La lucarne pyramidale de l'atrium encastré. | A réduit le taux annuel d'énergie de refroidissement de 6% pour le double vitrage transparent. |
| La lucarne pyramidale de l'atrium à trois côtés. | A réduit le taux annuel d'énergie de refroidissement de 19% pour tous les types de vitrages. |
| La lucarne inclinée de l'atrium linéaire. | A augmenté le taux d'énergie de refroidissement annuel jusqu'à 12% pour tous les types de vitrages. |
| Le rapport énergétique annuel total | |
| La lucarne pyramidale / inclinée. | A permis de réduire le rapport énergétique annuel total jusqu'à 11% . |
| l'atrium fermé / linéaire | A permis de réduire le rapport énergétique annuel total jusqu'à 11% pour le double vitrage gris. |
| La lumière pyramidale de l'atrium de trois cotes | A réduit le rapport d'énergie total annuel entre 3% et 14%. |

III.1.2.4.2. Matériau utilisé

La détermination du confort dans un bâtiment qui incorpore un atrium est liée au type du vitrage approprié ainsi que la connaissance des propriétés thermiques et optiques de ce système ainsi que le choix adéquat d'un système de contrôle, pour répondre à la réduction de la consommation d'énergie. sans négliger les infiltrations et les mouvements d'air et l'éclairage dans l'atrium (Özgür Göçer et Ashhan Tavil, 2008) .

III.1.2.4.2.1. Vitrage LCP

Une étude de John Ashley MABB en 2011, visait à montrer qu'en modifiant le vitrage avec l'inclusion de vitrage sélectif angulaire découpés au laser (LCP), pourrait faire le rejet de la lumière directe du soleil en haute altitude et par conséquent une amélioration de la performance thermique et de l'éclairage naturel global des atriums et leurs espaces adjacents. En réduisant la charge énergétique du bâtiment tout en conservant le confort d'occupation.

L'analyse de simulation et les données recueillies sur le terrain ont pu déterminer que les panneaux découpés au laser sont une option supérieure de vitrage par rapport au vitrage clair. Le LCP a amélioré la température et le niveau de lumière dans les atriums et leurs espaces adjacents dans un climat Sub- tropical à certains moments de l'année, sous certaines conditions du ciel (**figure III.6.**).

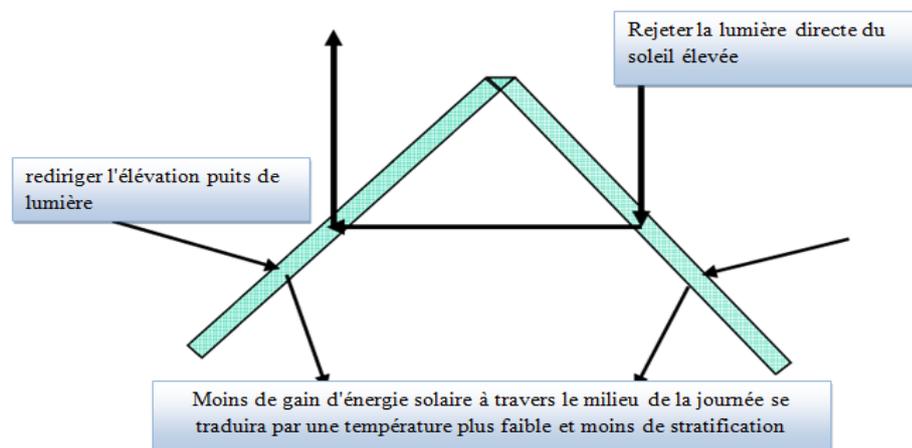


Figure III.6. LCP réorientent la lumière par la lucarne pyramidale
(Source: John Ashley MABB,2011).

Laouadi, A et al ,2002 ont ressorti une synthèse à-propos de l'impact du choix du type de vitrage de la lucarne sur la performance du bâtiment dans un climat froid(Ottawa) (**tableau III.2.**).

Tableau III.2. Impact du type du vitrage sur la performance du bâtiment (Source: Laouadi, A et al ,2002)

| Le taux de charge de pointe de chauffage | |
|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| Le double vitrage gris | Réduit le taux de charge de pointe de chauffage à 41% |
| Le triple vitrage transparent à faible-E | Réduit le taux de charge de pointe de chauffage à 10% |
| Le taux annuel d'énergie de chauffage | |
| Le double vitrage clair | Réduction du taux annuel d'énergie de chauffage a varié de 42% |
| Le triple vitrage clair | Réduction du taux annuel d'énergie de chauffage a varié de 13%. |
| le taux annuel d'énergie de refroidissement | |
| Le double vitrage gris | A réduit le taux annuel d'énergie de refroidissement entre 51% et 58%. |
| Le triple vitrage clair à faible-E | A réduit taux annuel d'énergie de refroidissement entre 27% et 31%. |
| le rapport annuel de l'énergie de chauffage | |
| Le double vitrage gris | A augmenté le rapport annuel d'énergie de chauffage entre 28% à 50%. |
| Le ratio d'énergie totale annuelle | |
| Le double vitrage gris | A permis de réduire de 23% à 35% le taux annuel d'énergie totale |
| Le triple vitrage clair à faible-E | A permis de réduire de 40% le taux annuel d'énergie totale. |

| le rapport de charge de refroidissement | |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| le double vitrage gris | A réduit le rapport de charge de refroidissement de 30% à 39%. |
| Le vitrage triple clair à faible-E | A réduit le taux de charge maximale de chauffage entre 52% et 58%. |

Une baisse des charges maximale de chauffage était dû à la baisse des valeurs U du vitrage, qui ont abouti à une diminution des pertes de chaleur du bâtiment. Puisque le vitrage de haute valeur du U a entraîné des pertes de chaleur dans le bâtiment, par conséquent, de faibles charges de refroidissement lorsque la température intérieure était plus élevée que celle de l'extérieur, ce qui était souvent le cas dans la région d'Ottawa, au Canada pays nordique.

III.1.2.4.2.2. Couverture en ETFE

Les coussins d'ETFE peuvent assurer une isolation thermique avec une réduction des coûts par rapport à un toit vitré classique. L'une des principales raisons pour utiliser ETFE est son faible coefficient de transmission thermique (Robinson-Gayle et al, 2001).

Le **tableau III.3** montre une comparaison entre les vitrages et les coussins d'ETFE isolant en matière du coefficient de transmission thermique (valeur U) et au total de transmission d'énergie solaire (valeur g).

Tableau III.3. Transmission thermique et solaire pour les vitrages et les coussins d'ETFE (Source: Salz et al, 2006)

| Description | Valeur de U (W/m ² K) | Valeur du g |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------|-------------|
| verre monolithique 6 mm | 5.9 | 0.95 |
| 6-12-6 Double vitrage unité de (DGU) | 2.8 | 0.83 |
| 6-12-6 Haute performance double vitrage unité à (DGU) | 2.0 | 0.35 |
| 2 couches de coussin ETFE | 2.9 | 0.71- 0.22 |
| 3 couches de coussin ETFE | 1.9 | 0.71-0.22 |
| 4 couches de coussin ETFE | 1.4 | 0.71-0.22 |

Les propriétés thermiques et optiques des coussins d'ETFE peuvent être modifiées de manière significative par l'application de revêtements, d'impression, de la géométrie et l'accumulation dans laquelle ils sont appliqués. Les deux exemples suivants illustrent la manière dont la transmission d'énergie à travers un coussin ETFE (transmission, réflexion et absorption) peuvent être modifiés (Salz et al, 2006).

La figure III.7 illustre l'application d'un filtre réfléchissant intermédiaire pour un coussin gonflable; les feuilles intermédiaires peuvent être dans une position ouverte ou fermée, permettant à la chaleur et à la lumière du jour de passer dans l'espace intérieur.

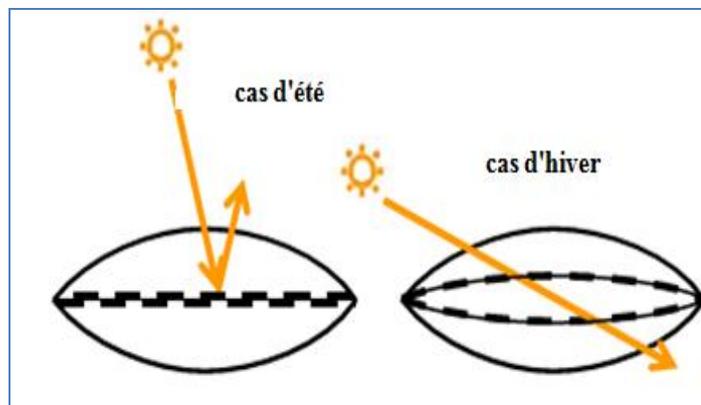


Figure III. 7. Couche réfléchissante intermédiaire Coussin en ETFE
Source: (salz et al, 2006)

Tableau III.4. Flux de chaleur et des températures pour un modèle du verre et ETFE. (Source: salz et al, 2006)

| description | vitrage | ETFE |
|-----------------------------------------------------|---------|------|
| Gain radiatif de la longue onde (W/m ²) | 195 | 218 |
| Gain convective [W/m ²] | 73 | 56 |
| Gain total [W/m ²] | 328 | 334 |
| Température de la couche externe [°C] | 48 | 45 |
| Temperature Intercalaire [°C] | 81 | 74 |
| Température de la couche interne [°C] | 58 | 53 |

III.1.2.4.2.3.Polycarbonate

La couverture en utilisant le polycarbonate offre plusieurs avantages en matière de performance thermique (**figure III.8.**):

- Il permet le contrôle du rayonnement solaire et réduit l'accumulation de chaleur dans les bâtiments et la protection des personnes contre UV , les intempéries et le jaunissement causé par une exposition prolongée aux rayons du soleil et prolonge la durée de vie de la plaque.
- Fait bénéficier au bâtiment un éclairage naturel important tout en réduisant les déperditions de chaleur (beaucoup plus éco-énergétique) .
- Cette matière permet d'atteindre des valeurs U qui peuvent descendre jusqu'à 0,83W/m² k. et la réduction de l'empreinte carbone du bâtiment.



Figure III.8. Vitrage en polycarbonate alvéolaire.
(source: www.brettmartin.com).

III.1.2.4.3. Surface du vitrage

La performance d'atrium change suivant les climats et les saisons. En hiver, la température de l'air intérieur est généralement plus élevée que la température extérieure en raison de la chaleur solaire même dans des atriums non chauffés. Cette augmentation de la température dépend de la surface de vitrage à la surface de mur. En outre, l'inclinaison et l'orientation du vitrage solaire affecte le gain de chaleur, puis la température de l'air ambiant. Les principaux avantages de cette augmentation de température sont la réduction de la perte de chaleur (Ahmed Qadir Ahmed ,2013) (**figure III.9.**).

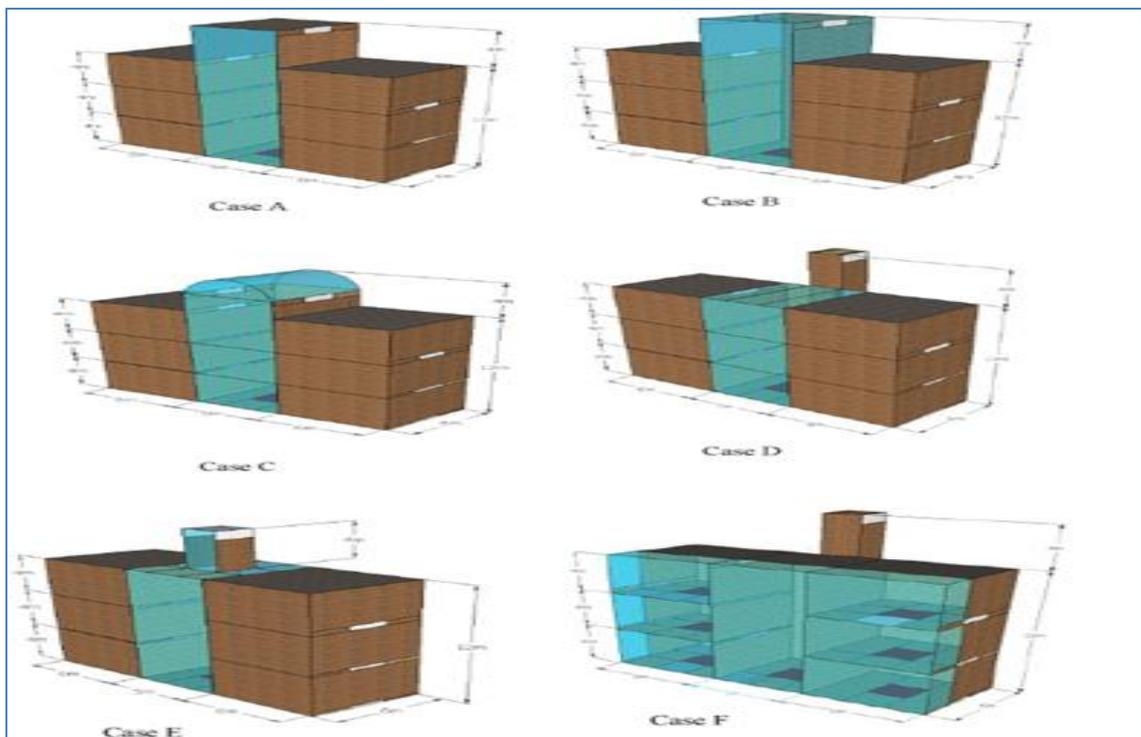


Figure III.9. Différentes configurations.
(Source : Shafqat Hussain,2012)

Tableau III. 5. Impact de changement de surface de vitrage sur la distribution de température et débit d'air

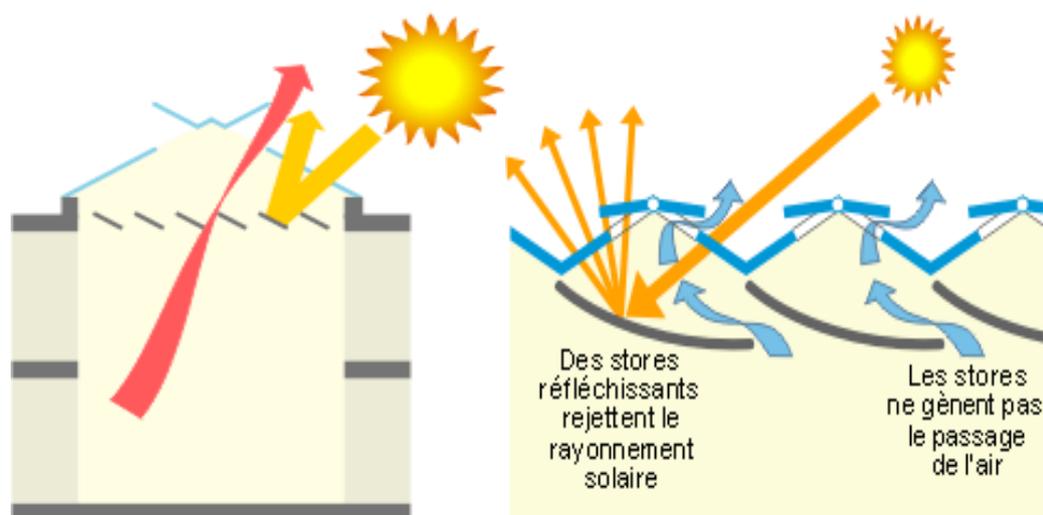
(Source: Shafqat Hussain, 2012)

| Atrium Dessins et modèles | Vitrage (m ²) | Le débit (m ³ /s) Dans chaque chambre | | | | La température (oC) à 1,1 m du sol de chaque chambre | | | |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|------|------|------------------|---------------------------------------------------------|-------|-------|------------------|
| | | RDC | R+1 | R+2 | Atrium entrée | RDC | R+1 | R+2 | Atrium entrée |
| Cas A | 80 | 0,37 | 0,37 | 0,35 | 0,72 | 32,62 | 32,36 | 31,87 | 32,62 |
| Cas B | 154 | 0,44 | 0,45 | 0,42 | 0,83 | 33,64 | 33,43 | 32,97 | 33,79 |
| Cas C | 127 | 0,43 | 0,42 | 0,40 | 0,78 | 33,56 | 33,48 | 33,05 | 33,65 |
| Cas D | 90 | 0,42 | 0,42 | 0,39 | 0,81 | 33,32 | 33,09 | 32,70 | 33,32 |
| Cas E | 94 | 0,42 | 0,42 | 0,40 | 0,80 | 33,61 | 32,39 | 32,68 | 33,93 |
| Cas F | 286 | 0,51 | 0,52 | 0,49 | 1,00 | 35,28 | 34,79 | 35,65 | 34,79 |

Les résultats du **tableau III.5.** montrent qu'une augmentation de surface de vitrage seront considérés comme ayant un effet positif sur le débit volumique mais aussi provoque une augmentation de la température intérieure .

III.1.2.4.4. Protections solaires pour lutter contre la surchauffe

L'espace atrium est caractérisé par le problème de surchauffe en été, où les apports solaires sont très importants .Et le bilan annuel risque d'être négatif si un refroidissement mécanique est réalisé dans l'atrium, ou si le refroidissement des locaux adjacents est renforcé suite à la présence de l'atrium. Pour garantir une lutte contre ce phénomène de surchauffe, on doit d'abord penser comment limiter les apports solaires en utilisant des dispositifs d'ombrage amovibles qui sont essentiels en été pour éviter les surchauffes (**figure III.10.**)²

**Figure III.10.** A gauche protection solaire internes ,a droite stores réfléchissantes.(Source: <https://www.energieplus-lesite.be>).² (En ligne) : <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=2>

Donc, on doit utiliser des protections solaires qui permettent d'apporter l'air en partie inférieure et on tentera la ventilation naturelle. En quelque sorte, c'est le principe de la voiture décapotable qui doit être adopté (**figure III.11.**).

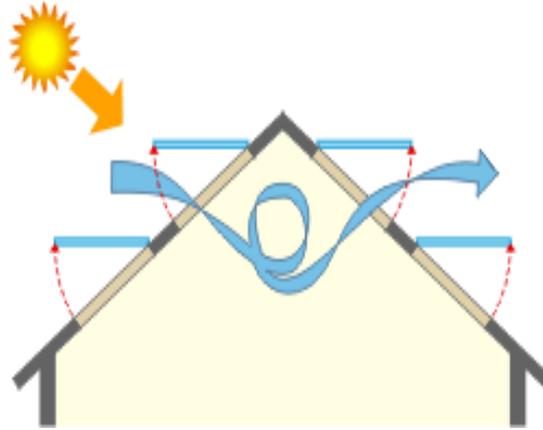


Figure III.11. Ouvrant du toit d'atrium.
(Source: <https://www.energieplus-lesite.be>)

Pour résoudre les problèmes du surchauffe à l'intérieur d'un atrium, Il est donc impératif de contrôler la pénétration solaire du toit transparent, ce qui réduit le gain solaire à travers tout l'espace et d'abaisser la température intérieure, la solution proposée pour le bâtiment qui incorpore un atrium, était un système d'ombrage de toit interne. Le système d'ombrage devrait être en mesure de parvenir à un éclairage naturel de haut niveau en assurant un confort thermique. Bien que l'ombrage externe soit souvent préféré car il bloque le rayonnement solaire avant que la lumière du soleil ne pénètre dans le bâtiment et dissipe la chaleur à l'extérieur sans affecter le bâtiment, il a été décidé d'utiliser des systèmes d'ombrage internes tels que rideaux, rouleaux nuances, stores vénitiens horizontaux, stores verticaux et volets. Bien qu'ils ne bloquent pas la pénétration de la chaleur dans le bâtiment, ce qui suit ont été considérés comme leurs avantages par rapport aux teintes externes (Fan Wanga et al ,2014).

D'après Fan Wanga et al (2014) , le choix du type de la protection solaire suivant plusieurs paramètres :

- 1-La durée de vie (ils se dégradent moins vite).
- 2-Une légèreté, qui impose moins de charge sur la structure existante.
- 3- Le coût.
- 4-La mise en œuvre pour l'installer.
- 5- Le mode de fonctionnement (rétractable).
- 6- Leurs influences sur l'esthétique de l'immeuble.

Vu que la pénétration solaire a été considérée comme une variable d'environnement, car elle peut augmenter la température de l'air dans les atriums, une étude a été faite par Fan Wang et al (2014) en utilisant deux types d'installation de protection solaire intérieur ; l'une sous forme horizontale perpendiculaire aux parois (laisser un espace entre le toit et la protection) (modèle 01) et l'autre suivant la forme du toit (modèle 02), pour tester l'efficacité de chaque type de protection et leur influence sur la diminution de la surchauffe (**figure III.12. et III.13.**).

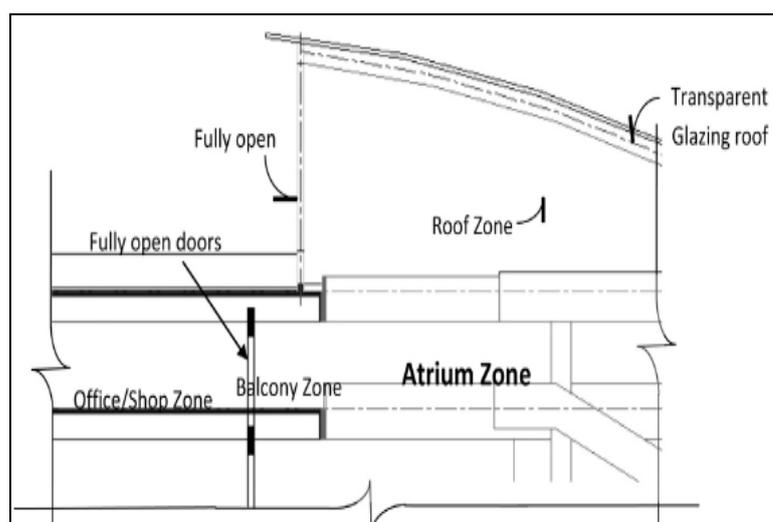


Figure III. 12. Etat original sans intervention.(Source :Fan Wang et al ,2014).
(Source: Fan Wang et al ,2014).

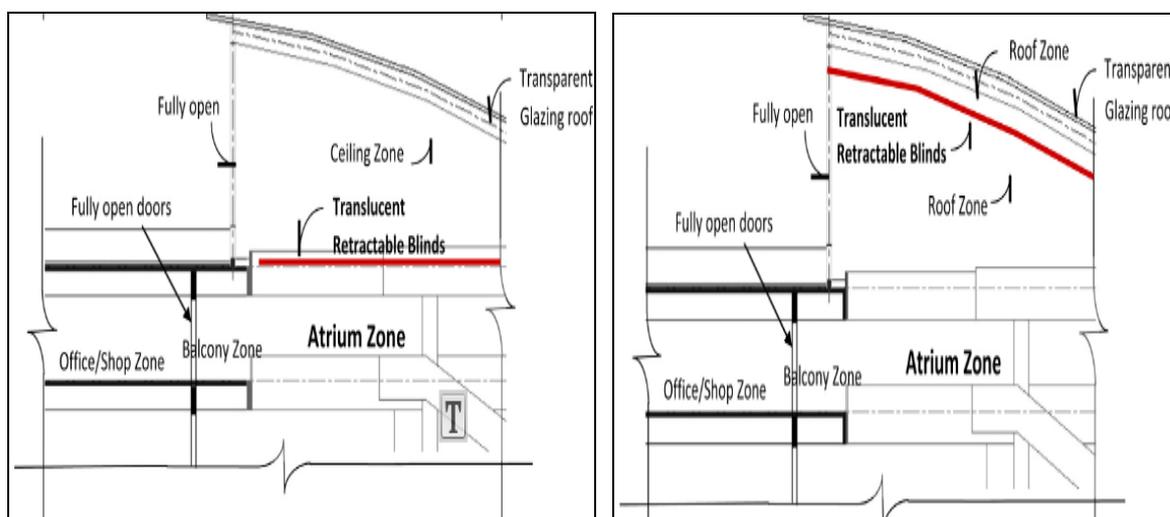


Figure III.13. A gauche protection solaire modèle 01, A droite modèle 02
(Source: Fan Wang et al ,2014).

Les résultats de prédiction montrent, d'une part, que la protection solaire a été très efficace dans la réduction des températures intérieures et réduit le gain de chaleur par rayonnement. Et d'autre part, les stores inférieures (modèle 01) étaient plus efficaces que les

stores de niveau supérieur (modèle 02) en termes de fournir une meilleure performance thermique et éclairage intérieur. En été, cette configuration permettrait de réduire deux tiers (2/3) du gain de chaleur solaire dans l'espace de l'atrium.

Les stores de niveau bas ont un long chemin à soulager l'inconfort thermique d'été au sein de l'atrium en réduisant significativement la température de la surface intérieure du «plafond», la partie qui est thermiquement visible de ceux des zones de circulation. L'ombrage a également réduit la température de l'air, mais pas beaucoup. Pour la conception d'un système d'ombrage efficace, il est nécessaire de créer un espace tampon ventilé naturellement, dont, le grand vide entre le toit transparent et les stores d'ombrage inférieurs permet la liberté de circulation de l'air et de dissiper la chaleur à l'extérieur. Cette zone tampon est une des principales raisons où les stores inférieurs sont plus efficaces pour l'ombrage que les stores plus élevés.

Par conséquent, les dispositifs d'ombrage rétractables sont recommandés pour fournir le dépistage des rayons solaires excessifs notamment durant l'été.

Dans le même contexte Kittitach Pichatwatana, et Fan Wang (2013) ont conclu que la configuration d'ombrage au niveau du plafond (modèle 1) fonctionne mieux que la configuration d'ombrage incurvée sous le toit en terme de la charge totale de refroidissement(**figure III.14.**) . Or, L'économie d'énergie a été réduite au minimum de 6,61 à 7,24% pour la configuration d'ombrage au niveau du plafond (modèle 1) et dans la gamme de 3,56 à 3,73% pour la configuration d'ombrage du toit incurvé de dessous (modèle 2).

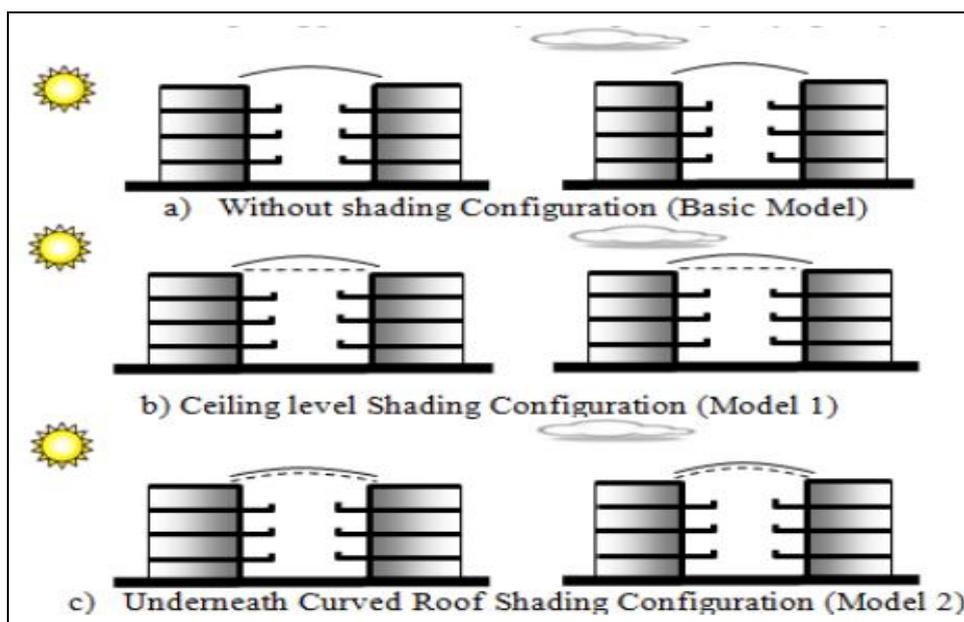


Figure III.14. Différentes situations de la protection d'ombrage interne.

(Source: Kittitach Pichatwatana, et Fan Wang ,2013).

Les résultats de prédiction ont montré que la stratification de la température de l'air intérieur dans l'atrium est réduite de manière significative grâce à l'installation des dispositifs d'ombrage pour les deux configurations représentatives. La configuration d'ombrage au niveau du plafond (Modèle 1) était généralement plus efficace que la configuration d'ombrage au-dessous du toit incurvé (Modèle 2) en terme de fournir un meilleur rendement thermique interne non seulement le gain de chaleur solaire considérable a été inférieur de 51,49 à 69,72% en été et de 24,93 à 59,50% en hiver, en outre la charge de refroidissement a également été minimisée de 6,61 à 7,24%. Les résultats prévus ont également indiqué, que la configuration d'ombrage au niveau du plafond (modèle 1) peut améliorer le confort thermique dans l'atrium en été en réduisant la température de l'air dans la plage de 0,93-0,95% et la température résultante dans l'intervalle de 2,00 à 4,13% dans les territoires occupés (**figure III.15.**) .

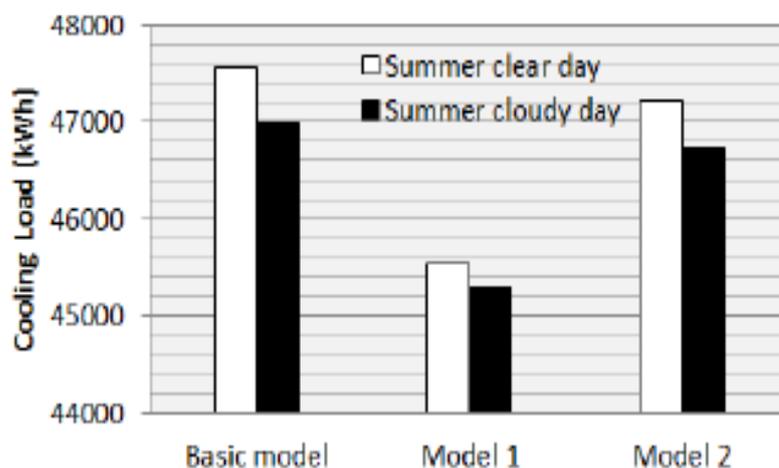


Figure III.15. Charges de refroidissement quotidien dans les magasins autour de l'atrium principal.
(Source: Kittitach Pichatwatana, et Fan Wang ,2013).

Cependant en hiver, les températures de l'air intérieur et les températures qui en résultent dans le bâtiment de l'atrium ne sont pas élevées. Les stores solaires internes ne devraient pas être prolongés. Il est donc recommandé que les dispositifs d'ombrage rétractables doivent être effectués pour fournir un meilleur confort thermique interne (Kittitach Pichatwatana, et Fan Wang ,2013).

D'un autre coté, une étude faite sur un atrium avec des étages en climat méditerranéen de Santiago du Chili, a montré que la protection de rayonnement solaire peut conduire à une réduction de 75% de la demande de refroidissement; tandis que la ventilation de nuit peut réduire seulement 10%. Toutefois, cela dépend de la protection solaire, des formes et des types de verre utilisés dans le bâtiment (Moosavin Leila et al,2014).

A titre d'exemple, la présence de stores intérieurs de haut niveau a eu un effet à peu près égal à de l'eau pulvérisée sur le toit afin de réduire l'effet de la stratification thermique dans le climat chaud et humide.

Dans le même contexte Abd.Halid Abdullah et al (2009) qui ont élaboré une étude sur une maison d'hôtes avec un atrium de trois niveaux en Chine du Sud en 2004, où l'été est chaud et humide, afin de minimiser les problèmes de surchauffe et de contrôler le gain à faible coût sur l'étage supérieur, ont incorporé des stores solaires et l'eau pulvérisée sur la surface externe du toit de l'atrium (simple vitrage). Les stores solaires à rouleaux internes ont été installés à chaque baie le long du mur et le toit de l'atrium face à l'ouest. Ces stores ont été actionnés manuellement et contrôlés par le personnel de gestion en particulier pendant les journées chaudes et claires. Ils étaient normalement étendus à 10:00 h et rétractés à environ 16:00 h. En plus de la réduction d'éblouissement, leur fonction première était de filtrer les radiations solaires diffusées et directement le long du mur orienté à l'ouest et du haut de l'atrium (**figure III.16**).

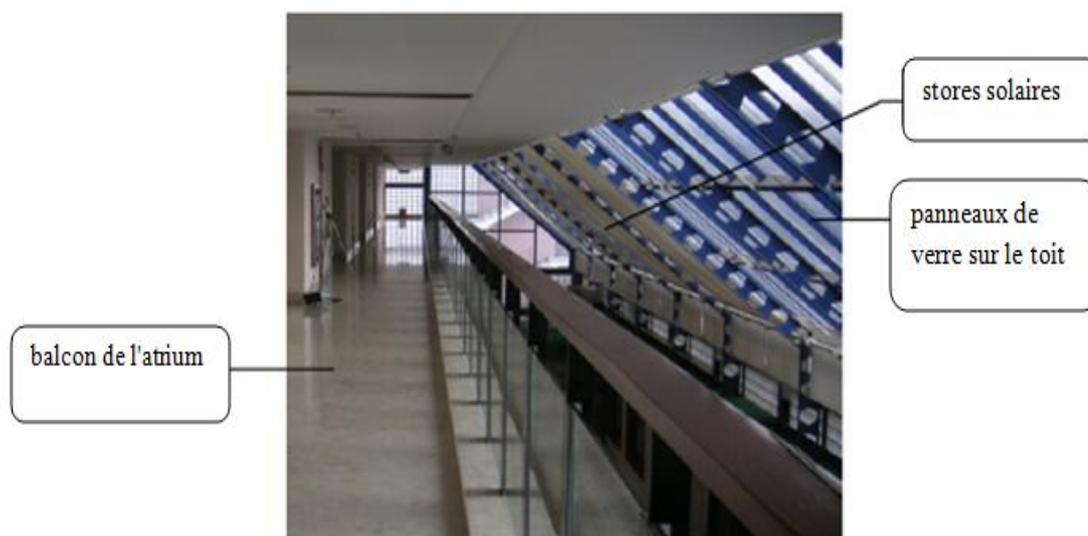


Figure III.16. Stores du toit interne.
(source: Abd.Halid Abdullah et al, 2009)

Afin d'assurer l'ombrage des atriums contre les apports solaire excessifs, on utilise une nouvelle matière : qui s'appelle le verre PVC.

-Verre PVC

C'est un tissu intérieur admirablement polyvalent, résistant qui se trouve à l'intérieur, constitué d'un tissu de fibres de verre avec un revêtement en PVC. Il possède de nombreuses caractéristiques, l'une étant qu'il est imprimable, ce qui en fait une excellente image de

marque, un élément intérieur artistique. Il est également disponible dans une variété de couleurs.³

-Ses avantages

-Gestion de la lumière

Verre PVC peut être utilisé principalement pour l'ombrage solaire intérieur et la gestion de la lumière du soleil. Il évite l'éblouissement dans les atriums ou dans des espaces avec de grandes parois vitrées. facile à entretenir, ce tissu a de nombreuses applications de stores et des écrans de soleil à voiles, cerfs-volants et radeaux suspendus.

-Améliorer l'acoustique de l'espace

L'introduction du verre PVC offre des améliorations acoustiques quantitatives à tout espace qui a beaucoup de surfaces réfléchissantes dures. Conçu pour absorber les ondes sonores et de réduire la réverbération, ce tissu est à la fois pratique et esthétique (**figure III.17 et III.18.**) .



Figure III.17. Protection solaire en verre PVC.
(source: <http://www.architen.com/materials/pvc-glass/>)



Figure III.18. Verre PVC.
(Source: <http://www.architen.com/projects/blenheim-palace-managing-solar-glare/>)

³ (En ligne): (<http://www.architen.com/materials/pvc-glass/>)

III.1.2.4.5. Présence d'ouvertures

-Caractéristiques d'ouverture

Divers aspects d'une ouverture agissant sur la qualité du confort intérieur tels que: le nombre, sa position, sa taille et son emplacement. Il a été vu que la conception des courbes Holford et Hunt en 2003 sont utiles pour établir la taille des événements d'entrée et de sortie d'air pour obtenir l'égalité des débits de ventilation dans chaque étage du bâtiment .

-Taille d'ouverture

A un rôle plus important car la stratification de la température de l'air dans l'atrium diminue d'une façon significative avec l'augmentation de la taille des ouvertures. Même les proportions d'ouvertures d'entrée et de sortie sont importantes pour assurer un flux d'air fort et bien réparti dans tout le bâtiment. Par exemple : dans les climats tempérés, un atrium améliore le flux d'air par une ventilation entraînée par la flottabilité si ses ouvertures supérieures sont d'une taille moyenne, alors que les ouvertures inférieures sont suffisamment petites. En outre, l'augmentation du nombre des ouvertures élève le débit d'air à travers l'atrium.

Holford et Hunt ont étudié un espace ventilé relié à un grand atrium et ont développé des modèles analytiques simples. Il a été démontré qu'au stade de la conception, ces techniques peuvent être utiles pour comprendre les caractéristiques du flux, y compris le débit de ventilation probable, la distribution de l'air frais et les distributions de température. Ils ont optimisé la ventilation naturelle dans un atrium en modifiant l'emplacement et la taille des ouvertures. Ils ont été en mesure de déterminer que l'ouverture supérieure devrait être d'une taille intermédiaire et l'ouverture inférieure devrait être suffisamment petite pour améliorer l'effet de la ventilation naturelle.

Afin d'observer l'applicabilité des techniques analytiques suggérées par Holford et Hunt, un simple atrium à trois étages a été conçu pour étudier l'utilisation de la ventilation naturelle induite par la flottabilité. Le bâtiment a été supposé être situé dans la région de Montréal, avec atrium orienté vers le Sud-Ouest (Shafqat Hussain, 2012) (**figure III.19.**).

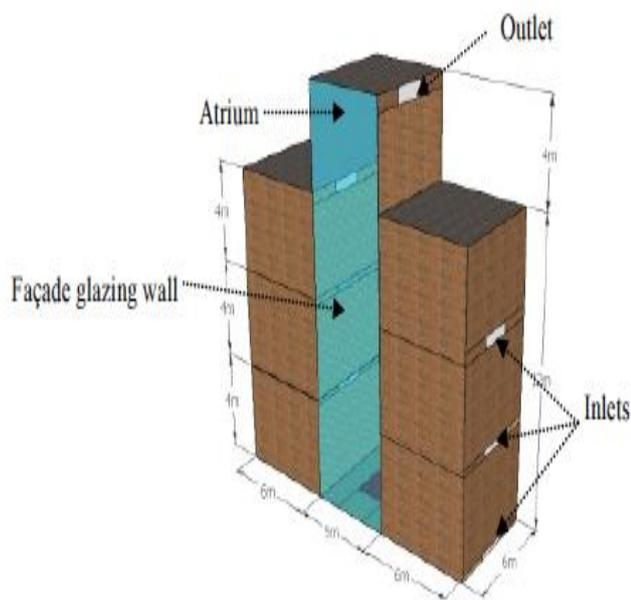


Figure III.19. Géométrie utilisée pour la simulation CFD.
(Source : Shafqat Hussain, 2012).

Les résultats indiquent que lorsque la surface d'ouverture d'entrée de chaque étage augmente, le débit de ventilation augmente jusqu'à ce qu'il atteigne son maximum. Les prédictions CFD du débit volumique ont été comparées aux prévisions analytiques obtenues à l'aide des courbes de conception développées par Holford et Hunt (2003) pour une géométrie simple .

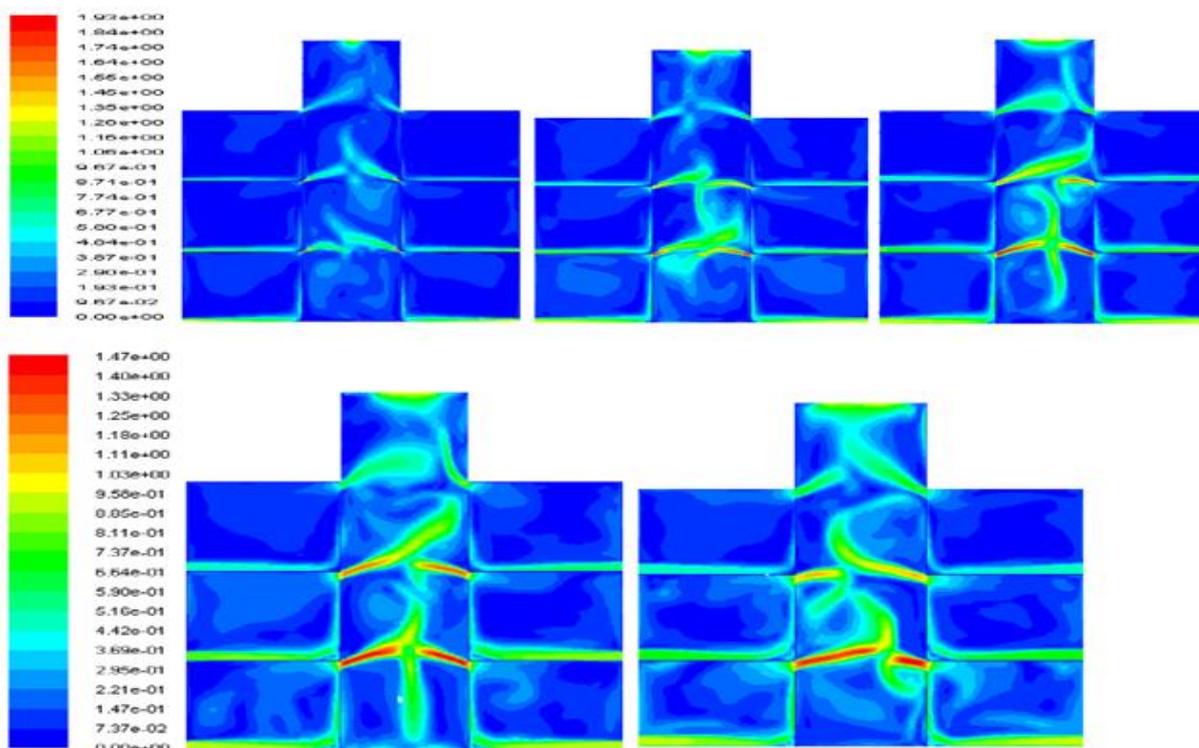


Figure III.20. Prédiction CFD de l'effet de l'augmentation de la zone d'ouverture d'entrée sur les contours de vitesse avec la même zone d'ouverture d'entrée pour chaque étage.
(Source: Shafqat Hussain, 2012).

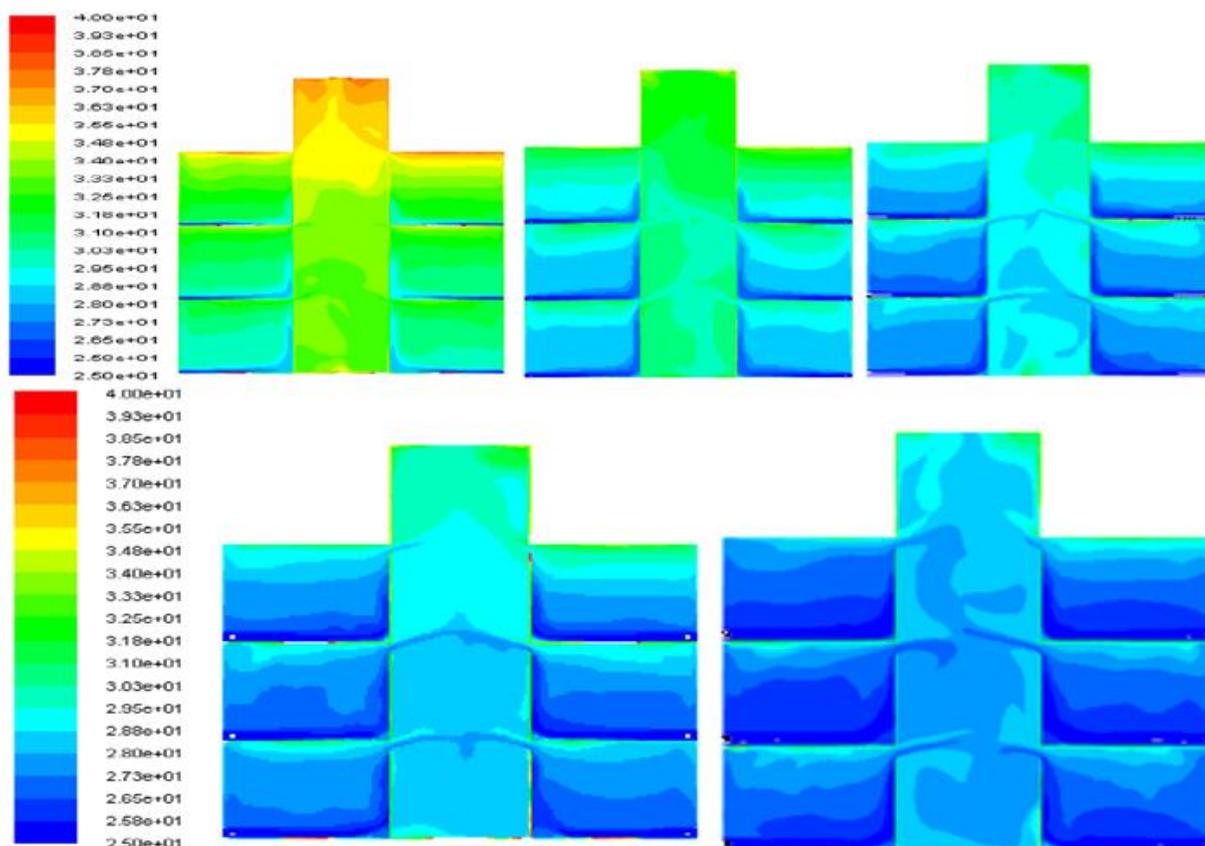


Figure III.21. Prédiction CFD de l'effet d'augmentation de la zone d'ouverture d'entrée sur les contours de température avec la même zone d'ouverture d'entrée pour chaque étage.

(Source: Shafqat Hussain,2012) .

Depuis les résultats numériques obtenus dans la **figure III.20.** et la **figure III.21**, il a été noté qu'en augmentant la zone d'ouverture effective totale pour chaque étage a provoqué une augmentation du volume du débit. La même observation a été rapportée dans la littérature. Cependant, afin d'obtenir le même débit de ventilation dans chaque étage, la zone d'ouverture effective totale pour chaque étage doit être différente. Le niveau supérieur a besoin d'une ouverture effective totale plus importante que l'étage inférieur pour compenser l'effet de cheminée inférieur.

Conclusion

Ce chapitre est consacré pour montrer que la conception des atriums est soumise à plusieurs facteurs agissant sur la qualité d'ambiance thermo-aéraulique, dans le but de minimiser la consommation énergétique. Néanmoins, ces facteurs sont classés en deux catégories: la première est d'ordre climatiques définis comme des facteurs constants selon la région où on veut implanter, qui contient : la situation géographique, la radiation solaire et les vents car l'intégration d'atrium dans les bâtiments ne se fait pas d'une manière standard mais en respectant les conditions climatiques qui sont différents d'une région à l'autre. Et la

deuxième d'ordre conceptuel varie selon le concepteur .Mais premièrement on prend en considération que l' orientation est un point important à prendre en charge pour éviter les phénomènes de surchauffe pendant la période estivale. Puis, le design doit assurer un compromis entre la largeur et la profondeur afin de garantir un équilibre entre un bon éclairage et moins de surchauffe ainsi que le choix adéquat des matériaux de construction avec des caractéristiques thermo physique intéressante (inertie thermique élevée) .Ensuite, au niveau de la lucarne qui agit sur la beauté du bâtiment soit par son matériau ,sa surface et par ses protections solaires qu'elle assure l'attractivité sans influencer négativement sur la demande de refroidissement ou chauffage.

Enfin , le concepteur doit intervenir avec ces facteurs en utilisant un compromis et un travail de va et vient pour avoir une très bonne interaction entre les facteurs afin d'avoir une réussite de cette conception pour garantir un bâtiment avec atrium naturellement ventilé sans le recours vers les moyens de pointe énergivore.

CHAPITRE IV
INVESTIGATION

«Le maintien de l'équilibre thermique entre le corps humain et son environnement est l'une des principales exigences pour la santé, le bien être et le confort» (Givoni, 1978)

Introduction

Au cours des dernières années, les demandes d'énergie et les préoccupations environnementales ont poussé les concepteurs de bâtiments à reconsidérer la conception économe en énergie caractéristique dans les bâtiments pour réduire la consommation d'énergie. Les atriums sont actuellement intégrés à la conception de nombreux grands bâtiments modernes afin de profiter de l'éclairage naturel, le chauffage solaire, et la ventilation naturelle (Shafkat.H, 2012). Tandis que, les aspects négatifs de l'atrium sont souvent négligés tout au long du processus de conception, et de plus en plus comme les atriums sont intégrés dans les bâtiments seulement pour des raisons esthétiques.

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer la performance du toit ouvrant d'atrium sur le comportement thermo-aéraulique sous l'effet du climat semi-aride comme celui de Constantine. L'investigation in situ s'est avérée nécessaire afin de mettre en évidence l'effet de l'atrium ventilé sur le confort du centre commercial "Sans Visa" choisi comme cas d'étude.

La campagne de mesure a fait objet du choix rigoureux des stations de mesure avec un matériel de mesure efficace durant deux périodes bien déterminées printanière et estivale, avec une mise au point des différents scénarios.

IV.1.Situation géographique de la ville de Constantine

La ville de Constantine se trouve au Nord-Est Algérien, à **36° 17'** de latitude Nord, et à **6° 37'** de longitude Est, située à 424km d'Alger. Chef lieu de wilaya, cette ville était fondée sur plateau rocheux, entouré par le lit du *Rhumel* avec des gorges atteignant 100m de profondeur en moyenne.¹



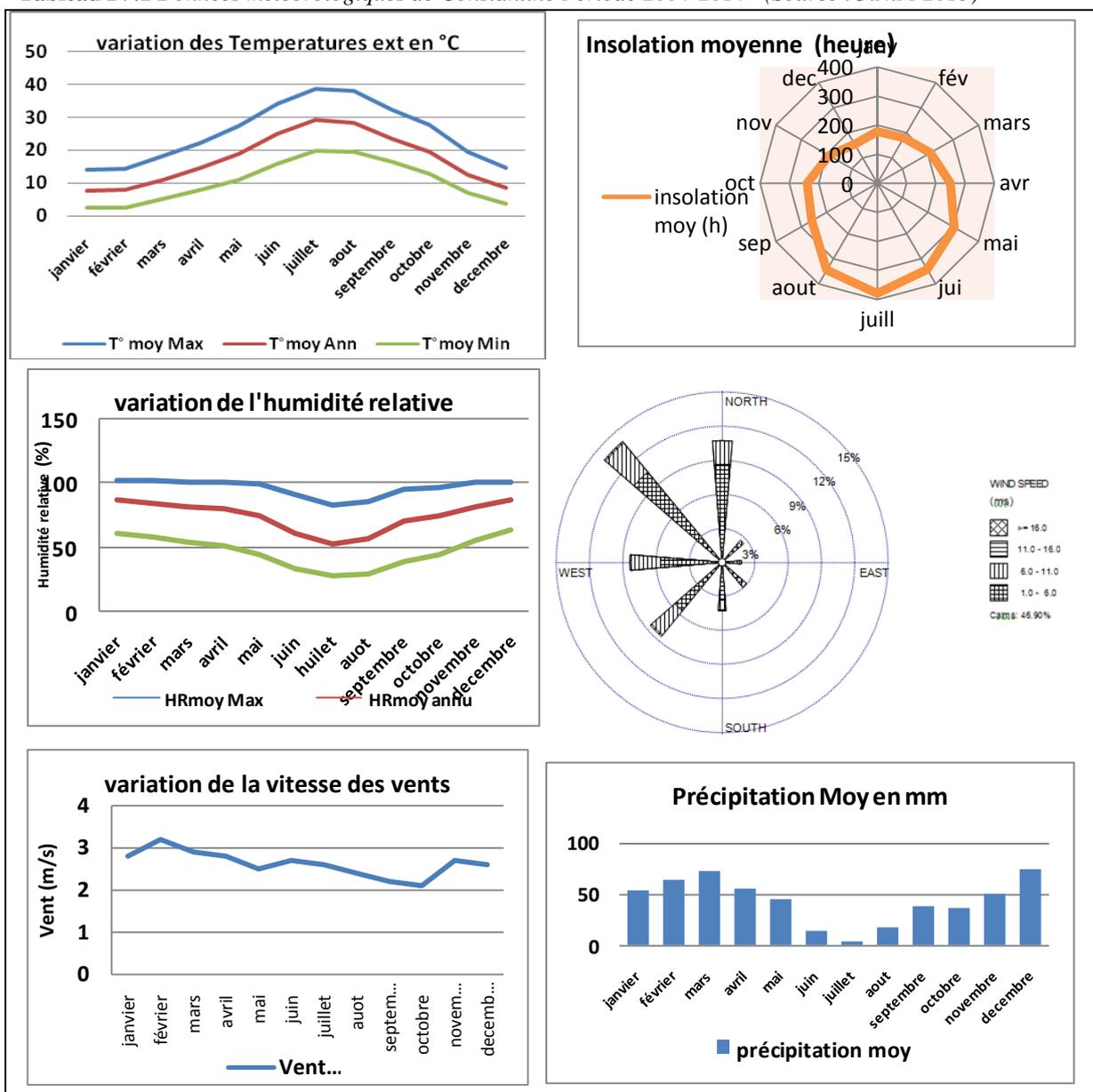
Figure IV. 1. Situation de Constantine.

(Source : <http://www.mexat.com/vb/printthread.php?t=1124282&pp=20&page=1>).

¹ Capderou.M « Atlas solaire de l'Algérie » tome 2 : aspect énergétique. OPU Alger, 1985.Page.398).

IV.1.1. Contexte climatique

Tableau IV.1 Données météorologiques de Constantine Période 2004-2014 (Source :O.N.M 2015)



D'après les données météorologiques citées dans le **tableau IV.1.** on constate que:

Température : Tmoy max = 38.6°C en juillet Tmoy min = 2.4°C en Janvier

Humidité : HR moy max = 103.02% en Décembre. HR moy min= 27.4% en Juillet

Vents: Les vents dominants dans la ville de Constantine sont de direction nord et Nord-Ouest.
V moy max = 3.2 m/s en Février V moy min = 2.1m/s en Octobre

Précipitations :Précip max = 76.26 mm en Décembre Précip min = 4.14 mm en Juillet

Insolation: Insol max = 350h en Juillet Insol min = 152h en Décembre.

Donc, La ville de Constantine est caractérisée par un $10 < I_m < 20$.

La ville de Constantine est classée comme région à **climat semi-aride.**

IV.2. Présentation du cas d'étude

Le choix du cas d'étude s'est porté sur l'atrium du centre commercial "SANS VISA" de la ville nouvelle Ali MENDJELI, Le khroub à Constantine (**figure IV.2.**). Il a été implanté dans un terrain urbain sis à UV 07 lot A14, dans une zone à caractère résidentiel, en juxtaposition d'un autre centre commercial qui s'appelle "La Coupole" sur le même alignement l'hôtel "Hôtel Hocine", avec une orientation Nord-Ouest. Il est conçu en date de 2011 sur une superficie de 1 117.63 m².

Ce centre commercial est caractérisé par son atrium avec un toit ouvrant (rétractable). Cette technique est considérée comme une nouvelle tendance dans le domaine de bâtiment ici en Algérie.

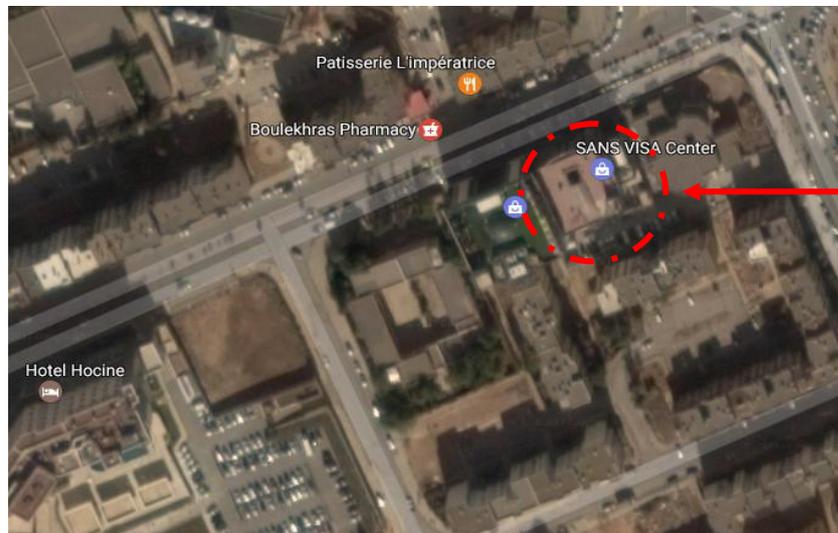


Figure IV. 2. Centre commercial Sans Visa.
(Source : www.googleearth.com).



Figure IV.3. A gauche volumétrie du cas d'étude, A droite Façade Nord-Ouest.
(Source :Auteur, 2016).



*Figure IV.4. A gauche façade Sud- Est , A droite Façade Nord-Est.
(Source :Auteur, 2016).*

La construction du centre commercial est sous forme d'un immeuble monobloc à quatre niveaux (R+3) (**figures IV.3. et IV.4.**), avec un procédé de construction en système traditionnel (poteau-poutre), et remplissage en briques double paroi et lame d'air pour les murs extérieurs, avec un habillage de façade en mur rideau.

Ce centre contient un sous-sol avec une rampe d'accès. L'accès au centre est fait de dix (10) marches. La circulation horizontale est assurée par des coursives qui entourent l'atrium et la circulation verticale est assurée par deux cages d'escaliers latérales et un ascenseur.

L'atrium représente le hall central dans le centre, il est considéré comme un espace d'organisation de circulation et d'exposition au niveau RDC. Il est de forme rectangulaire de (5.70 x11.00) m, entouré par des coursives qui desservent vers les espaces adjacents qui sont les boutiques.

La couverture du toit d'atrium est sous forme d'un berceau rétractable, couvert par une matière qui s'appelle le polycarbonate transparent de 10 mm d'épaisseur et de 1.50 m de hauteur (**figure IV.5.**).



*Figure IV.5. Toit d'atrium sous forme d'un berceau.
(Source :Auteur, 2016).*

IV.3. Objectif de la campagne de mesures (investigation)

Cette recherche s'appuie donc sur une méthode de mesures de température et d'humidité relative à un centre commercial. L'objectif fixé est de vérifier l'effet de l'atrium ventilé ainsi que ses performances thermiques, notamment sa capacité d'assurer un renouvellement d'air et d'atténuer convenablement la surchauffe, sachant évidemment qu'il est exposé à un climat caractérisé par des étés très chauds et un hiver froid.

IV.4. Périodes de l'investigation

Les résultats de la partie expérimentale sont soumis aux conditions météorologiques du site étudié. Les mesures se sont déroulées sur deux périodes:

IV.4.1. Période printanière

La période hivernale durant cette année a connu des températures élevées avec un climat modéré caractérisé par l'absence de pluie et de neige. A cet effet là, nous avons choisi le mois de Mars 2016 caractérisé par ces fluctuations et deux périodes distinctes (**figure IV.6.**) : une froide (au début du mois) qui s'étale du 06 et le 07 Mars 2016 (**figure IV.7.**) et l'autre modérée durant 26, 27 et le 28 Mars 2016 (Voir annexe C).

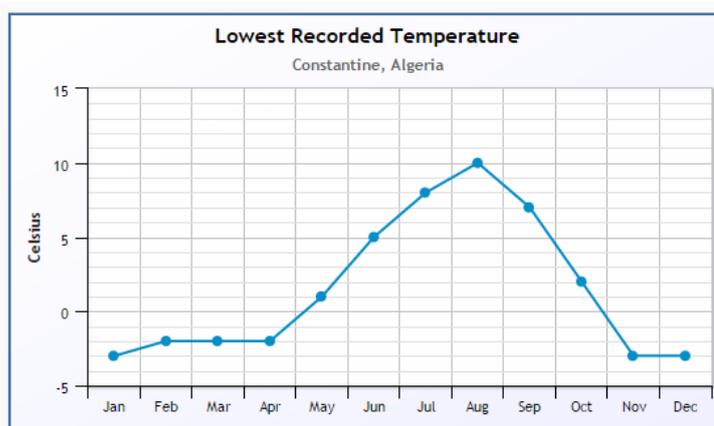


Figure IV.6. Température enregistrée la plus élevée
(Source: <http://www.weatherbase.com>).

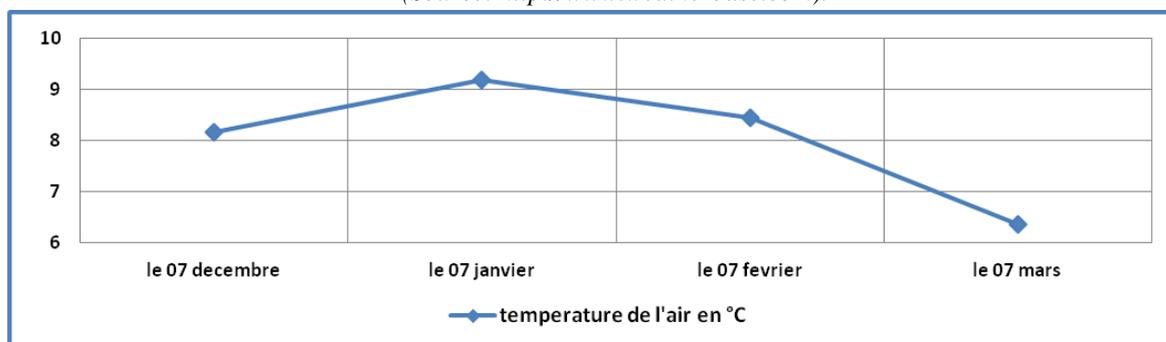


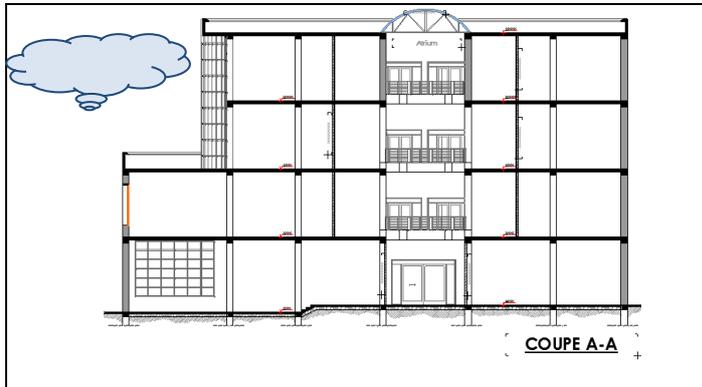
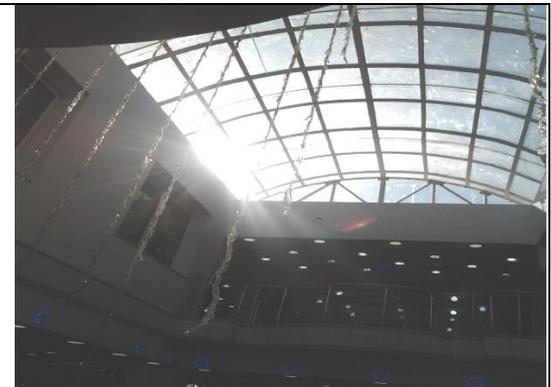
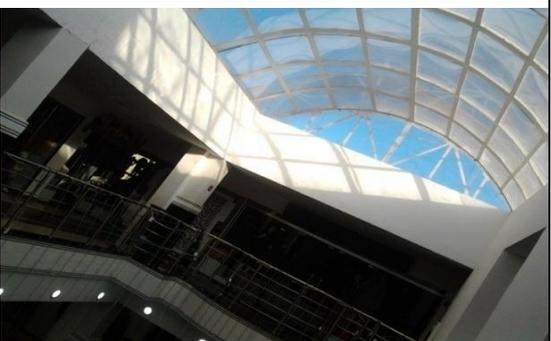
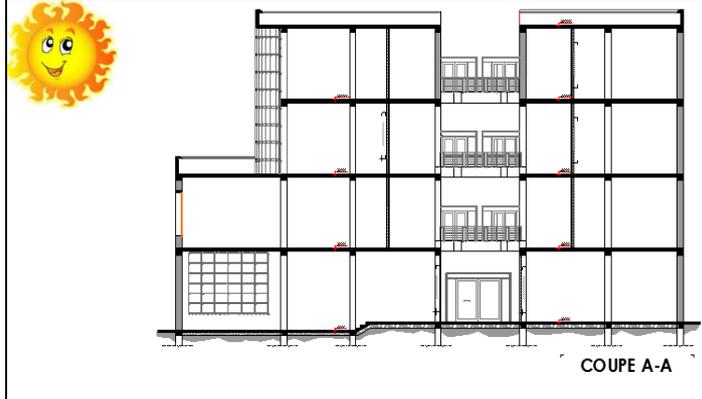
Figure IV.7. Température enregistrée la plus élevée
(Source: <http://www.weatherbase.com>).

IV.4.2. Période estivale : qui s'étale durant 3 jours successifs du mois de Juillet 2016 (le mois le plus chaud) qui sont 18, 19 et le 20 Juillet 2016.

IV.5.Scénarios

Le tableau IV.2. présente les différents scénarios effectués durant la période d'investigation

Tableau IV.2.Différents scénarios .(Source: Auteur,2016)

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| <p>Scénario N°01: Atrium avec un toit fermé durant une journée avec un ciel nuageux</p> | |
|  |  |
| <p>Scénario N°02: Atrium avec un toit fermé durant une journée avec un ciel découvert</p> | |
|  |  |
| <p>Scénario N°03: Atrium avec un toit ouvert à 100% durant une journée ensoleillée.</p> | |
|  |  |
| <p>Scénario N°04: Atrium avec un toit ouvert à 75% durant une journée ensoleillée.</p> | |

IV.6. Facteurs climatiques mesurés

Notre objectif est de mesurer les facteurs climatiques ayant un impact sur l'ambiance thermique interne dans l'atrium.

- La température de l'air en (°C).
- L'humidité relative en (%).
- La vitesse de l'air en (m/s).

IV.7. Description de l'appareil de mesure

La durée de la campagne de mesure s'étale sur 5 jours durant le mois de Mars et 3 jours successifs durant le mois de Juillet.

La méthodologie de travail est basée sur la collecte des données paramétriques de l'ambiance interne de l'espace atrium à travers les différentes stations de mesures (points de mesures), à l'aide des instruments mobiles (pistolet et anémomètre) et d'autres fixes (USB data logger) (**tableau IV.3.**).

Tableau IV.3. Appareils de mesure utilisés. (Source: Auteur, 2016).

| N° | Désignation D'outil | Nomination et rôle |
|----|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 01 |  | USB data logger : Thermo-hygromètre Mesure: - La température de l'air en (°C) -Humidité relative de l'air en (%). Emplacement : Atrium |

| | | |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 02 |  | <p>Pistolet Bosch Thermo-hygromètre.</p> <p>Mesure:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Température de l'air en (°C). -Humidité relative en (%). -Température surfacique (°C). <p>Emplacement : Les coursives et l'extérieur.</p> |
| 03 |  | <p>Anémomètre Anémomètre LT Lutron LM-8000</p> <p>Mesure:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Température de l'air en (°C). -Humidité relative en (%). -Vitesse de l'air en (m/s). <p>Emplacement : Les coursives, atrium et l'extérieur.</p> |

IV.8.Points de mesure

La collecte des données est faite à travers 18 stations de mesures soigneusement sélectionnées.04 stations réparties verticalement sur 3 niveaux et les autres suivant deux axes perpendiculaires, un axe longitudinal et l'autre transversal qui passent sur les coursives et passant par l'espace atrium reliant entre 3 points de mesure (**figure IV.8.**). Le point d'intersection de ces deux axes sur lequel passe l'axe vertical qui passe au centre d'atrium qui contient 4 points repartis suivant chaque étage (**tableau IV.4.**).

Tableau IV.4.Hauteurs des stations de mesure (Source: Auteur,2016)

| Niveau | Dans le vide d'atrium | | Dans les coursives droites (D et D') | | Dans les coursives gauches (G et G') | | L'extérieur |
|--------|-----------------------|-------------|--------------------------------------|---------|--------------------------------------|-------------|-------------|
| | point | Hauteur (m) | point | Hauteur | point | Hauteur (m) | |
| RDC | ST1 | 1.20 | STD et STD' | 1.20 | STG et STG' | 1.20 | T ext |
| R+1 | ST 2 | 4.26 | STD et STD' | 4.26 | STG et STG' | 4.26 | |
| R+2 | ST3 | 7.32 | STD et STD' | 7.32 | STG et STG' | 7.32 | |
| R+3 | ST4 | 10.38 | STD et STD' | 10.38 | STG et STG' | 10.38 | |

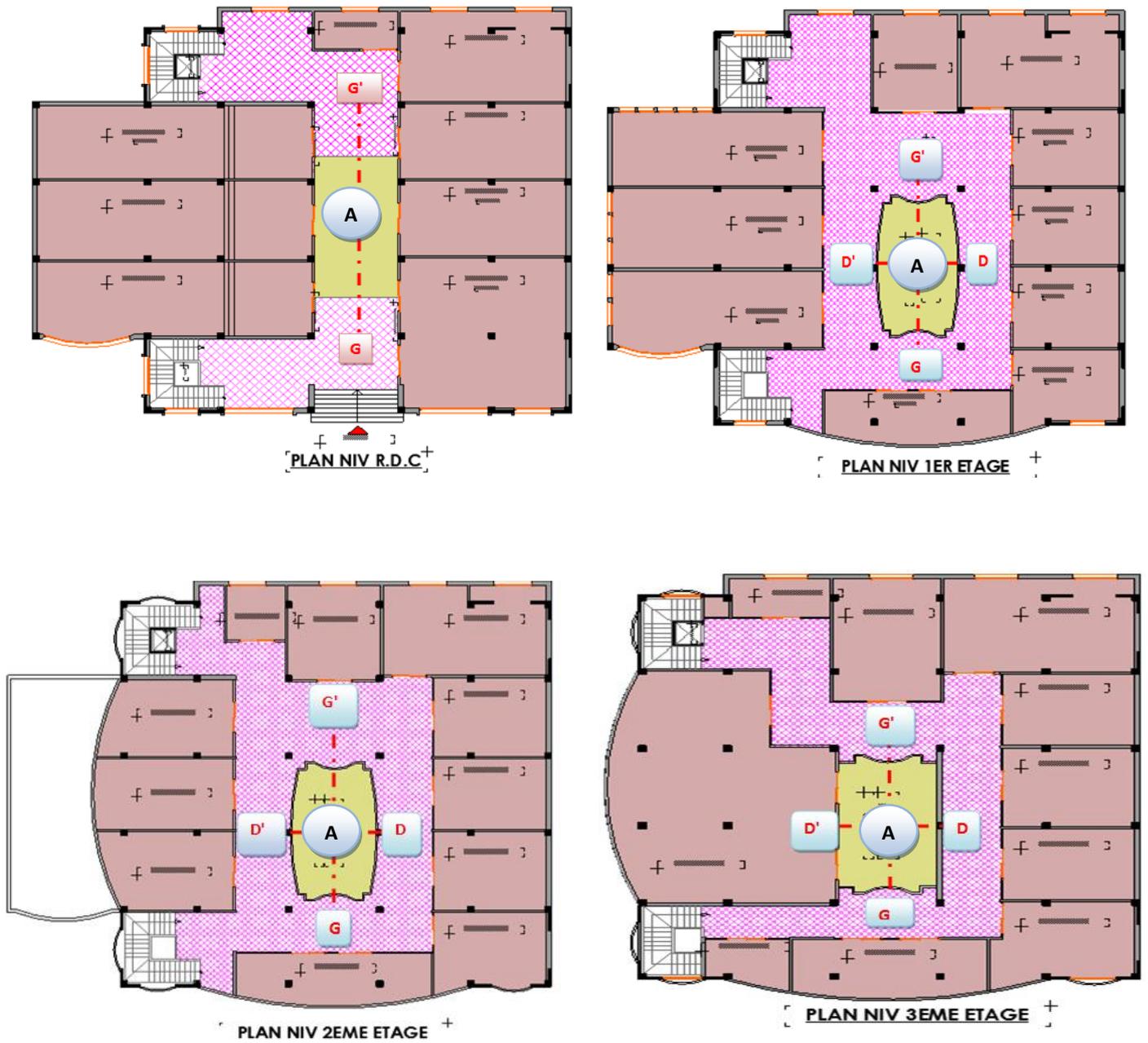


Figure IV.8. Différents points de mesure.
(Source: Auteur, 2016).

IV.9. Interprétation des résultats de l'investigation

Les mesures servent à améliorer l'information nécessaire aux estimations du comportement de l'atrium. Les mesures d'humidité relative ainsi que les températures de l'air intérieur sont indispensables à l'évaluation de la qualité de l'air intérieur.

IV.9.1. Période printanière

IV.9.1.1. Ciel nuageux

Notre choix s'était porté sur la journée du 07 Mars 2016, caractérisée par un ciel totalement nuageux avec une moyenne journalière égale à 6.7°C.

-Température de l'air en (°C)

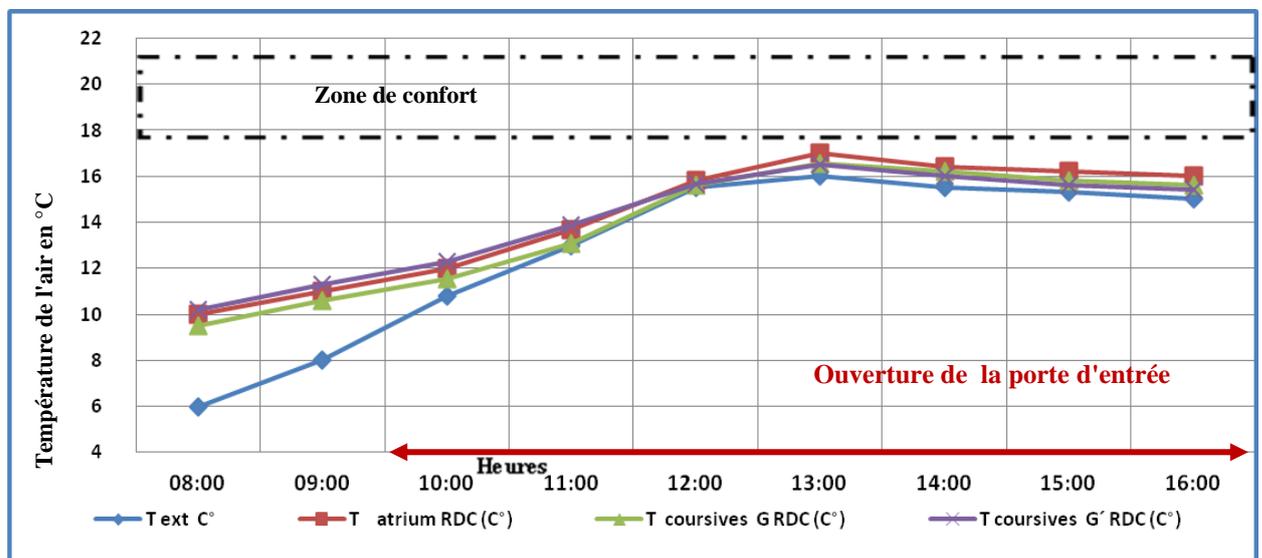


Figure IV. 9. Température de l'air au niveau RDC de la journée 07Mars 2016. (Source: Auteur, 2016).

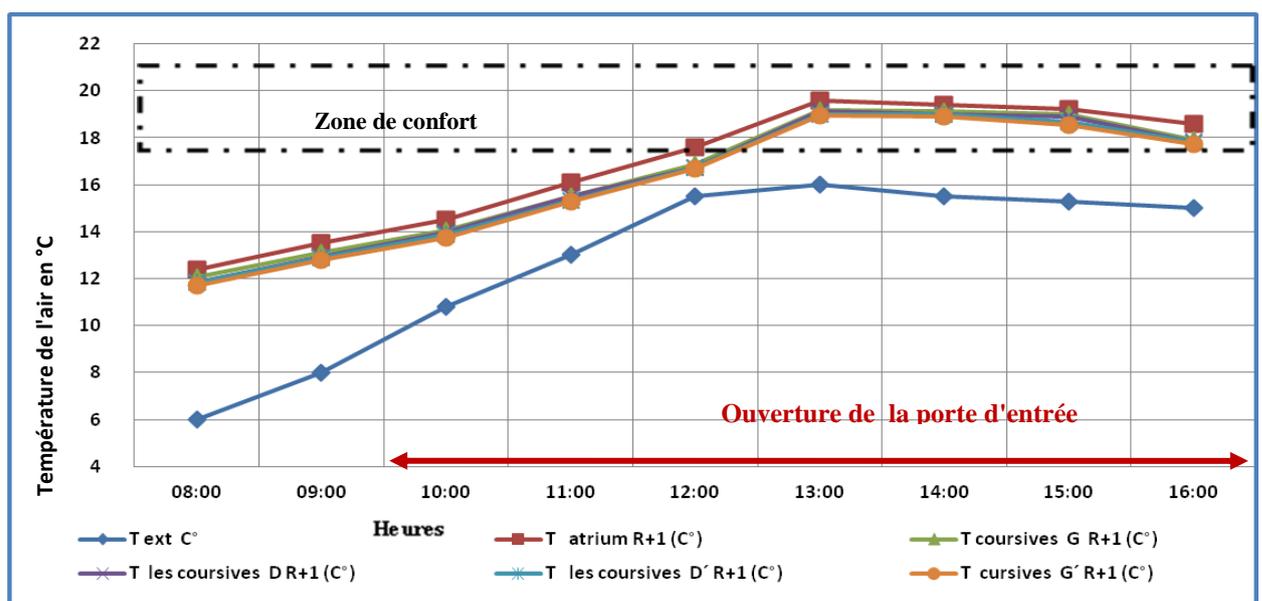


Figure IV.10. Température de l'air au niveau R+1 de la journée 07Mars 2016. (Source: Auteur, 2016).

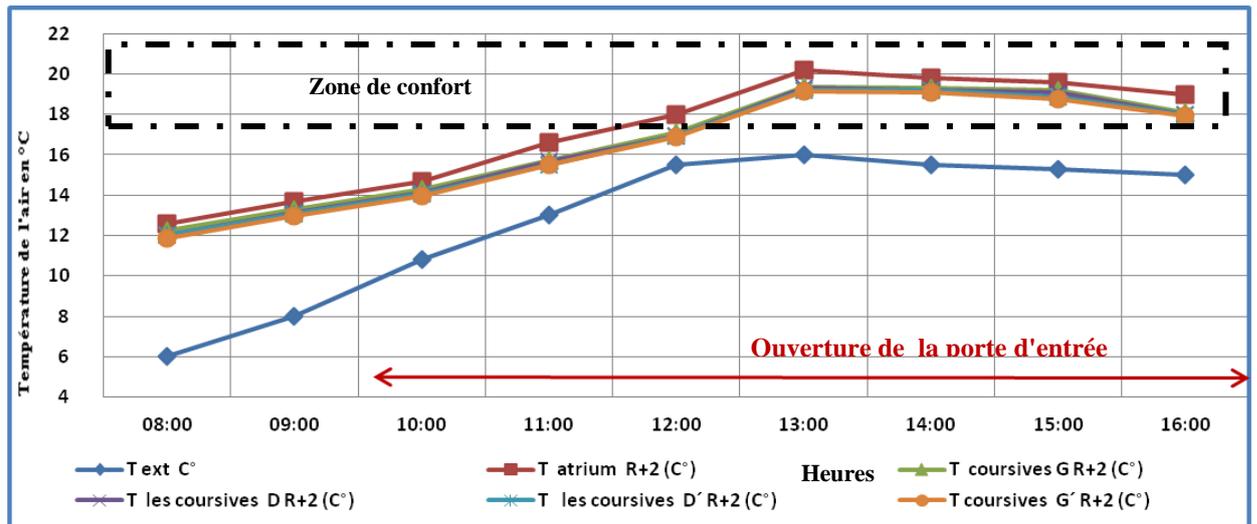


Figure IV.11. Température de l'air au niveau R+2 de la journée 07Mars 2016. (Source: Auteur,2016).

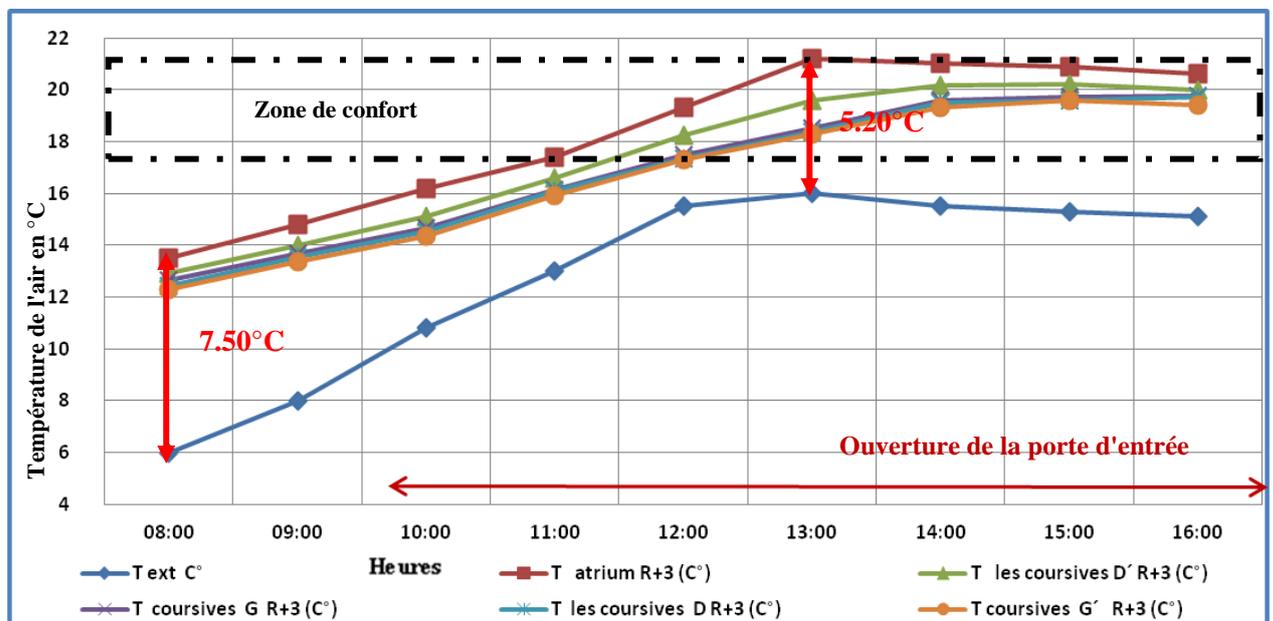


Figure IV.12. Température de l'air au niveau R+3 de la journée 07Mars 2016. (Source: Auteur, 2016).

La lecture des graphes représentant cette journée (figures IV.9, IV.10, IV.11,et IV.12.) fait ressortir que la fluctuation de la température interne à chaque étage n'est pas très grande, les profils des températures d'air à l'intérieur sont presque semblables pendant la période de mesure qui s'étale de 08h-16h. Les températures enregistrées à l'intérieur sont généralement au-dessus de la température extérieure.

Une hausse des températures de l'air intérieur est remarquée à partir de 12 :00h jusqu'à 16h, Avec des pics de 21.20°C à 13:00h au dernier niveau dans l'espace atrium. Ceci justifié que les bâtiments de l'atrium sont stratégiques, un modèle pour réduire les pertes d'énergie et

augmenter le confort de l'environnement bâti (cela s'est confirmé par le travail de Atanas Vassilev en 2015) par l'effet de serre et l'accumulation de chaleur au niveau supérieur ainsi que l'éloignement de cet étage de toute sollicitation de la ventilation causée par l'ouverture de la porte d'accès au niveau RDC ainsi que la fermeture des fenêtres et la coïncidence avec la période de forte fréquentation des visiteurs, où le nombre d'occupant croit au fur et à mesure. Dans le même contexte, Hawkes et Baker (1983) affirment que dans les climats froids, l'atrium avec vitrage supérieur est évidemment bénéfique car il peut agir comme une zone tampon entre l'environnement intérieur et les conditions climatiques extérieures dures et être utilisé comme moyen de réserver la chaleur pendant les jours ensoleillés des climats froids et aide à la charge de chauffage.

-Humidité relative en %

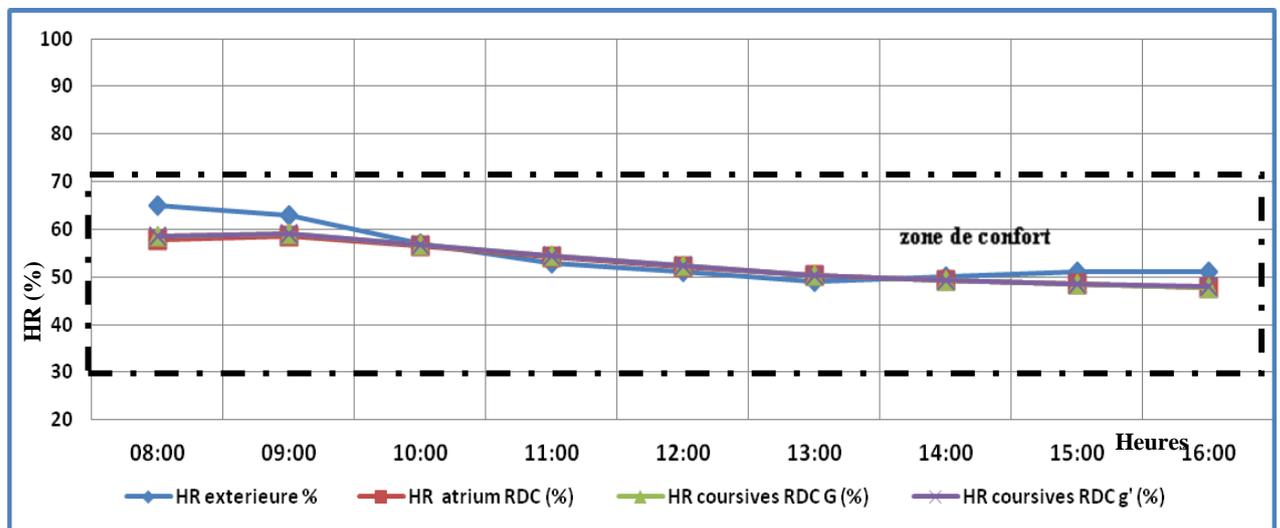


Figure IV.13. Humidité relative de l'air au niveau RDC de la journée 07Mars 2016.
(Source: Auteur, 2016).

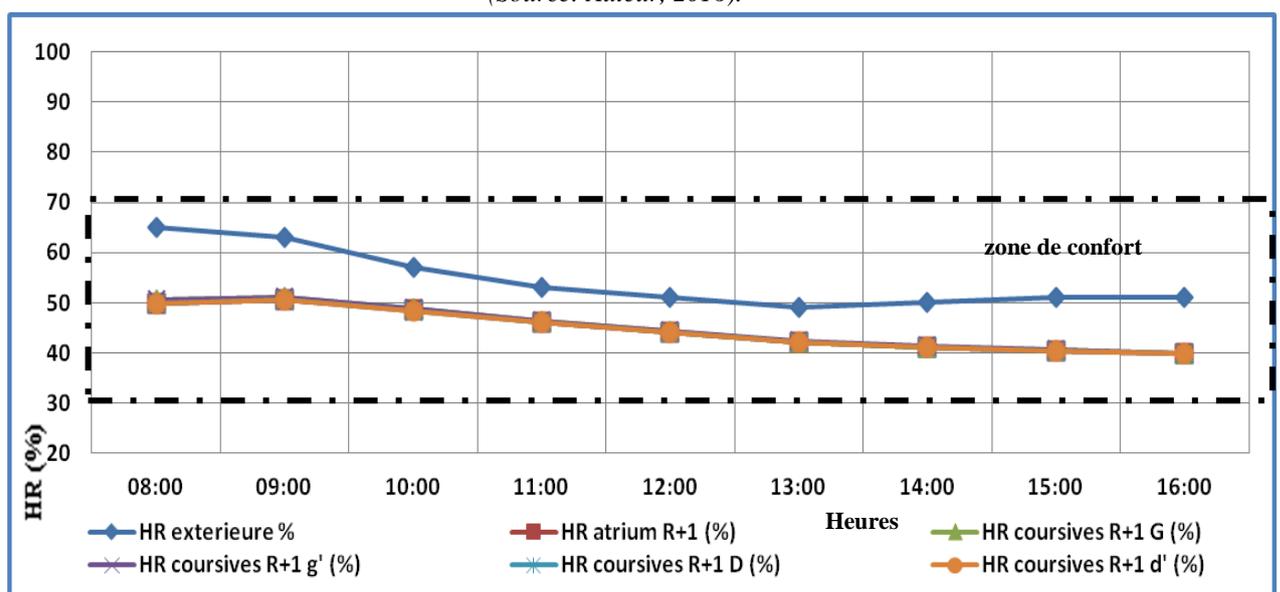


Figure IV.14. Humidité relative de l'air au niveau R+1 de la journée 07Mars 2016.
(Source: Auteur, 2016).

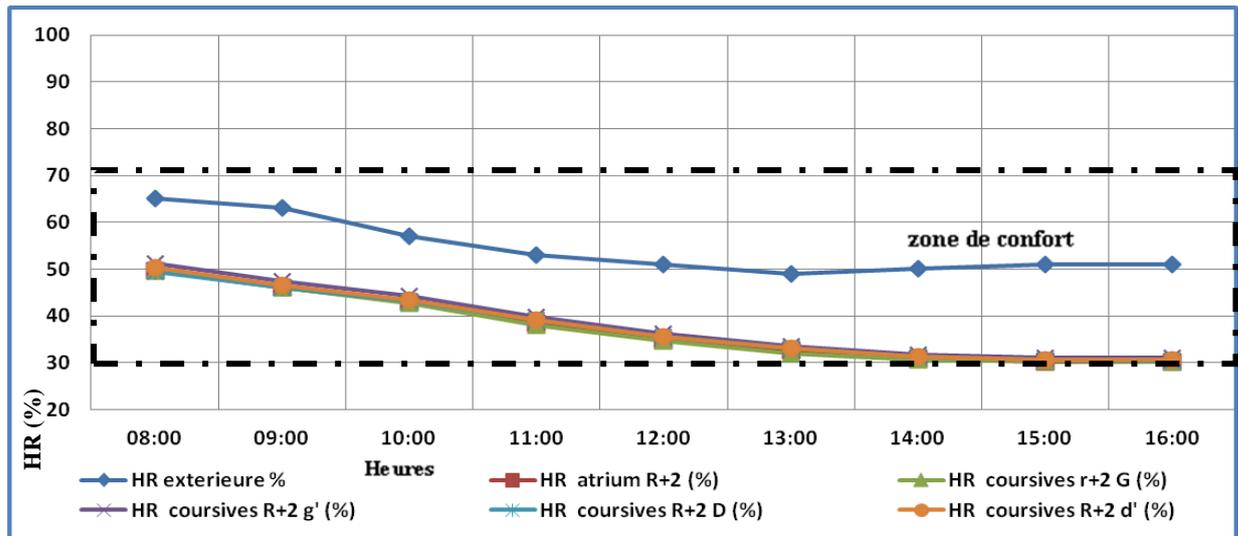


Figure IV.15. Humidité relative de l'air au niveau R+2 de la journée 07Mars 2016.
(Source: Auteur, 2016).

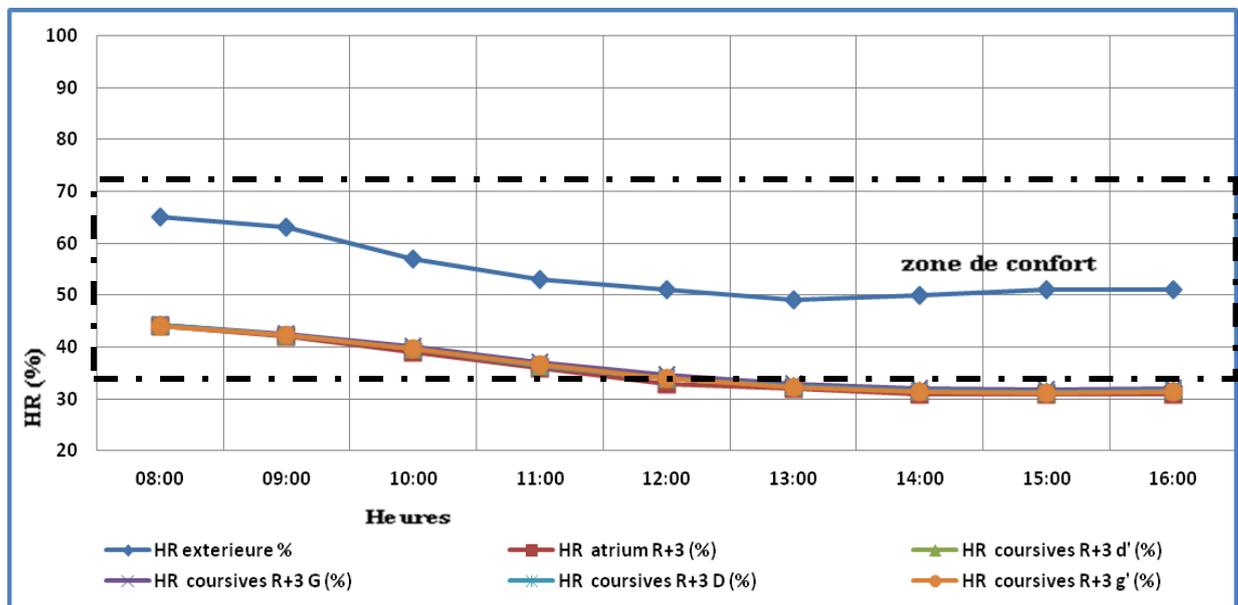


Figure IV.16. Humidité relative de l'air au niveau R+3 de la journée 07Mars 2016.
(Source: Auteur, 2016).

Les valeurs des humidités relatives à cette journée (figures IV.13,IV.14,IV.15,et IV.16.) ne dépassent pas les valeurs extérieures, mais on constate presque une superposition entre les courbes du HR d'atrium et les courstives à celle de l'extérieur au niveau RDC. Tandis que le niveau R+1 inclut dans la zone de confort avec des valeurs qui varient entre 40% à 55%. Cependant les étages R+2 et R+3 sont localisés à la limite inferieur de confort, ceci s'explique par un confort hygrothermique durant cette journée.

IV.9.1.2.Ciel découvert

Notre choix s'était porté sur la journée du 26 Mars 2016, vu que les autres jours se ressemblaient. Elle est caractérisée par un ciel découvert et une température journalière moyenne de 11.2°C.

-Température de l'air en (°C)

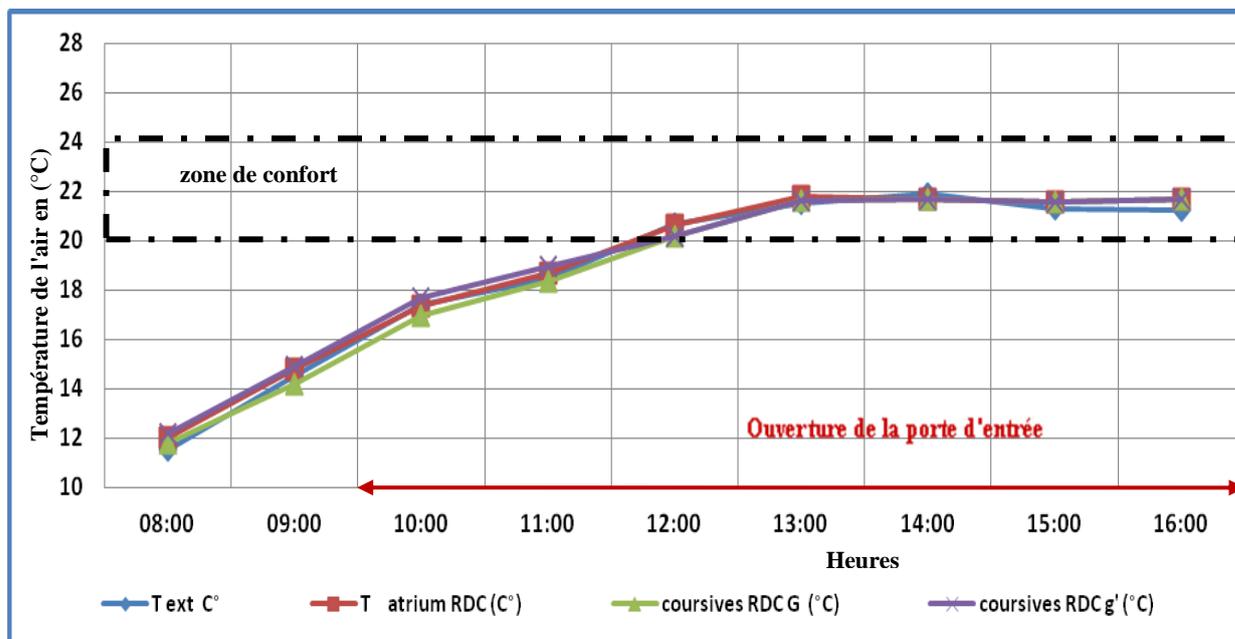


Figure IV.17. Température de l'air au niveau RDC de la journée 26 Mars 2016. (Source: Auteur, 2016).

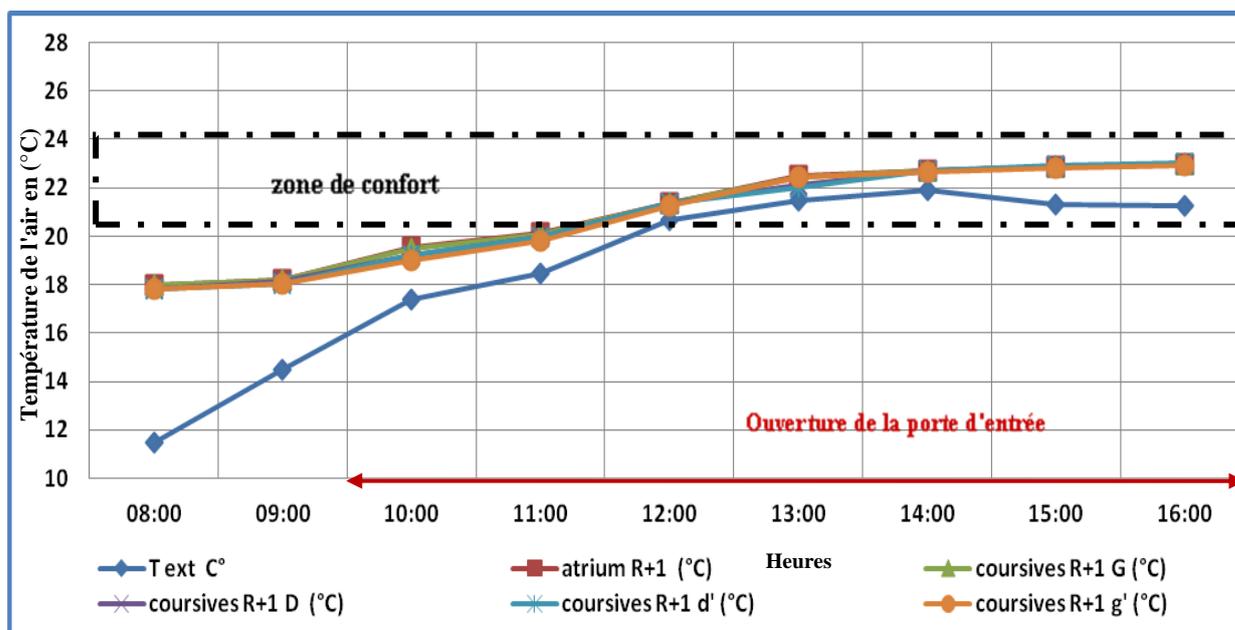


Figure IV.18. Température de l'air au niveau R+1 de la journée 26 Mars 2016. (Source: Auteur, 2016).

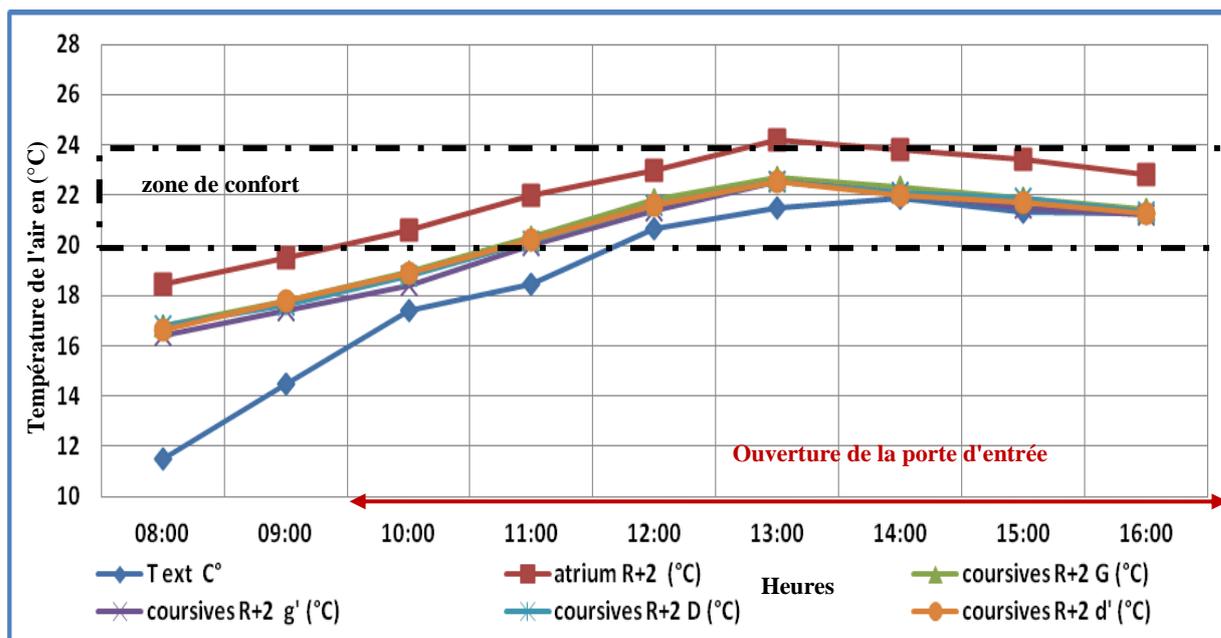


Figure IV.19. Température de l'air au niveau R+2 de la journée 26Mars 2016. (Source: Auteur, 2016).

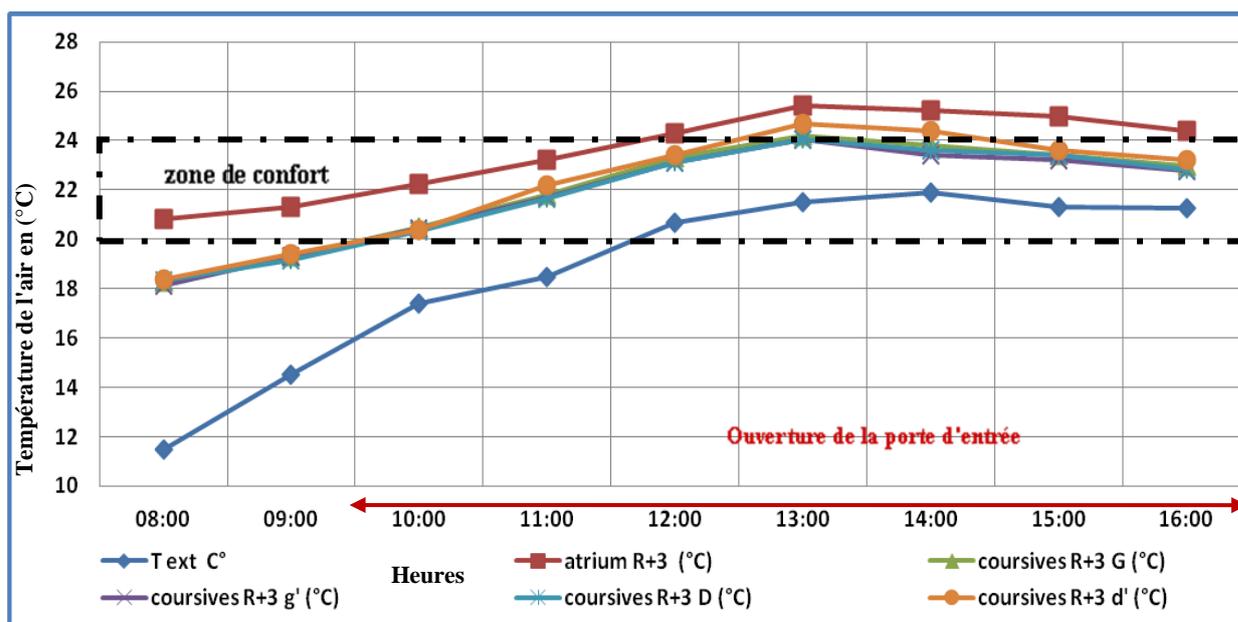


Figure IV.20. Température de l'air au niveau R+3 de la journée 26Mars 2016. (Source: Auteur, 2016).

Dans le même contexte, les profils des températures de l'air enregistrées à l'intérieur dans les différentes stations de mesure tracent les mêmes allures avec celles des températures enregistrées à l'extérieur mais avec des valeurs plus élevées (figures IV.17, IV.18, IV.19 et IV.20). D'après le parcours d'évolution des gains solaires durant cette journée, les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans l'espace atrium au dernier étage à 13 :00h avec une valeur maximale atteinte 26.0°C.

Ce phénomène est justifié par l'irradiation solaire à travers le toit transparent sous forme d'un berceau accompagné par une grande fréquentation du public (période de vacances de printemps, en plus c'est un week-end), cet accumulation de chaleur interne va créer un effet de serre qui permet d'augmenter la température de l'air intérieur de cette journée printanière et la mettre dans l'intervalle. C'est le même cas du travail de Marveh Jaberansari et Hisham Elkadib en 2016 qui ont montré également que le cas sans atrium a le moins de gains de chaleur par rapport aux autres cas avec atrium. L'atrium sert à fournir un gain solaire: Les rayons du soleil peuvent fournir de la chaleur dans cet espace (Assadi et al., 2011; Abdullah et Wang, 2012) et la chaleur peut être capturée.

-Humidité de l'air (%)

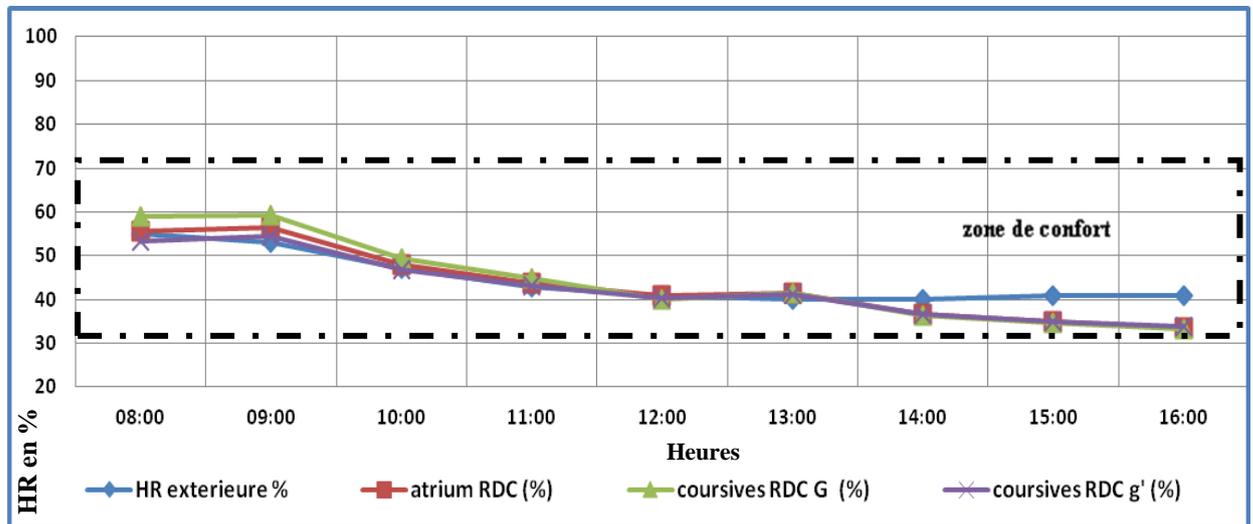


Figure IV.21. Humidité relative au niveau RDC de la journée 26Mars 2016.
(Source: Auteur,2016).

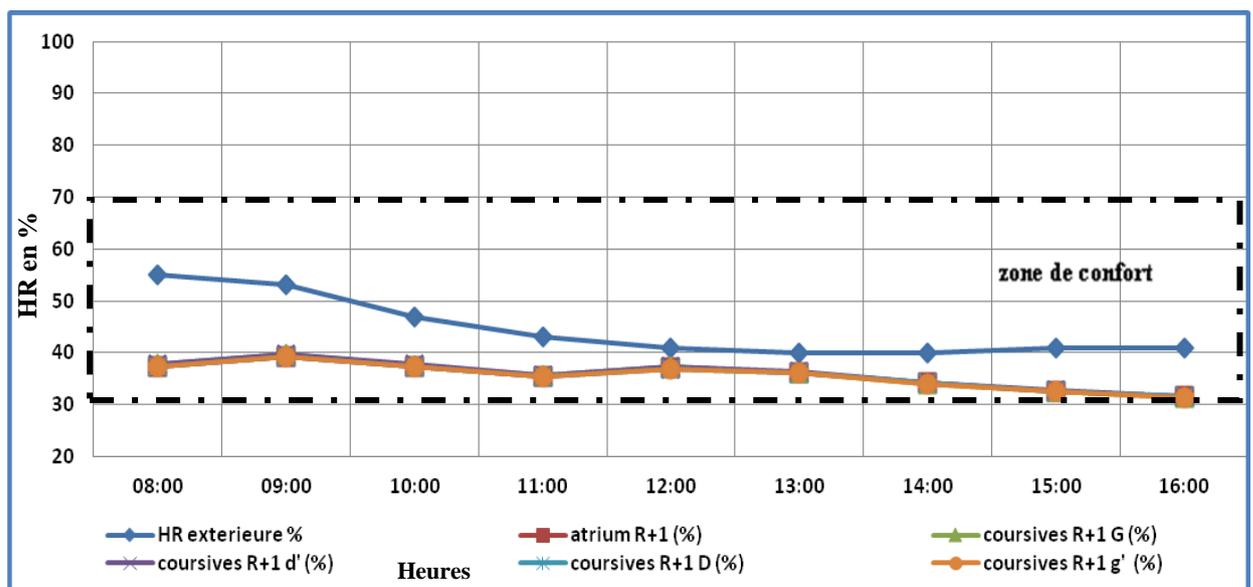


Figure IV.22. Humidité relative au niveau R+1 de la journée 26Mars 2016.
(Source: Auteur,2016).

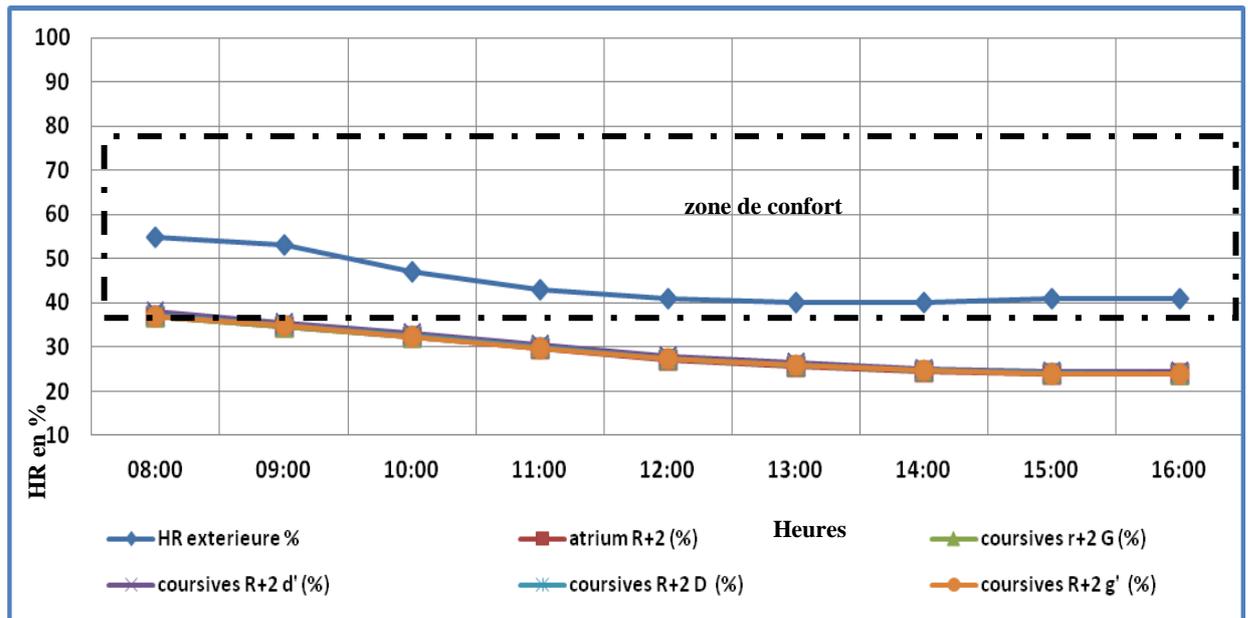


Figure IV.23. Humidité relative au niveau R+2 de la journée 26 Mars 2016. (Source: Auteur, 2016).

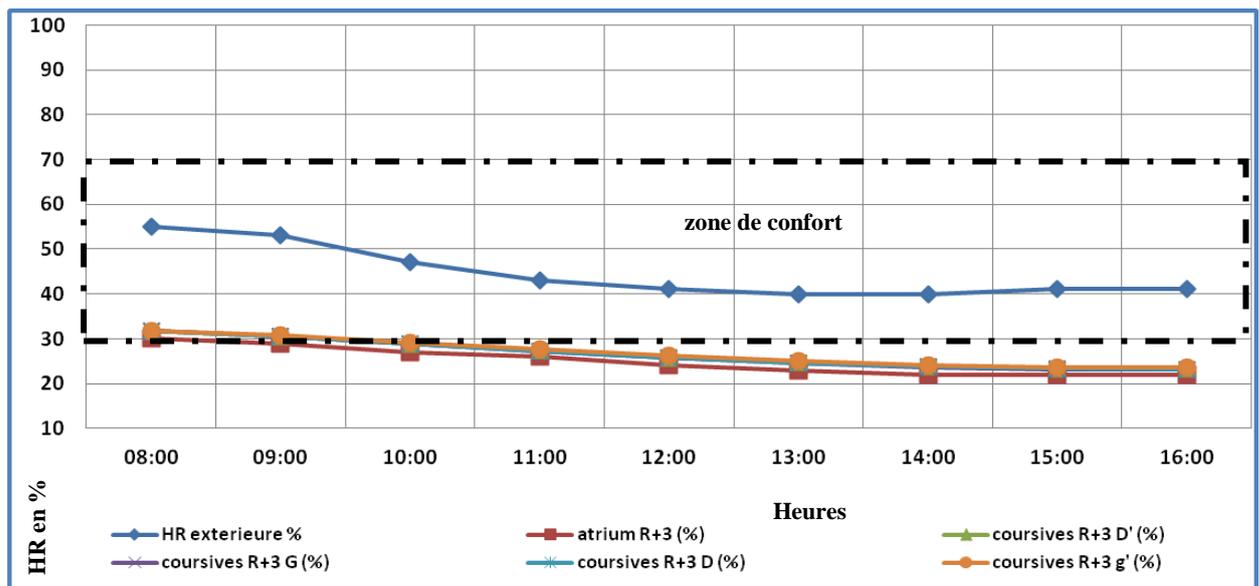


Figure IV.24. Humidité relative au niveau R+3 de la journée 26 Mars 2016. (Source: Auteur, 2016).

Quant aux humidités relatives internes (figures IV.21, IV.22, IV.23, et IV. 24.), elles sont au dessous de l'extérieur. Les valeurs oscillent entre 55% et 25%, avec des valeurs moins importantes que celles enregistrées au niveau du R+2 et R+3. On peut expliquer cette baisse par l'exposition directe de la toiture, sujette aux manifestations de gains et l'absorption du flux de chaleur convectif par la couverture du toit.

IV. 9.1.3. Comparaison entre la journée nuageuse et ensoleillée

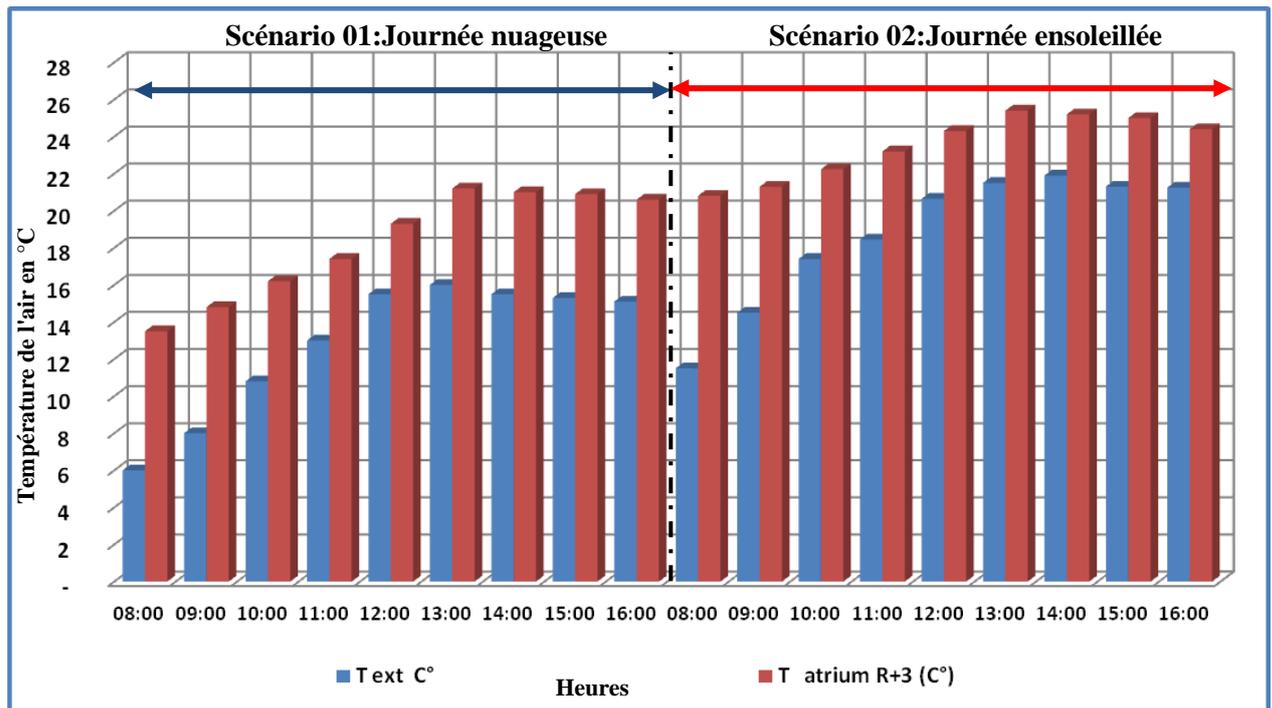


Figure IV.25. Comparaison entre les températures de l'air de la journée le 07 et 26 Mars 2016.
(Source: Auteur, 2016).

Une comparaison est faite entre les résultats de température de l'air entre les deux cas .

Les résultats démontrent que cette journée 26 Mars est caractérisée par des valeurs de température assez importantes par rapport à la journée du 07 Mars (**figure IV.25**). Cette augmentation est due comme on a déjà évoqué, aux effets de taux de gain interne par transmission des radiations solaires qui servent à augmenter les températures d'air interne de l'espace atrium notamment au dernier étage. Ceci est justifié aussi par Bednar (1986) et Zhang (2009) qui pensent que l'atrium peut être une source de chaleur directe gagnée de l'espace en raison de son effet de serre , lorsque les ondes courtes entrent dans l'atrium, frappent le visage d'objets, se transforment en longues vagues et finalement obtiennent un piège dans les atriums fermés. Ainsi, on peut souligner que le plus important aux fins de l'utilisation de l'atrium est d'améliorer l'éclairage de jour et de réduire la perte de chaleur en saison froide et le gain de chaleur dans l'immeuble. Ils provoquent une diminution de l'éclairage annuel, la demande d'énergie de chauffage et de refroidissement (Göçer et coll, 2006; Baker et Jean-Pierre Barette, 2005 ; Goulding et al., 1993).

IV.9.1.4. Synthèse de l'investigation printanière

D'après les résultats obtenus de cette investigation durant cette période printanière, on a pu comprendre le comportement thermique et l'ambiance interne dans le bâtiment avec

atrium sous le climat semi –aride durant cette période, qui dépend de beaucoup des conditions climatiques extérieurs, notamment : l’irradiation solaire et la durée d’insolation, la pénétration des rayons solaires à l’intérieur d’espace afin d’influencer le confort interne par le biais de l’augmentation des températures de l’air (chauffage solaire passif), et qui influe par la suite sur les ambiances de ces coursives qui l’entourent. Hawkes et Baker (1983) indiquent que dans les climats froids à l’aide des atriums fermés avec vitrage en haut qui sont évidemment bénéfiques, ils peuvent agir comme une zone tampon entre l’environnement intérieur et les dures conditions climatiques extérieures et être utilisés comme moyen de réserver la chaleur durant les beaux jours de grands froids et la contribution à la charge du chauffage. Donc l’atrium est considéré comme une stratégie passive du chauffage qui peut atteindre le confort d’hiver (capteur solaire passif) afin de minimiser l’utilisation des appareils de pointe.

IV.9.2. Période estivale

Les mesures pour la saison estivale sont faites durant le mois de Juillet (2015 et 2016). Ces mesures ont démarré durant le mois de Juillet 2015. Mais à cause d'une étincelle électrique dans le centre, le moteur responsable de l'ouverture du toit de l'atrium a été endommagé. Alors la campagne a été reportée au mois suivant Juillet 2016 après réparation. Le 18,19 et le 20 Juillet ont été choisis pour la campagne de mesure, Où on a établie les différents scénarios.

IV.9.2.1. Journée avec un toit fermé (Le cas de la journée 18 juillet 2016)

-Température de l'air

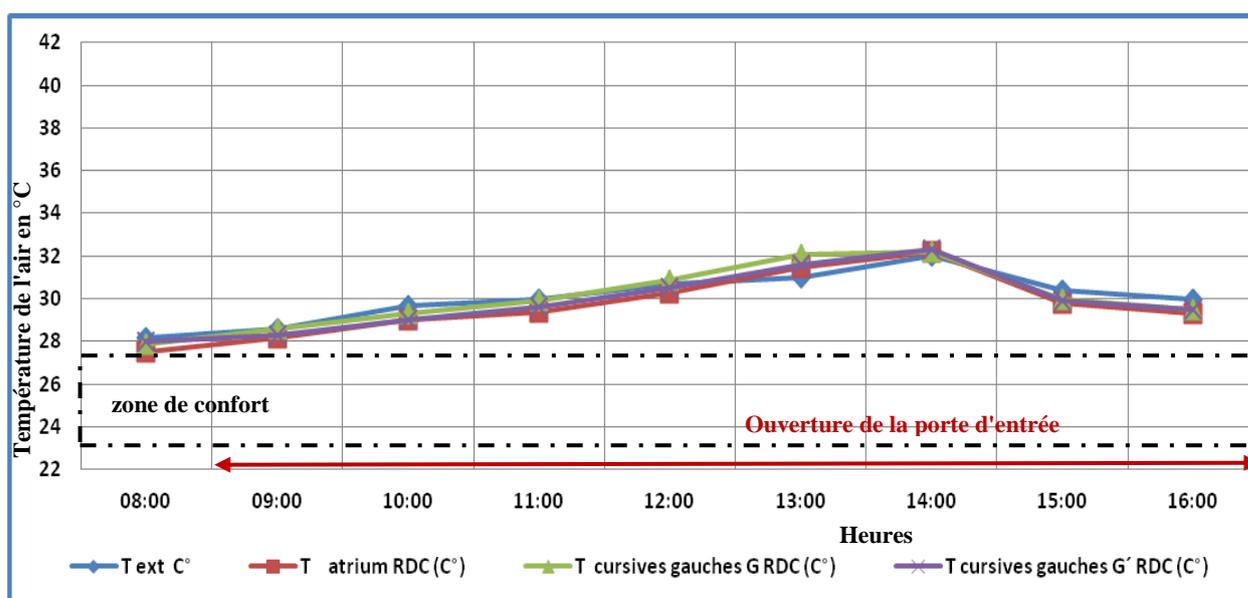


Figure IV.26. Température de l'air au niveau RDC de la journée 18 Juillet 2016.

(Source: Auteur, 2016).

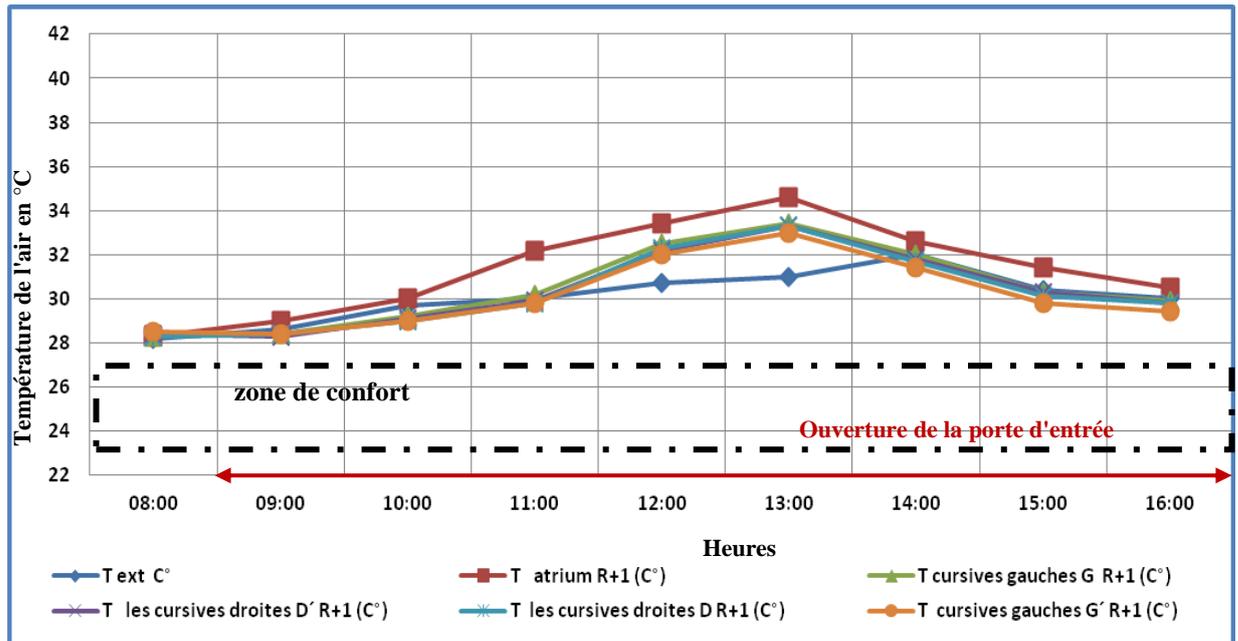


Figure IV.27. Température de l'air au niveau R+1 de la journée 18 Juillet 2016.

(Source: Auteur, 2016).

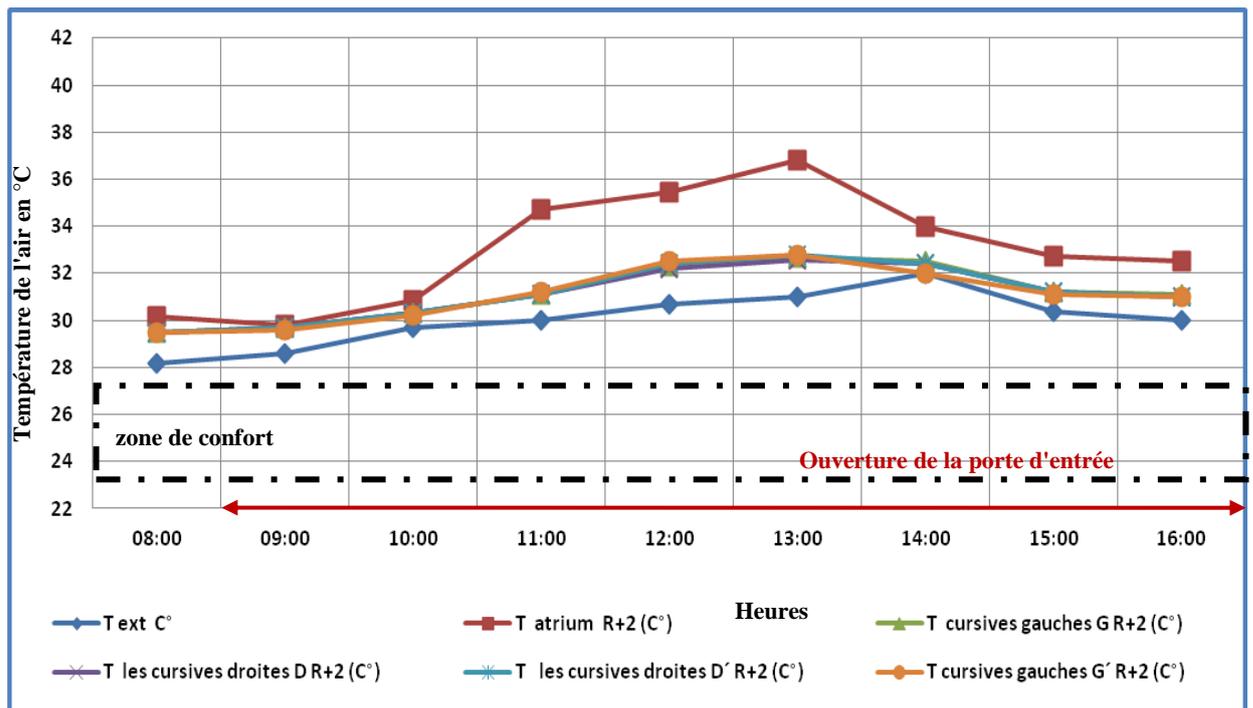


Figure IV.28. Température de l'air au niveau R+2 de la journée 18 Juillet 2016.

(Source: Auteur, 2016).

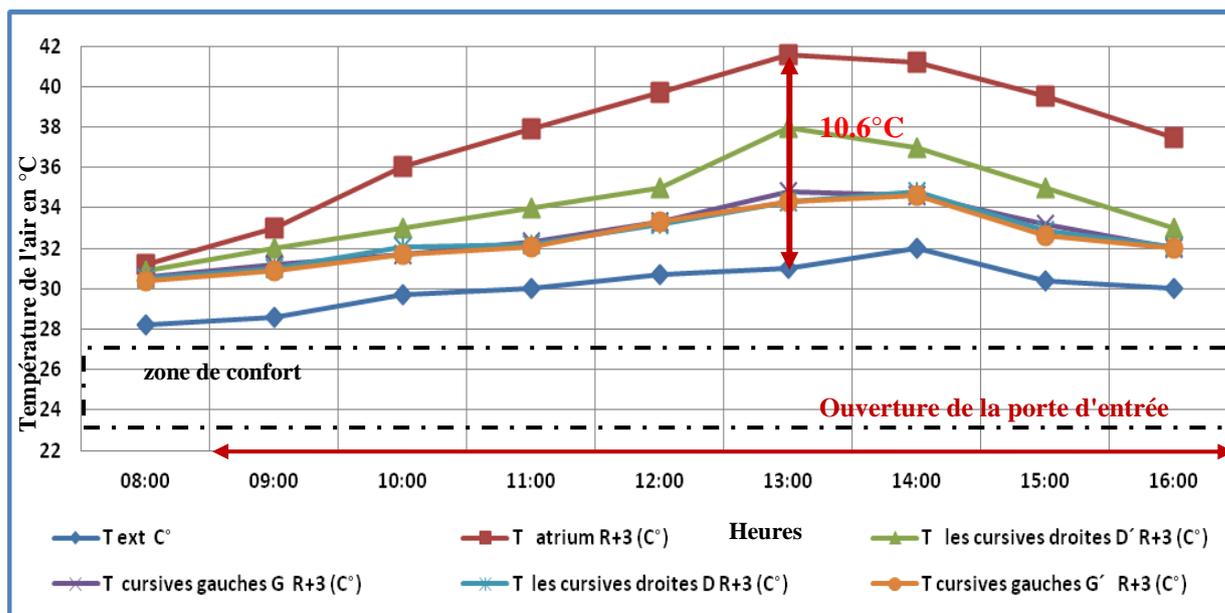


Figure IV.29. Température de l'air au niveau R+3 de la journée 18 Juillet 2016. (Source: Auteur,2016).

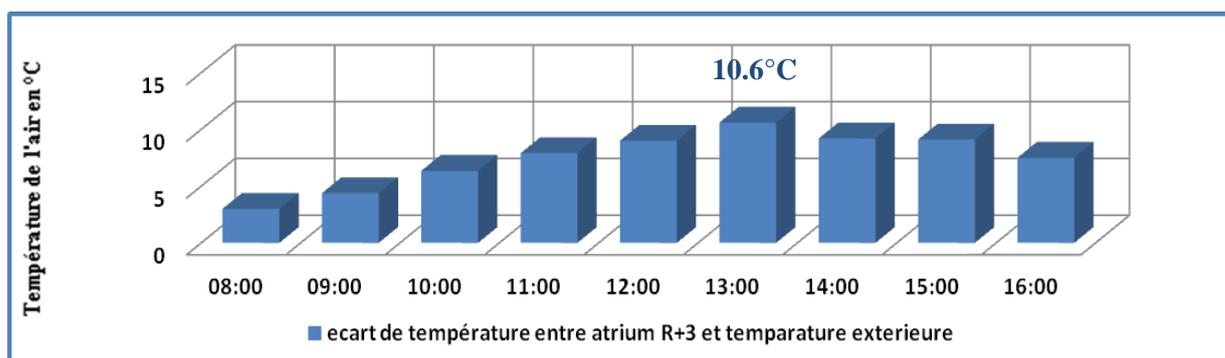


Figure IV.30. Ecart de température de l'air de la journée 18 Juillet 2016. (Source: Auteur,2016).

En se basant sur les résultats et la lecture des graphes des températures à travers les différents étages dans les différents points de mesure (figures IV.26, IV.27, IV.28, et IV. 29) , on remarque que les courbes de ces espaces suivent la même allure de la courbe de la température extérieure , dont le phénomène de stratification thermique est toujours présent à travers les différents niveaux ,Où l'ensemble des courbes de température sont en dehors de la zone de confort dans la majorité des points de mesure pendant la durée d'expérimentation.

D'après la constatation des résultats acquis ,on observe que la température enregistrée dans l'espace atrium R+3 dépasse la température de l'air extérieure durant la tranche horaire de 08h à 16 heures avec une valeur maximale atteinte 41.6°C à 13 h et un écart de température entre elle et celle de l'extérieur avec une valeur aboutissant 10.6°C à 13h (figure IV.30.) .Ceci est dû aux sollicitations des radiations solaires directs et au gain thermique.

Pour mieux comprendre l'ambiance thermique dans les coursives, on peut les nommer comme suit:

Coursive D':Vu le plan du centre commercial ,on constate qu' il n'y a pas de coursives **D'** au niveau RDC et le dernier étage (R+3), puisqu' au niveau inférieur , le concepteur veut profiter de l'espace dans les boutiques, c'est le même cas pour l'étage supérieur R+3 car il avait un besoin d'espace pour construire un salon d'esthétique (**Figure IV.31.**) avec une orientation vers le **Sud-ouest** .



*Figure IV.31. Coursives D' pendant la journée 18 Juillet 2016.
(Source: Auteur, 2016).*

Coursive G : D'après les graphes, on constate que la coursive G a eu des valeurs assez élevées par rapport aux autres coursives notamment dans l'étage R+2 et R+3 , ce dernier est avec une valeur maximale égale à 38°C à 13 heures .Cela est dû à son orientation vers **Sud-Est** (**figure IV.32.**) .



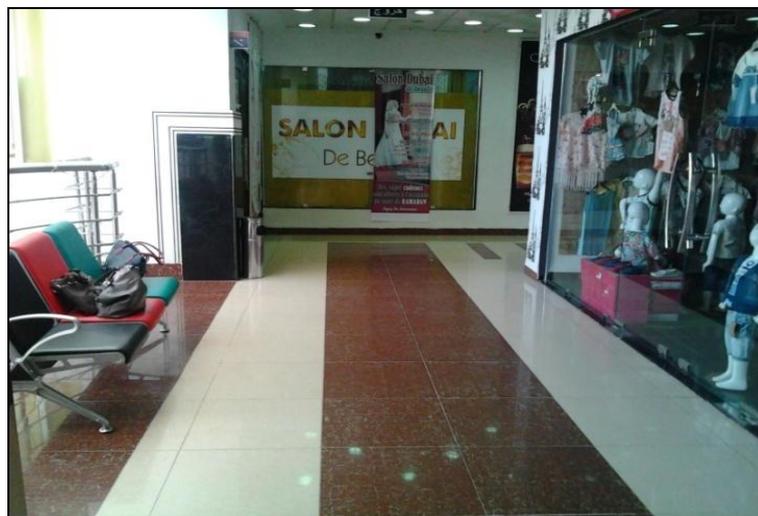
*Figure IV.32. Coursives G pendant la journée 18 Juillet 2016.
(Source: Auteur, 2016).*

Coursive D: dans les différents étages, cette coursive a connu des valeurs progressives en ascendant avec des valeurs maximales enregistrées dans le dernier étage qui atteignent la valeur de 34.8°C à 13 heures. Cette coursive est caractérisée par ces valeurs modérées si on la compare avec l'espace atrium et les autres coursives .car elle est orientée vers le **Nord-est** (figure IV.33.).



*Figure IV.33. Coursives D pendant la journée 18 Juillet 2016.
(Source: Auteur, 2016).*

Coursive G': est caractérisée par des températures les plus élevées enregistrées dans le dernier étage avec un maximum égale à 34.3°C à 13 h. Mais ces valeurs sont considérées les plus basses par rapport aux autres espaces à travers les différents étages. Cela justifie que ces coursives sont toujours ombragées puisqu'elles sont orientées vers le **Nord-Ouest** (figure IV.34.).



*Figure IV.34. Coursives G' pendant la journée 18 Juillet 2016.
(Source: Auteur, 2016).*

En général cette journée est caractérisée par des valeurs assez élevées qui sont en dehors de la zone de confort. Cette surchauffe est prononcée au niveau du R+3 .Ceci s'explique par le rapprochement de cet espace à la couverture du toit .Par conséquent, un effet de serre rend l'espace dans une situation critique vis à vis de confort avec l'absence de ventilation naturelle .A cet effet là, Tahir et Osman (2005) ont suggéré qu' à partir des simulations, la ventilation naturelle peut être utilisée pour fournir un environnement intérieur thermiquement confortable pendant la saison estivale.

IV.9.2.1.1. Stratification thermique

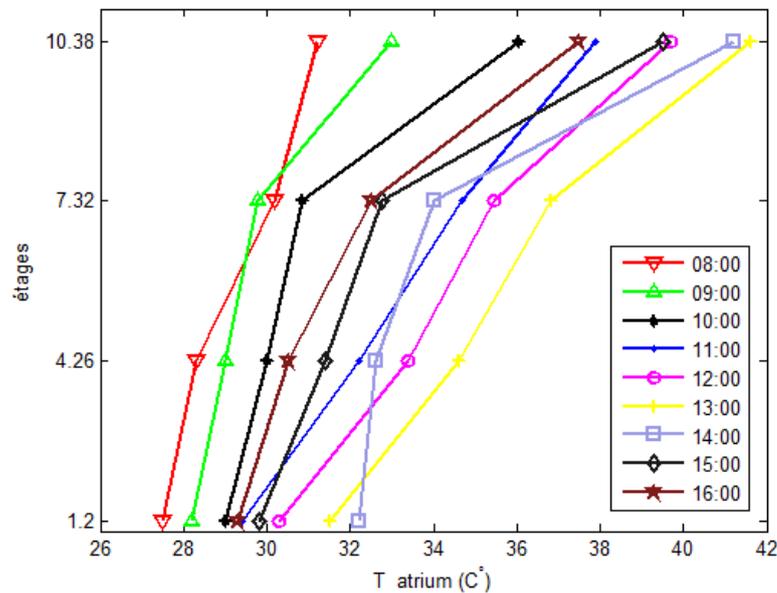


Figure IV.35. Stratification thermique dans l'atrium pendant la journée 18 Juillet 2016. (Source: Auteur, 2016).

La stratification thermique dans de cette journée en rapport avec la quantité des gains par radiation solaire reçus dans chaque niveau (**figure IV.35.**), où le niveau supérieur reçoit la grande quantité par transmission et pénétration à travers la couverture transparente du toit induit une augmentation de la température de l'air interne. Cependant, la hauteur importante d'un atrium ainsi que les apports d'énergie localisés des flux solaires accentuent les variations verticales des températures d'air (Belmaaziz Mohamed, 2003).

Physiquement un atrium est réchauffé par les gains de chaleur de la radiation solaire et d'autres sources de chaleur dans le bâtiment. Par conséquent l'air chaud est généré pour monter en haut. Un flux ascendant d'air chaud se développe dans l'atrium conduit par les forces de flottabilité (Shafkat Hussain, 2012)

IV.9.2.2. Journée avec un toit ouvert à 100% à 16:00 heures (Le cas de la journée 19 juillet 2016)

La journée du 19 juillet 2016 est une journée ensoleillée caractérisée par un ciel découvert avec un toit ouvert totalement (à 100%) à 16 :00h (**figure IV.36**). Dans le but de connaître son impact de ventilation naturelle sur le comportement thermo-aéraulique dans le centre commercial.



Figure IV.36. Ouverture du toit à 100 à 16 heures de la journée 19 Juillet 2016. (Source: Auteur, 2016).

-Température de l'air en °C

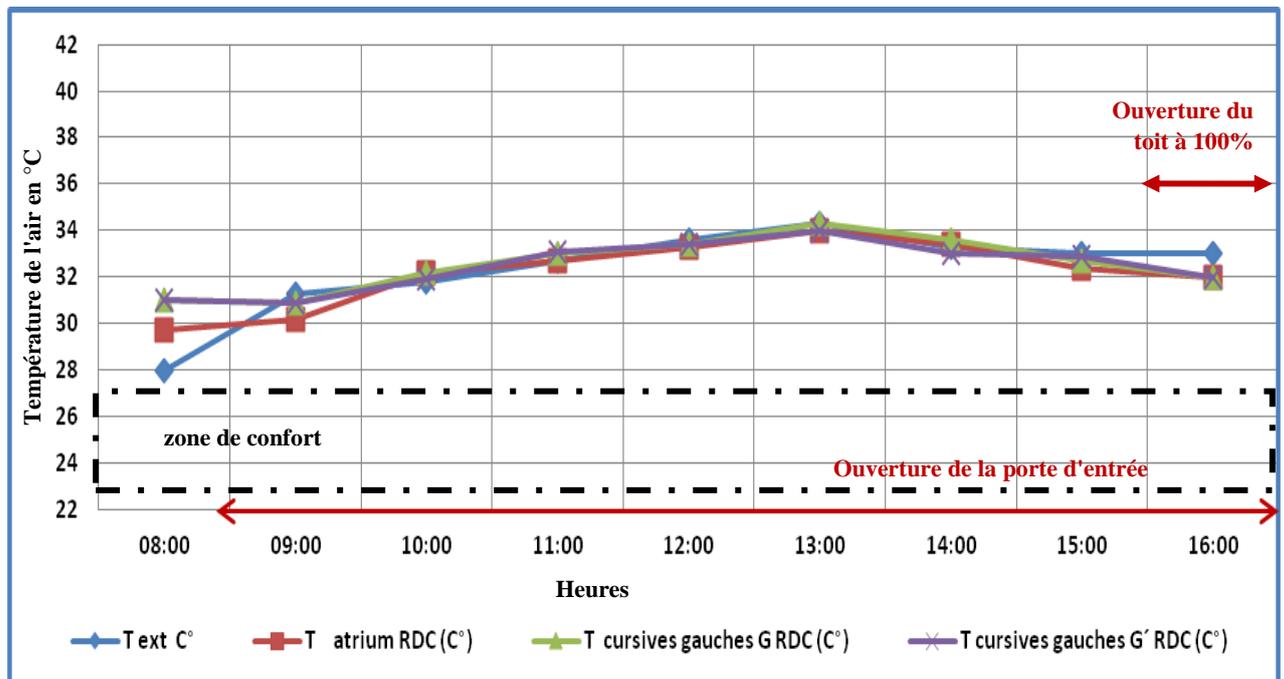


Figure IV.37. Température de l'air au niveau RDC de la journée 19 Juillet 2016. (Source: Auteur, 2016).

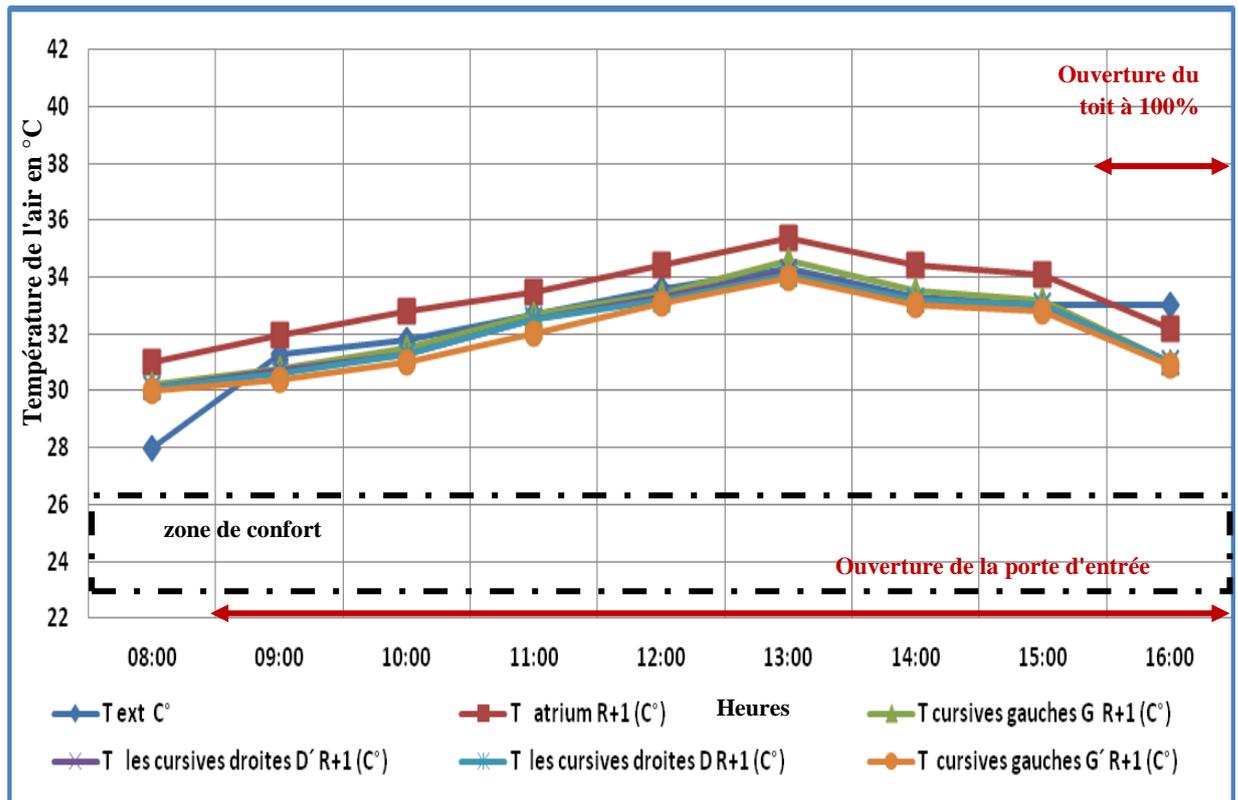


Figure IV.38. Température de l'air au niveau R+1 de la journée 19 Juillet 2016.
(Source: Auteur,2016).

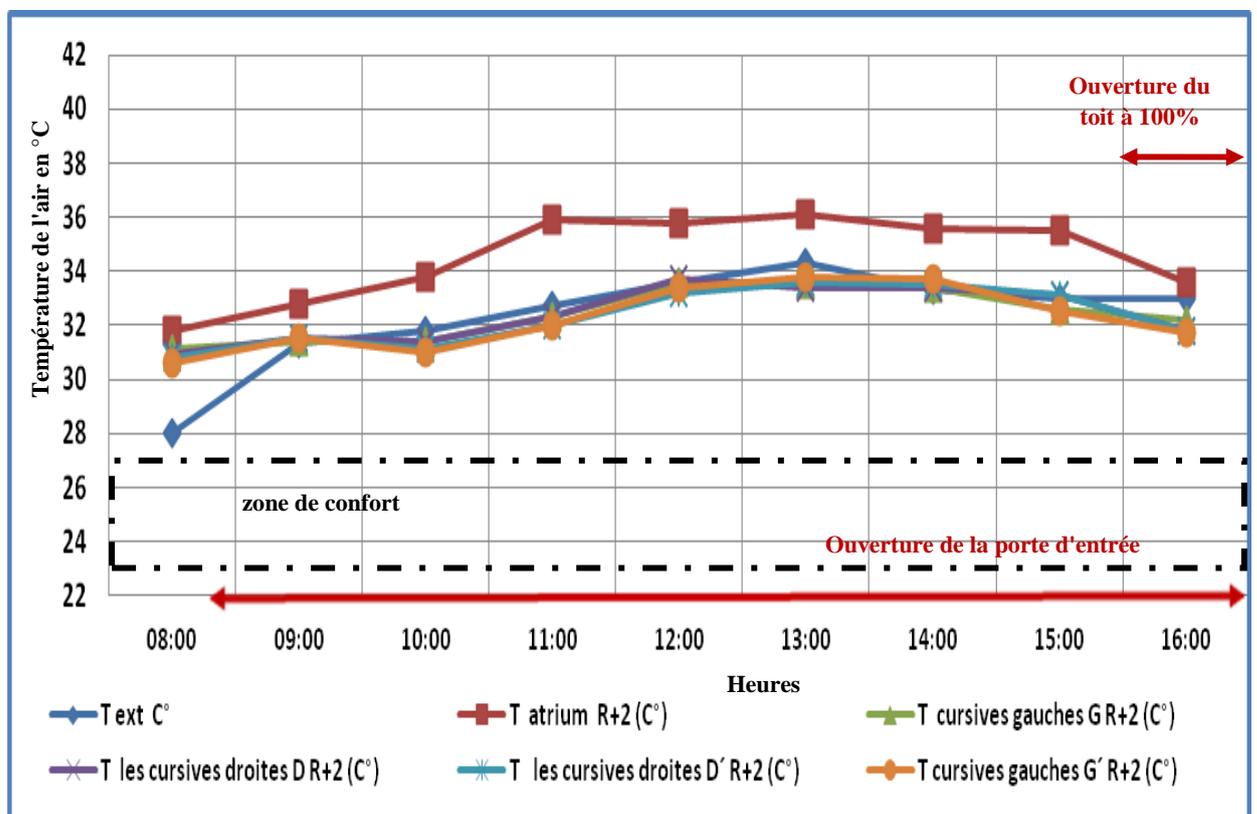


Figure IV.39. Température de l'air au niveau R+2 de la journée 19 Juillet 2016.
(Source: Auteur,2016).

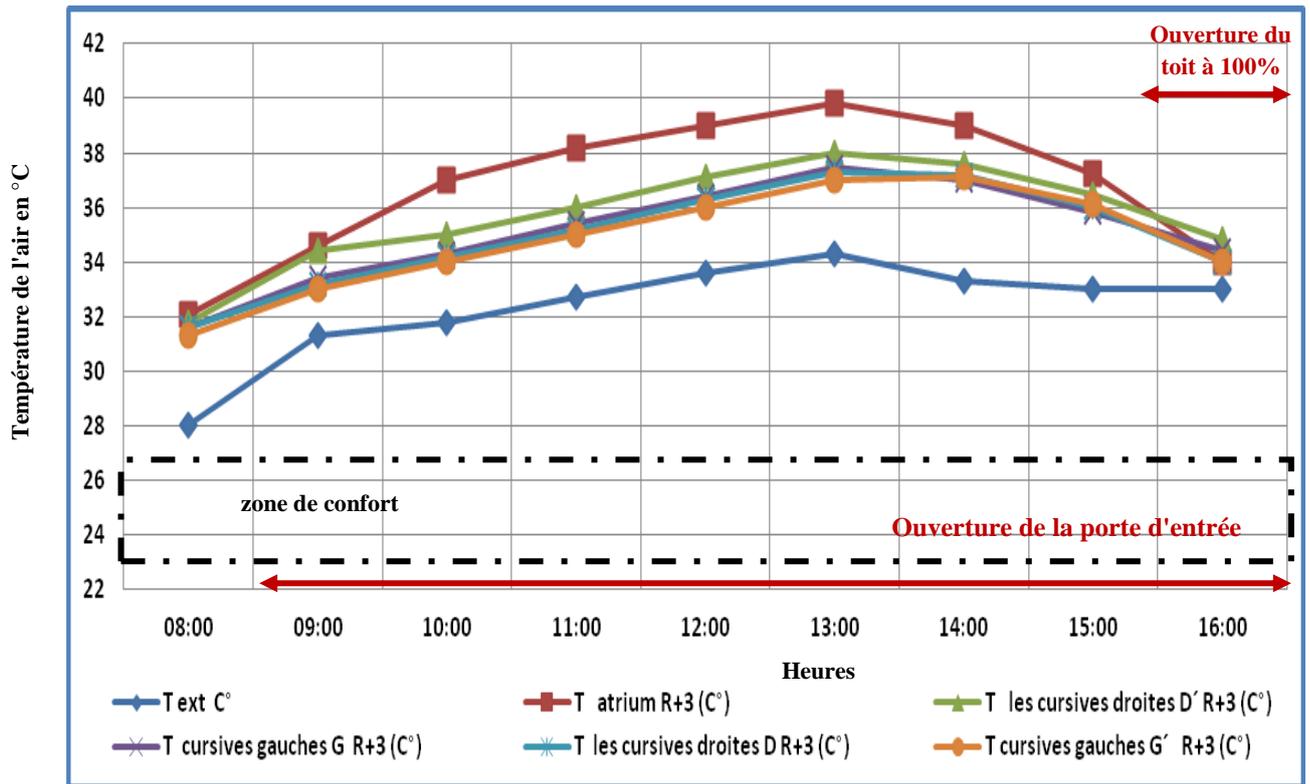


Figure IV.40. Température de l'air au niveau R+3 de la journée 19 Juillet 2016. (Source: Auteur,2016).

A travers les résultats des mesures acquis dans les différentes stations durant la tranche horaire de 08h à 15h, on constate que ces courbes de températures se trouvent au dessus de celle de l'extérieur avec un écart maximal qui atteint 5.80°C à 13h ainsi que le phénomène de stratification thermique est toujours présent dans les différents étages (figures IV.37,IV.38,IV.39, et IV.40.).

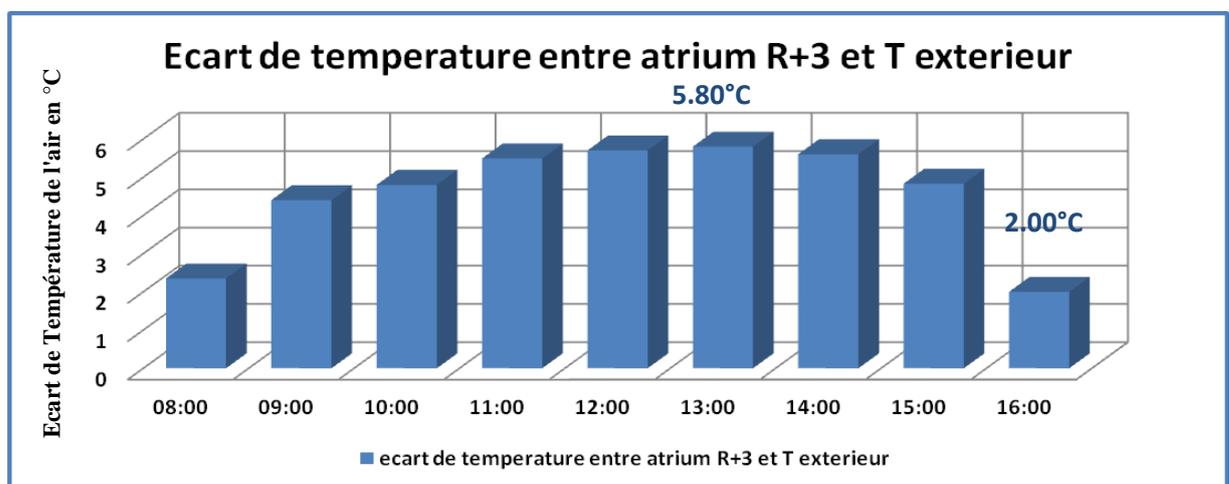


Figure IV.41. Ecart de température de l'air de la journée 19 Juillet 2016. (Source: Auteur,2016).

Les profils des températures d'air à l'intérieur de l'atrium dans les différentes stations de mesures suivent le même profil de température de l'air extérieur. Ceci revient au phénomène d'accumulation de chaleur à l'intérieur d'espace atrium notamment au dernier étage.

Avec l'ouverture du toit à 100% à 16h, on constate une diminution de température accumulée au dernier étage avec un écart entre l'atrium du R+3 et l'extérieur atteint une valeur de 2°C (**figure IV.41.**). Ceci est justifié par la combinaison entre l'ouverture du toit à 100% et l'ouverture de la porte d'entrée .Cela favorise une ventilation naturelle de l'air par le biais du tirage thermique avec l'existence d'une entrée d'air d'une sortie. pour échapper l'air vicié avec une vitesse de l'air interne atteignant 0.3m/s (**figure IV.42.**).



Figure IV.42. Vitesse de l'air à 16 h .
(Source: Auteur,2016).

D'une part , Nicholas Mak (1991) a montré que le tirage thermique en résulte de différentes pressions des masses d'air interne et externe, ce qui entraîne une différence de pression qui varie avec la hauteur. Dans le même contexte, Joanne M. Holford & Gary R. Hunt, (2000) ont conclu que l'effet d'une grande ouverture supérieure de l'atrium et une petite ouverture inférieure de l'atrium sont nécessaires. Ainsi, Ahmed Qadir Ahmed (2013) montre que la ventilation naturelle dans l'atrium est déterminée comme la meilleure solution qui peut réduire les impacts négatifs de surchauffe dans les espaces internes. En effet, elle peut être atteinte en créant des ouvertures appropriées dans des lieux particulièrement dans les niveaux supérieurs et inférieurs d'atrium à fournir et des déplacements de la ventilation.

IV.9.2.2.1. Stratification thermique

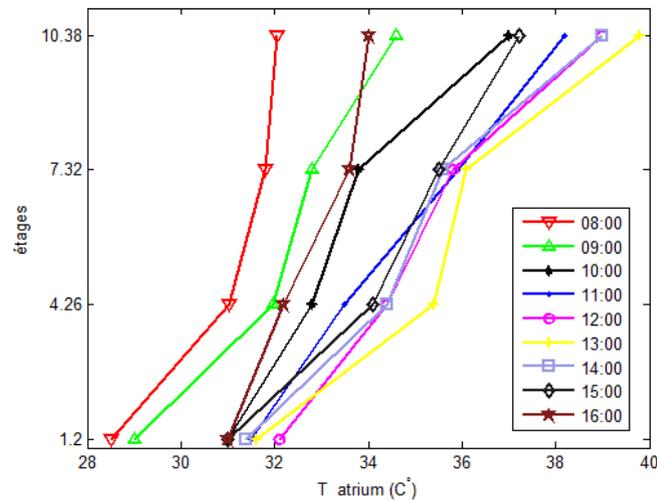


Figure IV.43. Stratification thermique dans l'atrium de la journée 19 Juillet 2016.
(Source: Auteur, 2016).

Vu les profils thermiques verticaux (**figure IV.43.**), les résultats acquis d'une manière générale, pour les gradients verticaux au centre de l'atrium correspondent au gradient vertical d'une stratification thermique répartie dans le volume durant la tranche horaire de 08h à 15h. Lors de l'ouverture du toit à 100% à 16 h combinée avec l'ouverture de la porte d'accès dans la partie basse de bâtiment, en créant une ventilation naturelle par le biais du tirage thermique servant à diminuer la température de l'air.

IV.9.2.3. Journée avec un toit ouvert à 75% à 09:00 heures (Le cas de la journée 20 juillet 2016)

La journée du 20 juillet 2016 est une journée ensoleillée caractérisée par un ciel découvert et un scénario où le toit est ouvert partiellement (75%) à 09 h (**figure IV.44.**), dans le but de connaître son impact sur le comportement thermo-aéroulque dans le centre commercial.



Figure IV.44. Ouverture du toit à 75 à 09 heures de la journée 19 Juillet 2016.
(Source: Auteur, 2016).

-Température de l'air

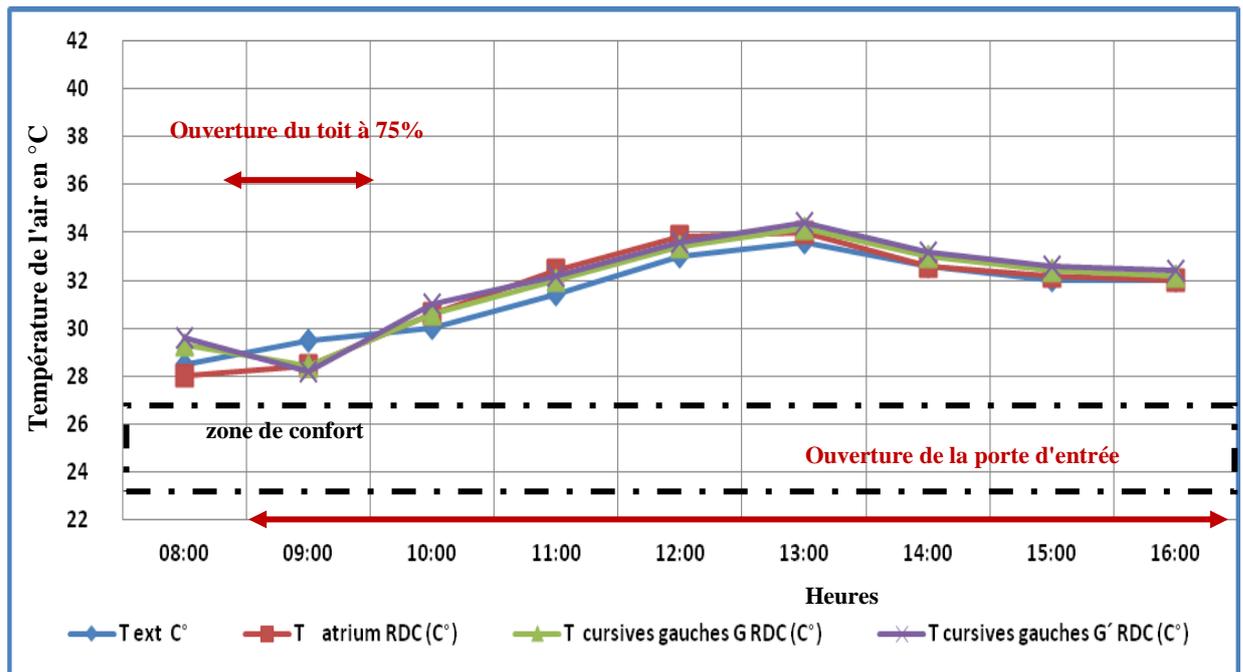


Figure IV.45. Température de l'air au niveau RDC de la journée 20 Juillet 2016. (Source: Auteur,2016).

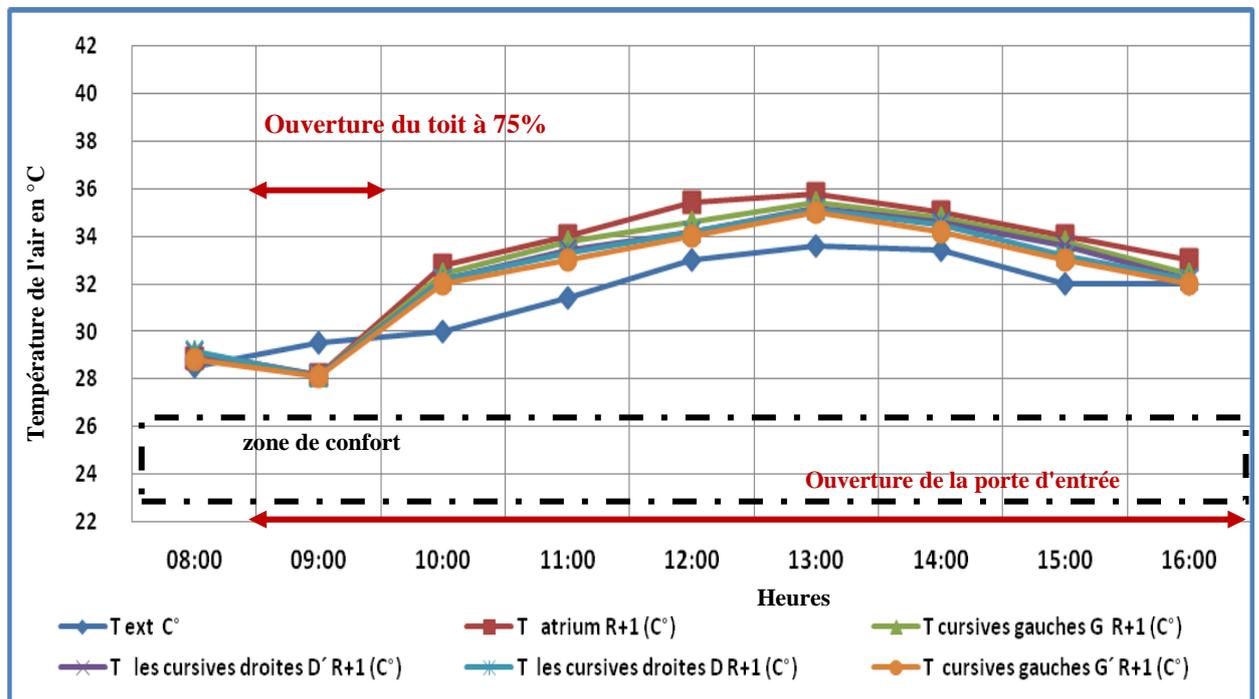


Figure IV.46. Température de l'air au niveau R+1 de la journée 20 Juillet 2016. (Source: Auteur,2016).

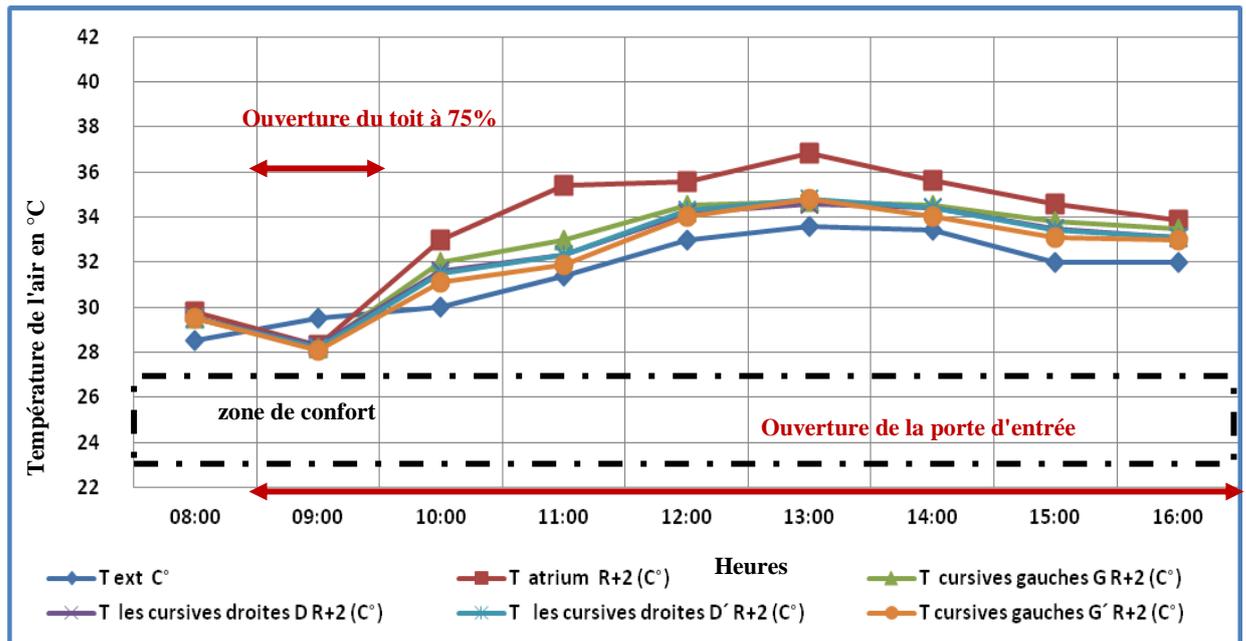


Figure IV.47. Température de l'air au niveau R+2 de la journée 20 Juillet 2016. (Source: Auteur,2016).

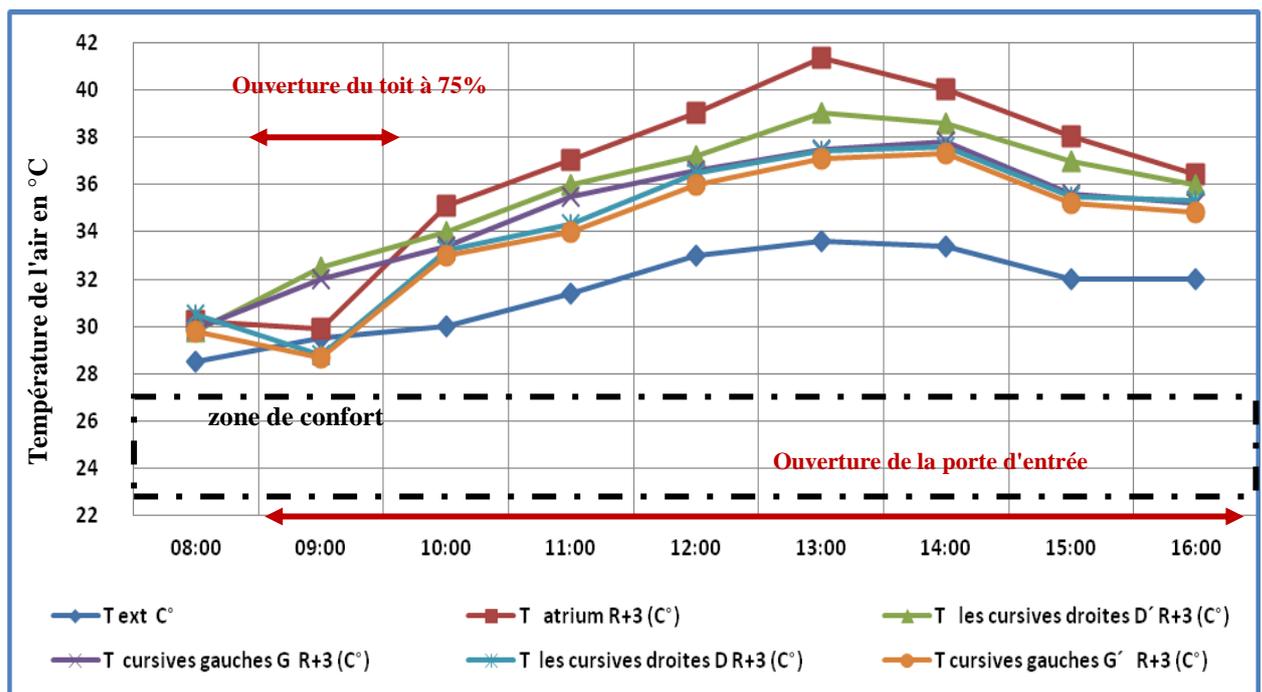


Figure IV.48. Température de l'air au niveau R+3 de la journée 20 Juillet 2016. (Source: Auteur, 2016).

En général, les profils de température de l'air dans les différents points de mesure suivent la même allure que celle de l'extérieur avec une stratification prononcée à travers les étages (figures IV.45,IV.46,IV.47,et IV.48.).Ceci revient au phénomène d'effet de serre accompagné de forte fréquentation puisque c'est les vacances d'été.

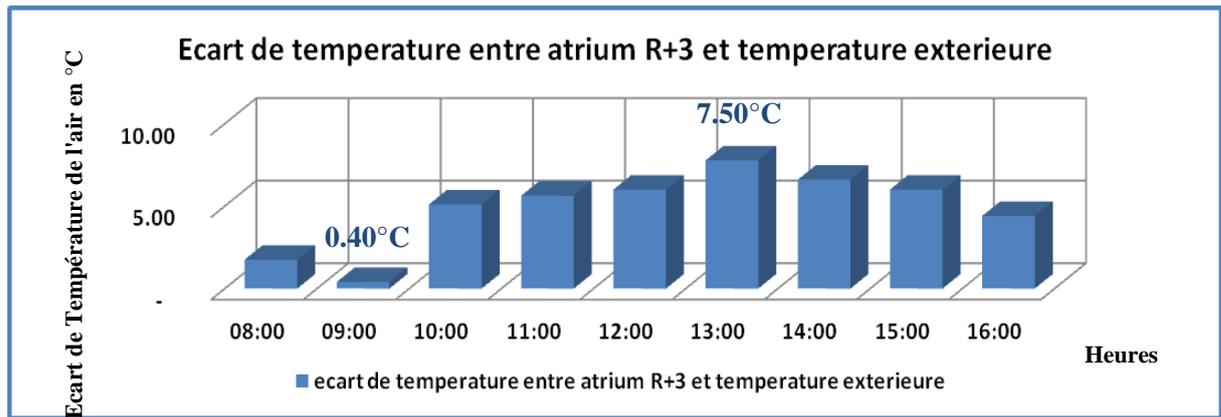


Figure IV.49. Ecart de Température de l'air de la journée 20 Juillet 2016.
(Source: Auteur, 2016).

Avec l'ouverture du toit à 75% à 09h, on constate une diminution de température avec un écart entre l'atrium du R+3 et l'extérieur atteint une valeur de 0.40°C (figure IV.49.). Ceci est justifié par la combinaison entre l'ouverture de la porte d'entrée et l'ouverture du toit pour échapper l'air vicié. Cela favorise une ventilation naturelle. Où Moosavi Leila et al (2014) affirment fortement que «la ventilation naturelle est le principal atout potentiel pour l'environnement des atriums».

IV.9.2.3.1. Stratification thermique

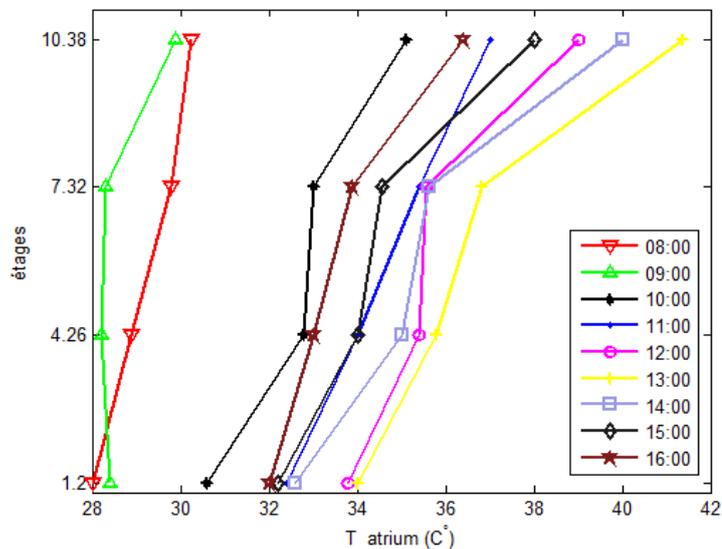


Figure IV.50. Stratification thermique dans l'atrium de la journée 20 Juillet 2016.
(Source: Auteur, 2016).

D'après les résultats donnés à travers les gradients thermiques verticaux des températures d'air intérieur de cette journée (figure IV.50.), qui permet de donner une idée sur le champ des températures intérieures avec une ouverture partielle à 9h (ouverture du toit à 75%), caractérisée par la présence d'une stratification thermique est bien illustrée de 10h à

16h. Tandis lors de l'ouverture du toit, on remarque une diminution de température par un renouvellement d'air de tout le volume de l'espace atrium.

Humidité relative en (%)

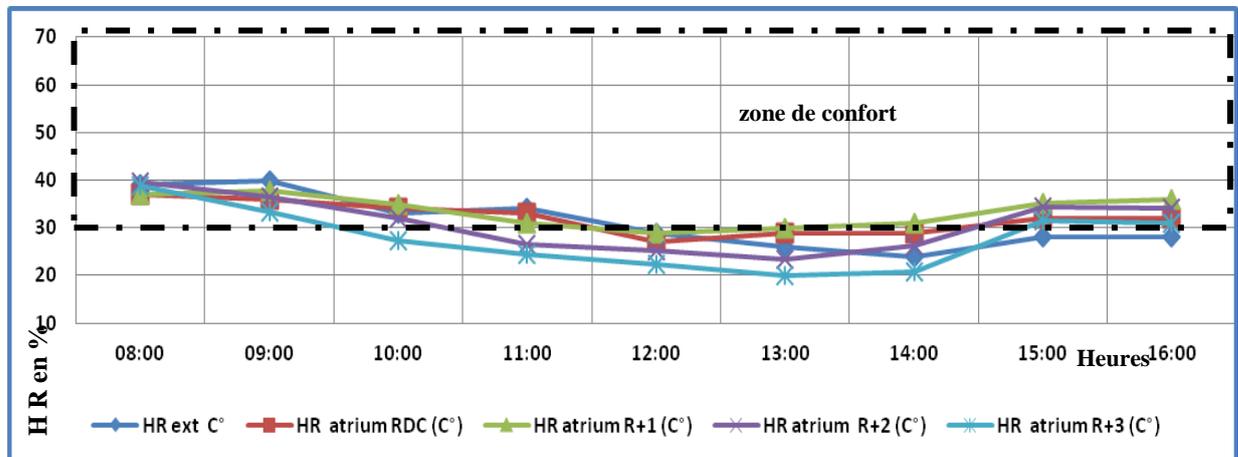


Figure IV.51. Humidité relative au niveau atrium de la journée 18 Juillet 2016.
(Source: Auteur, 2016).

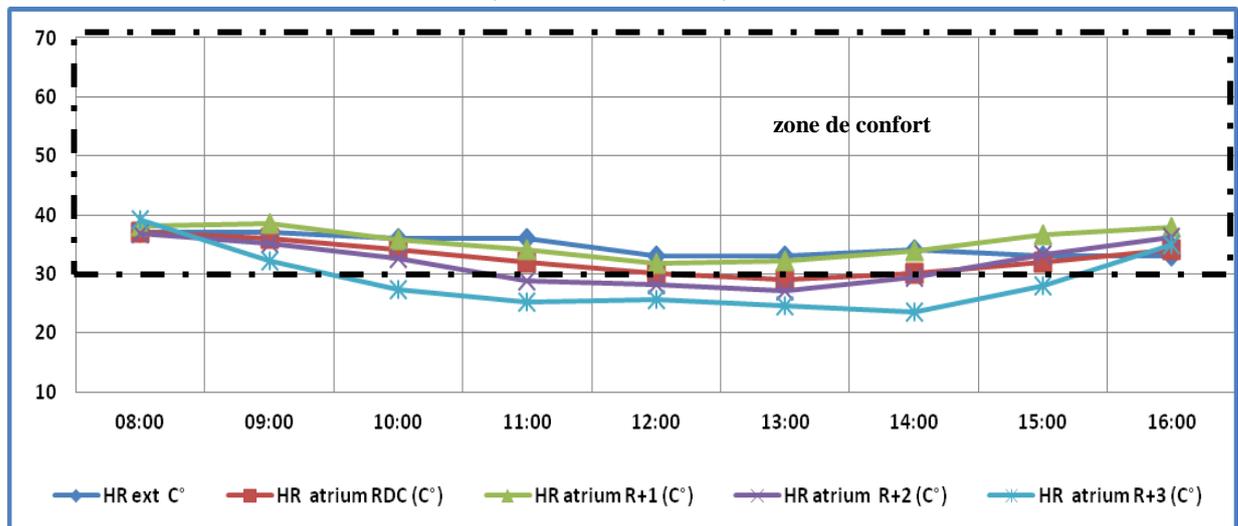


Figure IV.52. Humidité relative au niveau atrium de la journée 19 Juillet 2016.
(Source: Auteur, 2016).

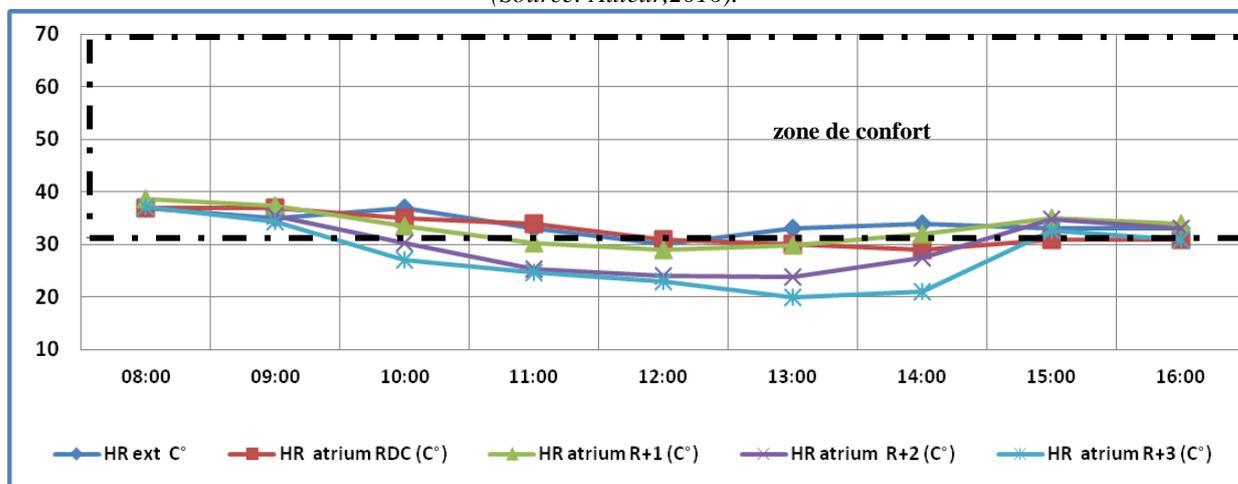


Figure IV.53. Humidité relative au niveau atrium de la journée 20 Juillet 2016.
(Source: Auteur, 2016).

En observant les courbes représentatives des humidités relatives des différentes journées durant la période estivale (**figures IV.51,IV.52,et IV. 53.**), on constate que les humidités dans les espaces inférieurs sont plus élevées que celles des deux derniers étages et ces derniers sont en dehors de la zone de confort. Tandis que lors de l'ouverture du toit à 100% à 16 h cela influe sur l'humidité relative par le renouvellement d'air ainsi que lors de l'ouverture à 9 h qui permet d'inclure les courbes dans la plage de confort sur la limite inférieure. Ce qui nous amène à confirmer que les humidités relatives augmentent au fur et à mesure que la température baisse.

9.2.4.Synthèse de l'investigation estivale

L'investigation effectuée durant 3 jours successifs du mois de Juillet était analysée afin de connaître le comportement d'atrium vis à vis au confort thermique. D'abord, le centre commercial "Sans Visa" est caractérisé par une surchauffe et stratification thermique causées par la sollicitation aux rayons solaires excessifs durant la période chaude. Mais la ventilation naturelle par le biais du tirage thermique durant deux périodes distinctes, ayant un effet positif sur l'ambiance interne par un renouvellement d'air pour lutter contre la surchauffe dans les différents points de mesures.

Conclusion

Les performances thermiques des atriiums dépendent fortement des gains solaires et des échanges thermiques entre les différents espaces qui l'entourent.

Ce chapitre nous a permis tout d'abord de présenter notre cas d'étude au niveau du contexte climatique celui de Constantine. Suit par une présentation du centre commercial qui incorpore un atrium avec un toit rétractable nos critères de ce choix, et la manière de déroulement de la campagne de mesure avec les différentes stations et scénarios durant les deux périodes printanière et estivale. Afin de tester les performances thermiques et ce qui s'y passe réellement du point de vue thermique d'atrium. En étudiant son comportement thermique par la mesure. Dans le but d'assurer un confort hygrothermique et la régulation de températures intérieures pour améliorer l'ambiance thermique. On a fait un recours vers la ventilation naturelle par l'effet du tirage thermique en ouvrant le toit soit à 100% à 16 h et 75% à 9 h.

D'une part, Les résultats retenus de l'investigation de la période printanière montrent que l'espace atrium avec sa couverture transparente peut augmenter les valeurs de température de

l'air interne où elles dépassent celle de l'extérieur par des apports solaires et le chauffage solaire passif en minimisant le recours vers les moyens de pointe.

D'autre part, Les résultats acquis pour la période estivale révèlent une ambiance thermique désagréable pendant cette saison causés par les gains solaires excessifs en été due à la couverture transparente du toit d'atrium avec une stratification thermique coïncidant avec une forte fréquentation. Où il a enregistré un écart entre l'atrium du dernier niveau et l'extérieur atteignant 10.6°C lorsque le toit est fermé.

Puisque le toit d'atrium est ouvrant (rétractable), on a eu recours à un deuxième scénario, d'une ventilation naturelle par le tirage thermique à travers l'ouverture de la porte d'accès et le toit ouvrant à 16 h. Les résultats ont révélé un rafraîchissement significatif bien senti accompagner d'une évacuation de l'air chaud accumulé sous le toit, où la vitesse de l'air atteint 0.3m/s . Puis on a pensé à un autre scénario pour un renouvellement d'air durant la matinée par une ouverture partielle du toit (à 75%) un rafraîchissement senti avec un écart thermique atteignant 0.4°C entre atrium R+3 et l'extérieur. cette amélioration d'ambiance est bien sentie aussi dans les coursives pendant le déroulement des scénarios.

Dans le but de compléter les scénarios que nous ne pouvons pas faire à cause des contraintes sur terrain, on procède dans le chapitre suivant à une simulation numérique à l'aide du logiciel « EDSL Tas », qui permet la possibilité de faire des changements de scénarios pour déterminer éventuellement la technique optimale afin de créer une ambiance interne optimale.

CHAPITRE V
SIMULATION NUMÉRIQUE

Introduction

Un grand nombre de bâtiments d'atrium ont été construits au cours des dernières années, certains se sont révélés très efficaces alors qu'un certain d'autres ont échoué pour diverses raisons (Oosthuizen et Lightstone, 2009). Ces échecs soulignent toute la nécessité d'une analyse détaillée de l'environnement thermique dans les atriums et la nécessité d'une évaluation des conditions de confort thermique des occupants. Certains problèmes qui peuvent survenir avec l'intégration de l'atrium en bâtiments sont l'inconfort thermique caractérisé par des régions à haute température et la stratification thermique résultant du chauffage solaire. La conception d'un atrium devrait impliquer à minimiser ce problème. Cependant, la ventilation naturelle de l'atrium peut réduire les impacts négatifs de la surchauffe dans les espaces internes.

Dans les 25 dernières années, des chercheurs ont développé et proposé diverses méthodes telles que l'expérimentation et la simulation numérique pour identifier les performances thermiques de ventilation dans les atriums (Moosavi Leila et al,2016).

A fin de connaître le comportement thermo-aéraulique de l'atrium ,notre cas d'étude a été simulé à l'aide d'un logiciel EDSL Tas. Le modèle proposé permet de prendre en compte les températures de l'air, l'humidité relative et les vitesses d'air.

V.1. Motivation du choix du logiciel

EDSL TAS version 9.2.1.4 est un outil de modélisation et de simulation de construction. Il permet d'effectuer une simulation thermique et dynamique pour les bâtiments les plus grands et les plus complexes, TAS permet aux concepteurs de prédire avec précision le confort des occupants. Il permet d'effectuer des simulations paramétriques rapides et permet d'apporter des modifications au modèle, d'exporter des résultats à partir de n'importe quelle application de Tas.

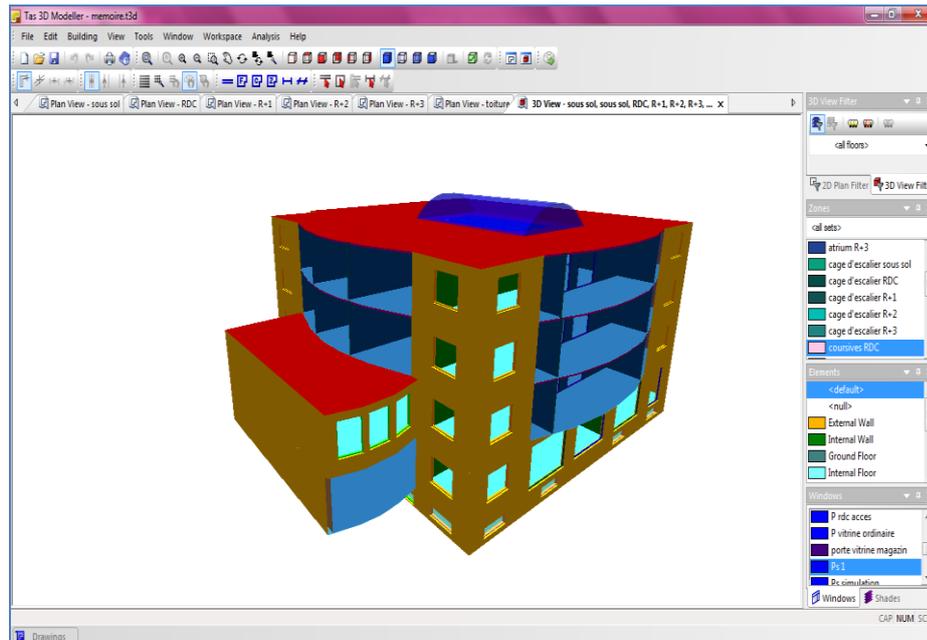
Le programme Tas inclut des applications suivantes:

- Tas 3D Modeller (Création de géométrie).
- Tas Building Simulator (Programme de modélisation et de simulation des informations sur le bâtiment).
- Tas Results Viewer (visualiseur de résultats tabulaires, graphiques et 3D).
- Tas Ambiens (programme 2D).

V.2. Etapes de la simulation

L'expérimentation étudiée dans le chapitre précédent est renforcée par la simulation qui est considérée comme son élément complémentaire pour mieux comprendre le comportement thermo-aéraulique dans les bâtiments qui incorpore un atrium.

L'atrium du centre commercial "sans Visa" de la ville nouvelle Ali Mendjeli est présenté par le modèle TAS Builder (**figure V.1.**):



*Figure V. 1. Modèle du cas d'étude réalisé par TAS modeller.
(Source: auteur, 2016).*

Le modèle est composé de 05 groupes de zones, qui contiennent des espaces à simuler (**figure V.2.**):

- 1- Zones Atrium :** (atrium RDC, atrium du 1^{er} étage, atrium 2^{ème} étage et l'atrium de 3^{ème} étage).
- 2- Zones Coursives:** (coursives RDC, coursives 1^{er} étage, coursives 2^{ème} étage et coursives 3^{ème} étage.)
- 3- Zones Espaces adjacents:** (espaces ad sous sol, espaces adj RDC, espaces adj 1^{er} étage, espaces adj 2^{ème} étage et espaces adj 3^{ème} étage).
- 4-Zone cage d'escalier:** (espaces de la cage d'escalier sous sol, espaces de la cage d'escalier RDC, espaces de la cage d'escalier 1^{er} étage, espaces de la cage d'escalier 2^{ème} étage et espaces de la cage d'escalier 3^{ème} étage).
- 5- Zone intermédiaire:** (entre la cage d'escalier et les coursives) : (espaces intermédiaires RDC, espaces intermédiaire 1^{er} étage, espaces intermédiaire 2^{ème} étage et espaces intermédiaire 3^{ème} étage).

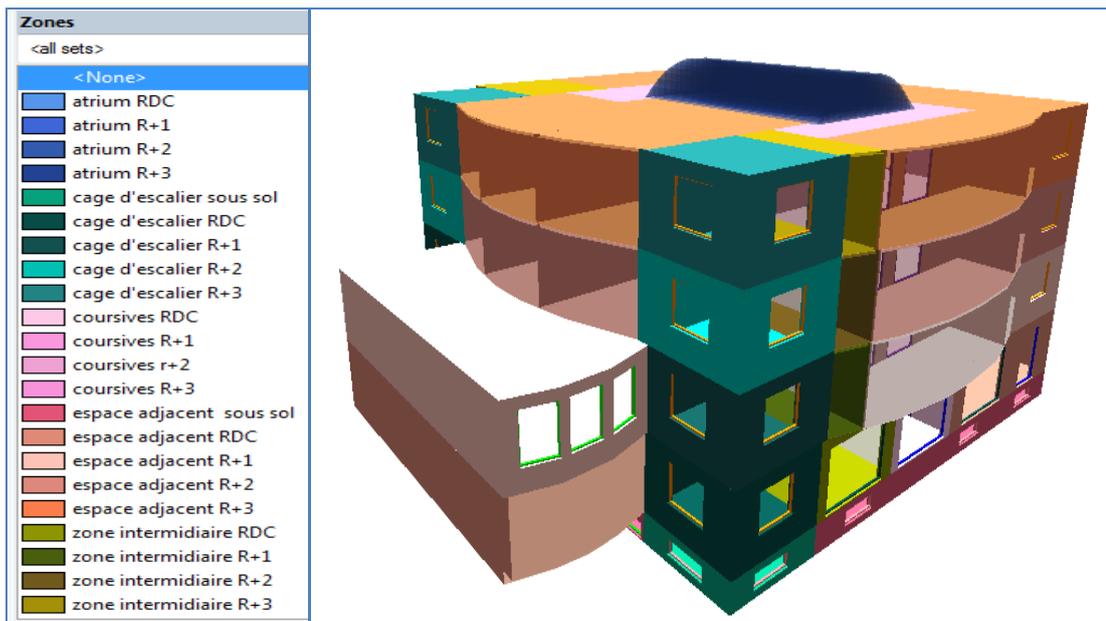


Figure V.2. Modele du cas d'etudes avec les differentes zones.
(Source: Auteur ,2016).

V.3.Procedure utilisée pour la simulation

V.3.1.Calendrier

Le calendrier c'est la première étape du TAS Simulator. Il contient les jours d'une année (le nombre de jour et les dates) avec des informations principales concernant les journées choisies pour la simulation qui sont pour l'expérimentation, afin de décrire les aspects opérationnels du bâtiment, durant la période de simulation (figure V.3.).

Calendar

Day Types: Weekday, printemps 01 (partie 01 en 2016), été 2016, Public Holiday, printemps02 (partie 02 en 2016)

View: Day Types, Day Numbers, Dates, Shading

Name: simulation atrium
Description: New Calendar

| Week | Monday | Tuesday | Wednesday | Thursday | Friday | Saturday | Sunday |
|------|--------|---------|-----------|----------|--------|----------|--------|
| 10 | Mar 05 | Mar 06 | Mar 07 | Mar 08 | Mar 09 | Mar 10 | Mar 11 |
| 11 | Mar 12 | Mar 13 | Mar 14 | Mar 15 | Mar 16 | Mar 17 | Mar 18 |
| 12 | Mar 19 | Mar 20 | Mar 21 | Mar 22 | Mar 23 | Mar 24 | Mar 25 |
| 13 | Mar 26 | Mar 27 | Mar 28 | Mar 29 | Mar 30 | Mar 31 | Apr 01 |
| 14 | Apr 02 | Apr 03 | Apr 04 | Apr 05 | Apr 06 | Apr 07 | Apr 08 |
| 15 | Apr 09 | Apr 10 | Apr 11 | Apr 12 | Apr 13 | Apr 14 | Apr 15 |
| 16 | Apr 16 | Apr 17 | Apr 18 | Apr 19 | Apr 20 | Apr 21 | Apr 22 |
| 17 | Apr 23 | Apr 24 | Apr 25 | Apr 26 | Apr 27 | Apr 28 | Apr 29 |
| 18 | Apr 30 | May 01 | May 02 | May 03 | May 04 | May 05 | May 06 |
| 19 | May 07 | May 08 | May 09 | May 10 | May 11 | May 12 | May 13 |
| 20 | May 14 | May 15 | May 16 | May 17 | May 18 | May 19 | May 20 |
| 21 | May 21 | May 22 | May 23 | May 24 | May 25 | May 26 | May 27 |
| 22 | May 28 | May 29 | May 30 | May 31 | Jun 01 | Jun 02 | Jun 03 |
| 23 | Jun 04 | Jun 05 | Jun 06 | Jun 07 | Jun 08 | Jun 09 | Jun 10 |
| 24 | Jun 11 | Jun 12 | Jun 13 | Jun 14 | Jun 15 | Jun 16 | Jun 17 |
| 25 | Jun 18 | Jun 19 | Jun 20 | Jun 21 | Jun 22 | Jun 23 | Jun 24 |
| 26 | Jun 25 | Jun 26 | Jun 27 | Jun 28 | Jun 29 | Jun 30 | Jul 01 |
| 27 | Jul 02 | Jul 03 | Jul 04 | Jul 05 | Jul 06 | Jul 07 | Jul 08 |
| 28 | Jul 09 | Jul 10 | Jul 11 | Jul 12 | Jul 13 | Jul 14 | Jul 15 |
| 29 | Jul 16 | Jul 17 | Jul 18 | Jul 19 | Jul 20 | Jul 21 | Jul 22 |
| 30 | Jul 23 | Jul 24 | Jul 25 | Jul 26 | Jul 27 | Jul 28 | Jul 29 |

Figure V.3. Calendrier utilisé pour la simulation.
(Source: Auteur ,2016).

V.3.2. Données climatiques " Le fichier météo"

La connaissance des conditions climatiques extérieures des jours d'investigation pour arriver à une simulation de l'ambiance interne. Par exemple : le rayonnement solaire globale, diffus ainsi que les températures et l'humidité de l'air extérieur, la vitesse et la direction des vents pour chaque heure. A cet effet là, on a eu recours au logiciel météo-norme 7 afin de générer un fichier météo "file weather data" (**figure V.4.**) .

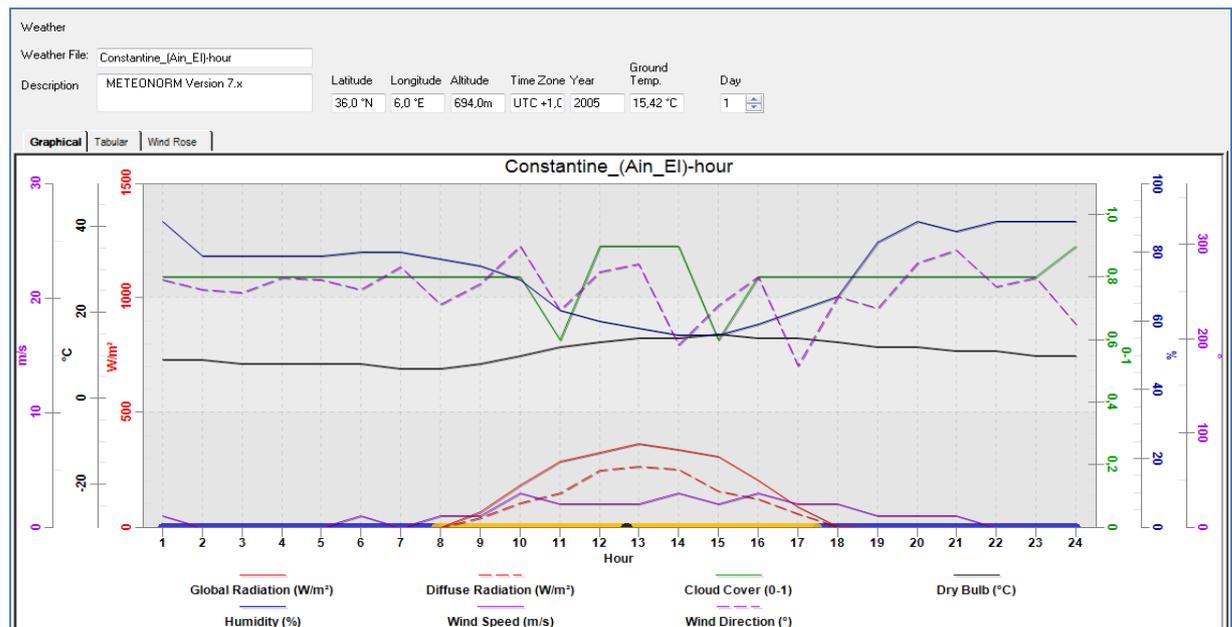


Figure V.4. Fichier meteo de la ville de Constantine.
(Source: Auteur ,2016).

V.3.3. Différents éléments de la construction

Nous allons commencer par entrer les différentes compositions des éléments de construction du modèle 3D modeler, à titre d'exemple : les murs, les planchers ..., mais il faut d'abord connaître les matériaux utilisés et leurs caractéristiques thermo-physique soient des matériaux solides ou transparents (**Tableau V.1.**)

Pour pouvoir entrer les caractéristiques de chaque composantes, il faut d'abord entrer les caractéristiques thermophysiques de celles ci .

Tableau V. 1. Caractéristiques thermo-physique des matériaux utilisés.(Source: RAHAL Samira,2011).

| Nom | Conductivité λ (W/m°C) | Capacité thermique (J/Kg.°C) | Masse volumique P (kg/m ³) | Vapeur diffusion factor | Solar reflectance | | Light reflectance | | emissivity | |
|------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------|-----|------------|------|
| | | | | | Ext | Int | Ext | Int | Ext | Int |
| Les matériaux solides | | | | | | | | | | |
| Plâtre courant | 0.35 | 936 | 960 | 11 | 0.6 | 0.6 | 0 | 0 | 0.9 | 0.9 |
| Brique creuse | 0.48 | 936 | 900 | 8 | 0.28 | 0.28 | 0 | 0 | 0.93 | 0.93 |
| Mortier en ciment | 1.4 | 780 | 1890 | 19.2 | 0.6 | 0.6 | 0 | 0 | 0.9 | 0.9 |
| Béton | 1.45 | 1080 | 1450 | 34 | 0.35 | 0.35 | 0 | 0 | 0.9 | 0.9 |
| Bitume feutre | 0.23 | 1656 | 1100 | 99999 | 0.11 | 0.11 | 0 | 0 | 0.25 | 0.25 |
| Gravillons | 1.2 | 792 | 1800 | 38.4 | 0.35 | 0.35 | 0 | 0 | 0.9 | 0.9 |
| Dalle en corps creux | 1.14 | 1080 | 2250 | 34 | 0.35 | 0.35 | 0 | 0 | 0.9 | 0.9 |
| marbre | 2.9 | 936 | 2590 | 99999 | 0.3 | 0.3 | 0 | 0 | 0.9 | 0.9 |
| Lit de sable | 0.6 | 639 | 1300 | 99999 | 0.3 | 0.3 | 0 | 0 | 0.9 | 0.9 |
| aluminium | 230 | 936 | 2700 | 99999 | 0.5 | 0.5 | 0 | 0 | 0.22 | 0.22 |
| Les matériaux transparents | | | | | | | | | | |
| Nom | Condu ctivité λ (W/m° C) | Vapeur diffusion factor | Trans missio n solar | Solar reflectance | | Transmi sion de la lumière | Light reflectance | | emissivity | |
| | | | | Ext | Int | | Ext | Int | Ext | Int |
| vitrage | 1 | 9999 | 0.82 | 0.09 | 0.09 | 0.89 | 0 | 0 | 0.97 | 0.97 |
| Polycarbonate | 0.32 | 9999 | 0.87 | 0.13 | 0.13 | 0.90 | 0 | 0 | 0.97 | 0.97 |
| Coefficient de convection (W/m°C) | | | | | Vapeur diffusion factor | | | | | |
| La lame d'air | 1.25 | | | | 1 | | | | | |

Afin de connaître les propriétés de chaque composante (matériaux utilisés), nous devons connaître d'abord leur composition (**tableau V.2.**) puis l'affecte dans chaque élément (**figure V.3.**).

Tableau V.2. Composition des constructions utilisées, (Source: RAHAL Samira,2011)

| Nomination | La composition | L'épaisseur en mm | Epaisseur totale en mm |
|-------------------------------------|------------------------------------------------|-------------------|------------------------|
| Mur extérieur | Plâtre (crépissage extérieur) | 20 | 340 |
| | Brique creuse | 100 | |
| | Lame d'air | 50 | |
| | Brique creuse | 150 | |
| | Mortier en ciment | 20 | |
| Mur intérieur | Plâtre (enduit extérieur) | 20 | 120 |
| | Brique creuse | 80 | |
| | Plâtre courant (enduit intérieur) | 20 | |
| Plate forme | Revêtement en marbre | 25 | 170 |
| | Lit de sable | 25 | |
| | béton | 120 | |
| Plancher intermédiaire | Revêtement en marbre | 25 | 270 |
| | Lit de sable | 25 | |
| | Dalle en corps creux | 200 | |
| | Plâtre courant (enduit intérieur sous plafond) | 20 | |
| Plancher toiture | Plâtre courant (enduit sous plafond) | 20 | 270 |
| | Dalle en corps creux | 200 | |
| | Bitume feutre | 20 | |
| | gravillons | 30 | |
| Porte | En aluminium | 20 | 20 |
| Porte vitrine | En verre stop sol | 4 | 4 |
| Cadre en aluminium | Aluminium | 50 | 50 |
| Cadre en verre | Verre | 4 | 4 |
| Vitrage fenêtres | Vitrage simple | 4 | 4 |
| Couverture du toit en Polycarbonate | Polycarbonate | 10 | 10 |

| Name | Description | Construction | Substitute Element | Aperture Type |
|---------------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------|-----------------|
| External Wall | | paroi ext | | |
| Internal Wall | | mur int | | |
| Ground Floor | | Notional Ground Floor | | |
| Exposed Floor | | Notional Exposed Floor | | |
| Roof | | Notional Roof 1 | | |
| glazing wall | | Notional Side Lit Glazing | | |
| toit atrium | | toit atrium | | |
| toit atrium/Internal Ceiling | | Notional Roof Lit Glazing | | |
| Internal Floor/Internal Ceiling | | plancher intermediaire | | |
| Internal Floor/null-ceiling | | plate forme | | |
| Null | Null Building Element | | | |
| P s 1-frame | | cadre en aluminium | | |
| P s 1-pane | | porte en aluminium | | |
| F s 1-frame | | cadre en aluminium | | |
| F s 1-pane | | vitrage fenetre | | |
| P s simulation-frame | | cadre en aluminium | | |
| P s simulation-pane | | porte en aluminium | | P s ordinaire |
| P s simulation laterale-frame | | cadre en verre | | |
| P s simulation laterale-pane | | cadre en verre | | p s laterale |
| porte vitrine magasin-frame | | cadre en verre | | |
| porte vitrine magasin-pane | | porte vitrine | | |
| fenetre laterale-frame | | cadre en aluminium | | |
| fenetre laterale-pane | | vitrage fenetre | | |
| garage rdc-frame | | cadre en verre | | |
| garage rdc-pane | | porte vitrine | | |
| P rdc acces -frame | | cadre en verre | | |
| P rdc acces -pane | | porte vitrine | | porte rdc acces |
| fenetre rdc f principale-frame | | cadre en aluminium | | |
| fenetre rdc f principale-pane | | vitrage fenetre | | |
| garage 2-frame | | cadre en verre | | |
| garage 2-pane | | porte vitrine | | |
| P vitrine ordinaire-frame | | cadre en verre | | |
| P vitrine ordinaire-pane | | porte vitrine | | |

Figure V.5. Différents élément composant le cas d'étude.

(Source: Auteur, 2016).

V.3.4. Conditions intérieures

Pour une meilleure fiabilité de la simulation, il est obligatoire de déterminer les conditions internes tel que le gain intérieur durant la période d'activité du centre commercial qui contient: (les gains d'infiltration, de ventilation, d'éclairage ainsi que les gains sensibles et latents des occupants et les équipements).

Tandis que ces conditions peuvent être contrôlées et variées suivant le déroulement des scénarios qui sont définis et appliqués aux différents types de jour (**figure V.6**).

Ces conditions intérieures doivent être appliquées pour tous les espaces du cas d'étude.

The screenshot shows a software interface for setting indoor conditions. The main window is titled 'centre commercial en activite' and includes a 'Description' field. Below this, there are tabs for 'Internal Gain', 'Heating Emitter', 'Cooling Emitter', and 'Thermostat'. The 'Internal Gain' tab is active, showing a sub-window for 'CC' with a 'Description' field. This sub-window contains a table of gains and system parameters.

| Gain | Value | Factor | Setback Value | Schedule |
|-----------------------|-------------------------|--------|-------------------------|--------------------------|
| Infiltration | 0,25 ach | 1,0 | 0,0 ach | |
| Ventilation | 0,0 ach | 1,0 | 0,0 ach | |
| Lighting Gain | 18,75 W/m ² | 1,0 | 0,0 W/m ² | 08-17 heure d'activit... |
| Occupancy Sensi... | 10,0 W/m ² | 1,0 | 0,0 W/m ² | 08-17 heure d'activit... |
| Occupancy Latent... | 4,0 W/m ² | 1,0 | 0,0 W/m ² | 08-17 heure d'activit... |
| Equipment Sensib... | 10,0 W/m ² | 1,0 | 0,0 W/m ² | 08-17 heure d'activit... |
| Equipment Latent... | 0,0 W/m ² | 1,0 | 0,0 W/m ² | |
| Pollutant Generati... | 0,0 g/hr/m ² | 1,0 | 0,0 g/hr/m ² | |

Below the table, there are 'System Parameters' including Metabolic Rate (120,0 W/p), DHW (0,0 l/d/m²), Outside Air (8,0 l/s/p), and Target Room Illuminance (0,0 lx). To the right of the main window is a 'Zones' sidebar listing various rooms: atrium R+1, atrium R+2, atrium R+3, atrium RDC, cage d'escalier R+1, cage d'escalier R+2, cage d'escalier R+3, cage d'escalier RDC, cage d'escalier sous sol, coursives R+1, coursives R+2, coursives R+3, coursives RDC, espace adjacent sous sol, espace adjacent R+1, espace adjacent R+2, espace adjacent R+3, espace adjacent RDC, zone intermediaire R+1, zone intermediaire R+2, zone intermediaire R+3, and zone intermediaire RDC.

Figure V.6. Conditions intérieures.

(Source: Auteur, 2016).

V.3.5. Scénarios

Afin d'arriver à confirmer notre hypothèse et mieux connaître le comportement thermo-aérauliques d'un atrium ventilé, on a fait un recours vers différents scénarios.

Les scénarios sont définis par l'ouverture du toit durant un intervalle de temps bien défini de 07:00H -19:00hH caractérisé par une forte fréquentation de visiteur (**figure V.7**).

Schedule

Name: ouverture totale

Description:

| Hour | 0/1 |
|--------|-----|
| 0 - 1 | 0 |
| 1 - 2 | 0 |
| 2 - 3 | 0 |
| 3 - 4 | 0 |
| 4 - 5 | 0 |
| 5 - 6 | 0 |
| 6 - 7 | 1 |
| 7 - 8 | 1 |
| 8 - 9 | 1 |
| 9 - 10 | 1 |
| 10-11 | 1 |
| 11-12 | 1 |
| 12-13 | 1 |
| 13-14 | 1 |
| 14-15 | 1 |
| 15-16 | 1 |
| 16-17 | 1 |
| 17-18 | 1 |
| 18-19 | 1 |
| 19-20 | 0 |
| 20-21 | 0 |
| 21-22 | 0 |
| 22-23 | 0 |
| 23- 0 | 0 |

Figure V.7. Période de déroulement de la simulation .
(Source: Auteur ,2016).

V.3.6. Type d'ouvertures (aperture)

Notre scénario est dépendant de la simulation de la ventilation naturelle qui est en relation directe avec l'ouverture du toit d'espace atrium. Les différentes ouvertures dans les parois et le plafond peuvent avoir un impact significatif sur l'ambiance intérieure du centre commercial (figure V.8.).

Aperture Type

Name: ouverture 100%

Description:

Sheltered

Weekday
Saturday
Sunday
Public Holiday

| Gain | Value | Factor | Setback Value | Schedule |
|---------|-----------|--------|---------------|-------------|
| Opening | 1,0 (0-1) | 1,0 | 0,0 (0-1) | scenario 02 |

Figure V.8. Exemple de type d'ouverture
(Source: Auteur ,2016).

Le logiciel EDSL TAS peut déterminer le phénomène du tirage thermique, ventilation transversale et la distribution de température et d'humidité.

D'après l'insertion de toutes les données citées précédemment, les résultats de la simulation se trouvent dans le fichier " **The Result Viewer**».

V.4. Déroulement de la simulation

La simulation a pour but de monter le comportement thermo-aéraulique d'atrium et les différentes aires qui l'entourent durant des périodes bien définies sous le climat semi-aride, où cet espace est soumis aux sollicitations d'ensoleillement extrêmes pendant la période chaude.

En utilisant EDSL TAS la simulation numérique nous a permis d'accéder aux températures et humidités relatives horaires, par conséquent la connaissance de leurs besoins en matière de chauffage et climatisation.

Tableau V.3. présente plusieurs séries de simulations ont été effectuées dans le but de tester les performances de chaque cas. Tous d'abord, nous avons effectué des simulations d'atrium avec un toit fermé pour comparer les résultats de la simulation aux résultats du suivi expérimental. Puis, on a procédé d'ouvrir le toit d'atrium suivant différents scénarios durant la période printanière afin de connaître son impact sur la sensation du confort..Ensuite on a essayé de combiner entre l'ouverture du toit et les fenêtres pour évaluer le comportement d'atrium.

Tableau V.3. Différents scénarios proposés pour la simulation, (Source: Auteur, 2016)

| |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| les journées concernées pour la simulation: le 07mars 2016 et le 26 mars 2016 caractérisées par : |
| Toit fermé |
| Ouverture du toit 25% , 50% ,75% et 100 % durant la période de 07:00-19:00h |
| La journée de 18 juillet 2016 est caractérisée par : |
| Toit fermé |
| Ouverture du toit 25% , 50% ,75% et 100 % durant la période de 07:00-11:00h et 16:00-19:00h |
| Ouverture du toit 25% , 50% ,75% et 100 % durant la période de 07:00-19:00h |
| Toit ouvert à 100% +ventilation transversale NO- SE et l'ouverture des fenêtres de la cage d'escalier |
| Toit ouvert à100%+ventilation transversale NO-SE et NE-SO(des 4 cotes et l'ouverture de la cage d'escalier). |

V.5. Résultats et analyse

V.5.1. Comparaison entre des résultats de simulations à ceux des mesures

Dans le but d'évaluer les résultats des simulations aux résultats expérimentaux, la comparaison est effectuée sur les variations thermiques pendant les heures d'occupation aux

différents niveaux de l'espace atrium, durant la période estivale de la journée 18 Juillet 2016 sans ventilation (avec un toit fermé), pendant la durée de 08h à 16h.

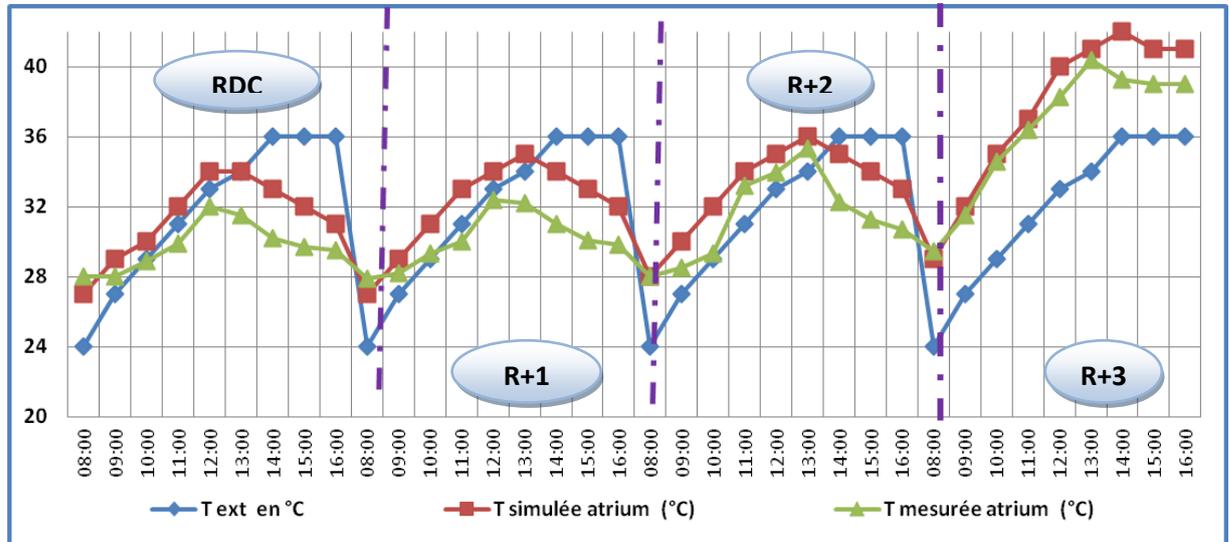


Figure V. 9. Comparaison entre des résultats de simulations à ceux des mesures
(Source: auteur, 2016).

En comparant les résultats de la simulation avec le programme « TAS » à ceux mesurés (**figure V. 9**), on constate que les allures de la température simulée de chaque étage suivent celle mesurée, avec un écart minimal de 0.60°C à 11h. Tandis que l'écart maximal est d'environ 2°C à 14h. Ceci revient aux fréquentations des usagers durant cette période.

Certains résultats de simulation sont limités aux résultats enregistrés dans le niveau supérieur (R+3) vu que ce dernier représente l'état ultime de l'inconfort d'été causé par la surchauffe dans l'espace atrium.

V.5.2. Résultats obtenus de simulation de la période printanière

V.5.2.1. Résultats de la journée du 7 mars 2016

Cette phase est consacrée à la connaissance du comportement de l'atrium durant cette période de l'année (**figure V.10.**).

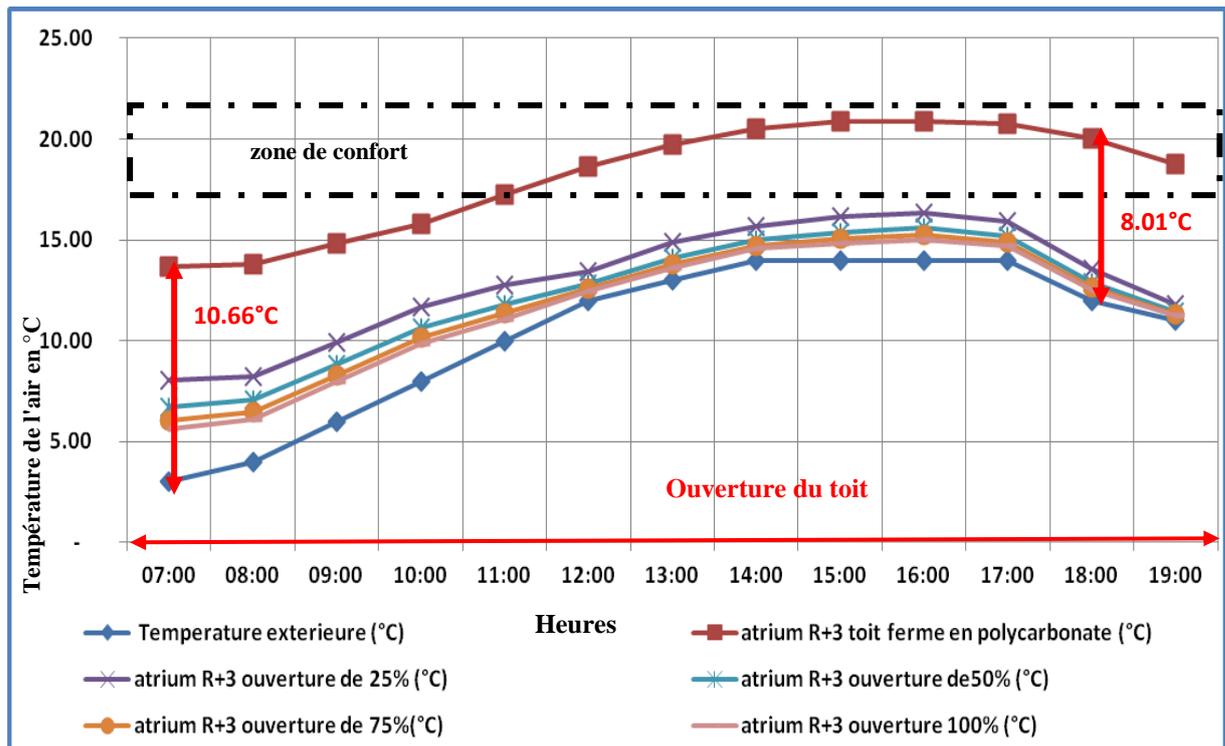


Figure V.10. Température de l'air dans l'atrium R+3 de la journée 07 mars 2016. (Source: Auteur, 2016).

Les variations de température de l'air intérieur pendant cette journée montre que les profils journaliers des gains internes sont prédéfinis dans le cas d'un atrium avec un toit fermé en polycarbonate, avec un Max atteint 21,61 °C à 13h. Tandis que les autres cas connus des valeurs de température de l'air basses se rapproches à celles de l'extérieur notamment celle de l'ouverture 100% avec un écart maximum de 2,63°C à 7h et minimum de 0,55°C à 14h et de 0,22°C à 19h. Ceci s'explique par le facteur de transmission du matériau qui couvre le toit et le gain thermique intérieur caractérisé par l'effet de serre.

Cela est confirmé selon les résultats de plusieurs chercheurs comme Bednar (1986) et Zhang (2009) qui expliquent que l'atrium peut être une source de chaleur directe gagnée de l'espace qui pourrait être un avantage en hiver mais peut être un inconvénient en été.

V.5.2.2. Résultats de la journée de 26 mars 2016

Cette phase est consacrée à la connaissance du comportement de l'atrium durant la période printanière (figure V.11).

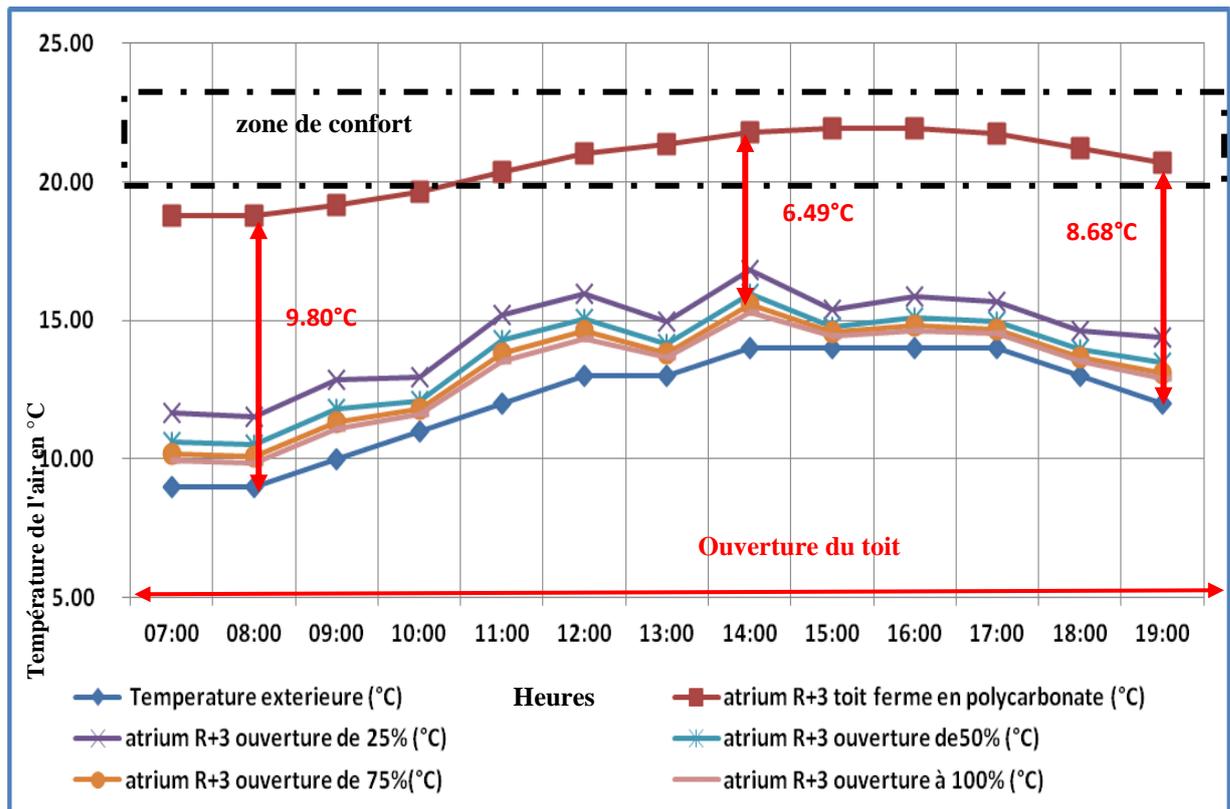


Figure V.11. Température de l'air dans l'atrium R+3 de la journée 26 mars 2016.

(Source: Auteur, 2016).

On constate que des résultats sont presque similaires à ceux de la journée du 07 mars 2016 avec un écart thermique entre température intérieure de celle de la cour de polycarbonate où l'extérieur atteint de 9.80°C à 8h.

La valeur maximale de la température est égale à 21.93°C à 15h enregistrée dans le cas du toit fermé en polycarbonate. Par contre la valeur minimale qui est de l'ordre de 14.45°C pour un atrium avec un toit ouvert à 100% , la différence minimale entre un toit fermé en polycarbonate et ouvert totalement (à 100%) égale à 6.49°C à 14h. Cela justifiée par les déperditions thermiques à cause de l'ouverture du toit.

On remarque que l'atrium avec un toit fermé durant cette période a été plus performant que celui ouvert en période diurne sur la plage horaire 07-19h, puisque le toit fermé minimise les déperditions thermiques. Cela est montré par Duke qui a comparé le coût énergétique d'un bâtiment avec une cour ouverte et un bâtiment avec une cour vitrée en utilisant le programme DOE2. L'auteur conclut que l'ajout d'un toit vitré à une cour ouverte a entraîné des économies de coûts d'énergie d'environ 10%.

Sachant que :

Cas A: température extérieure.

Cas B atrium avec un toit fermé.

Cas C: atrium avec un toit ouvert à 25%

Cas D: atrium avec un toit ouvert à 50%.

Cas E : atrium avec un toit ouvert à 75%.

Cas F : atrium avec un toit ouvert à 100%

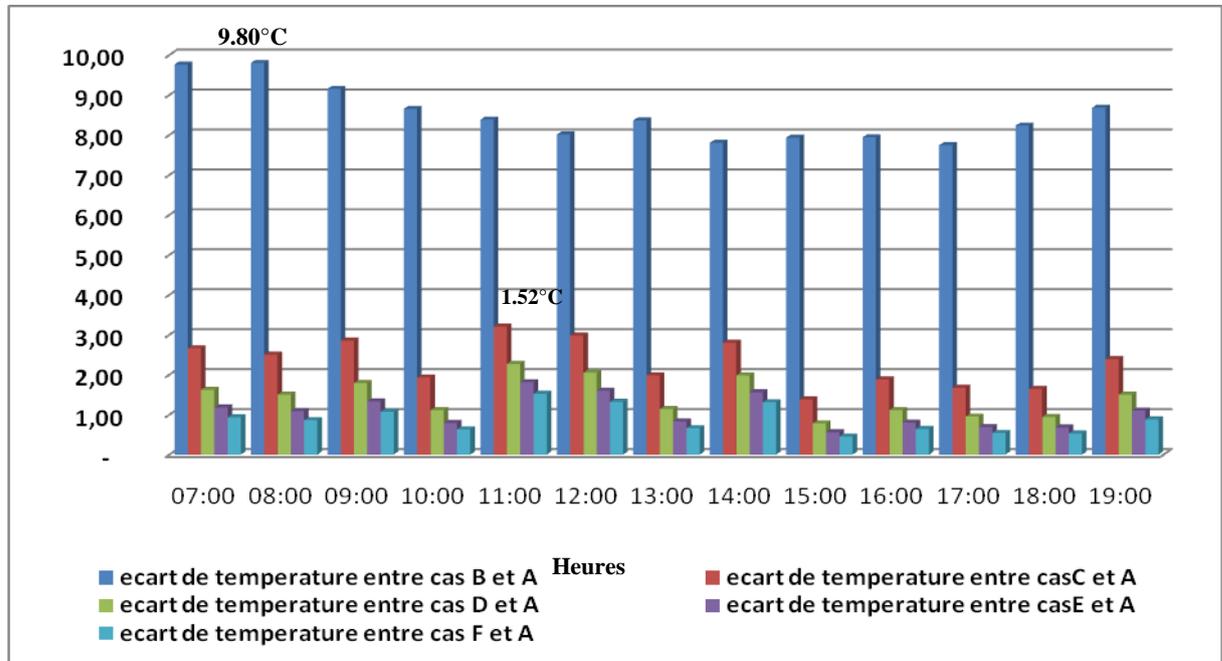


Figure V.12. Ecart de température dans l'atrium R+3 de la journée 26 mars 2016.
(Source: Auteur, 2016).

D'après la **figure V.12.** qui présente les écarts de température entre les différents cas effectués durant la journée de 26 mars 2016, on constate que les valeurs maximales sont enregistrées lorsque le toit est fermé qui atteignent une valeur maximale de 9.80°C à 08h et une minimale de 8.36°C à 13h. Par contre les valeurs minimales sont enregistrées lorsque le toit est ouvert à 100% à cause des déperditions thermiques, où l'écart maximal égal à 1.52°C à 11h et un minimal égal à 0.45°C à 15h. Donc, durant cette période, il est recommandé de laisser le toit fermé afin de bénéficier du chauffage solaire.

V.5.4. Résultats obtenus de simulations de la période estivale

La période estivale est considérée comme la période la plus défavorable et la plus inconfortable de l'année dans la ville de Constantine. En conséquence, notre simulation s'est focalisée sur l'évaluation de la température intérieure durant cette période dans laquelle la température est le facteur primordial dans la perception et la sensation du confort hygrothermique.

Certains résultats de simulation sont limités aux résultats enregistrés dans le niveau supérieur (R+3) vu que ce dernier représente l'état ultime de l'inconfort d'été causé par la surchauffe dans l'espace atrium.

V.5.4.Impact de la ventilation naturelle sur l'ambiance intérieure

Les phénomènes de surchauffe et de stratification qui se manifestent dans l'atrium durant la période chaude peuvent être évités, ou du moins réduits. Pour cela, un renouvellement d'air adéquat doit être assuré. Le renouvellement d'air permet de jouer le rôle de caloporteur en évacuant l'air chaud généré à l'intérieur de l'atrium (Belmaaziz Mohamed,2003).

V.5.4.1.Effet du tirage thermique

L'étude de l'effet de la ventilation naturelle par l'effet du tirage thermique sur l'ambiance interne dans l'espace atrium est faite par une série des scénarios cités précédemment. Puis on a fait une comparaison entre les différents résultats acquis afin d'arriver à déterminer les heures et la meilleure ouverture du toit dans ce centre commercial.

V.5.4.1.1. Ouverture du toit de 07-11h et de 16-19 h

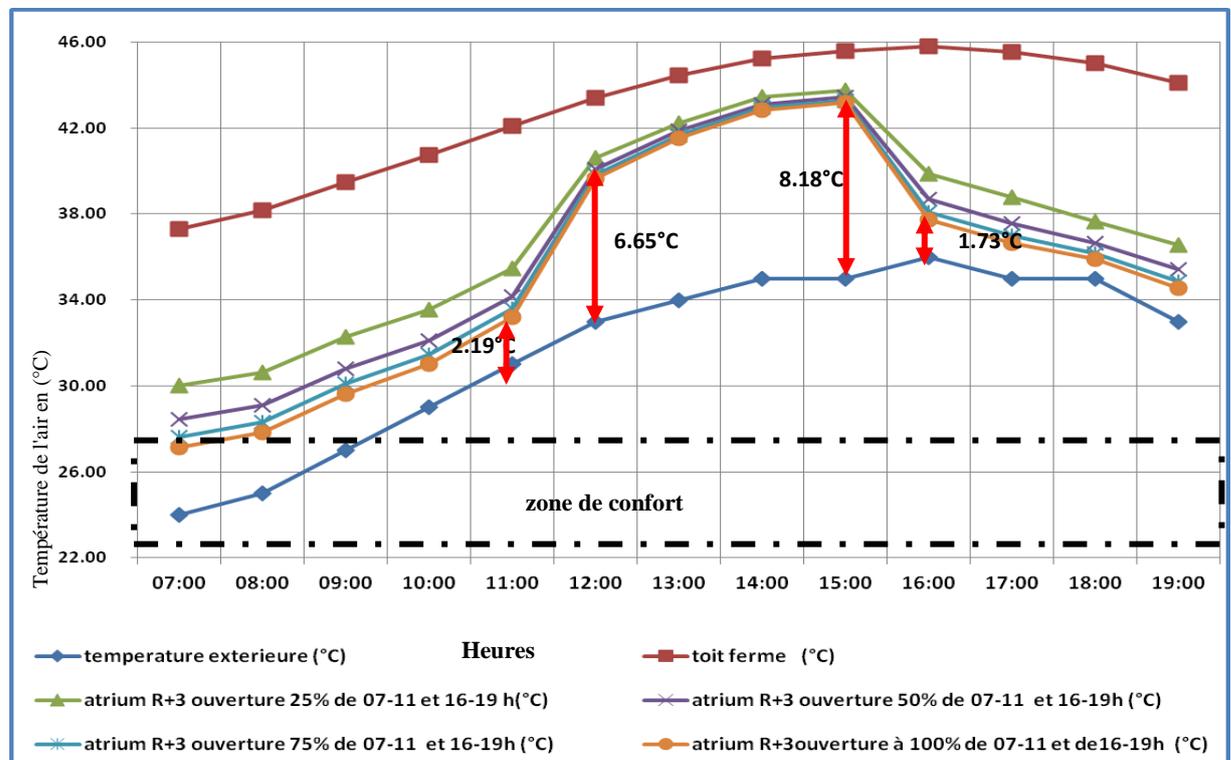


Figure V.13. Variation de température de l'air dans l'atrium R+3 avec une ouverture du toit de 07-11h et de 16-19h

(Source: Auteur, 2016).

Pendant la journée du 18 juillet, au niveau du dernier étage (**figure V.13.**), on constate que la courbe de température du toit fermé est au dessus des autres courbes avec un maximum atteint 45.81°C à 15 h. Cela justifie que la surchauffe à l'intérieur de l'atrium se produit en raison de la grande quantité de rayonnement solaire grâce à la grande superficie de vitrage de la lucarne. Par conséquent, le gain de chaleur du bâtiment augmente et de l'énergie supplémentaire est nécessaire pour le refroidissement de l'espace intérieur (Ahmed Qadir Ahmed ,2013).

En majorité, les autres courbes des différents cas suivent la même allure que celle de la température extérieure durant la période qui s'étale de 07-11h et de 16-19h, où la courbe d'ouverture du toit à 100% est caractérisée par des valeurs de température basses par rapport aux autres cas. Donc, l'écart thermique maximal est de 2.63°C à 9 h et minimal de 0.92°C à 18h. Cela est justifié par le renouvellement d'air et l'évacuation de l'air chaud par le biais du tirage thermique lorsque l'ouverture du toit est à 100%.

Tandis que la durée qui s'étale de 12h jusqu'à 15h, est caractérisée par une température perpétuellement en hausse, elle est en dehors de la zone de confort, avec un maximum de 43.74°C enregistré à 15h dans le cas d'ouverture de 25%, cela est dû aux sollicitations au rayons solaires directs.

V.5.4.1.2. Ouverture du toit de 07-19 h

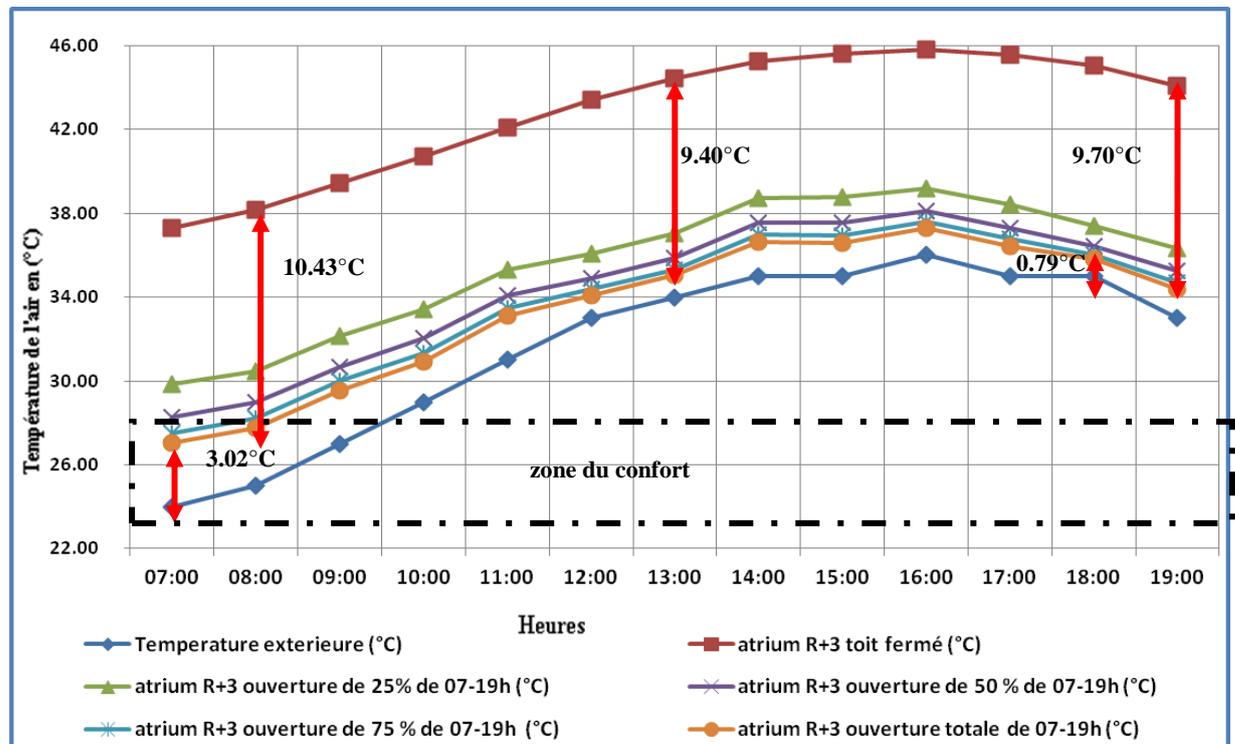


Figure V.14. Variation de température de l'air dans l'atrium R+3 avec une ouverture du toit de 07-19:h. (Source: Auteur, 2016).

La figure V.14 montre que la courbe de température de l'air dans l'atrium avec un toit ouvert à 100% se trouve au dessous de celles des autres cas et se rapproche à celle de l'extérieure, avec un écart de température de 3.02°C à 07h et minimal de 0.79°C à 18 h et un écart maximal de température entre elle et celle du toit fermé arrivant à 10.43°C ; 9.70°C et 9.40°C à 08h ; 19h et 13h respectivement.

Bajracharya Susan (1989) montre que lorsque le toit est fermé durant une journée chaude d'été (12 Juin, 1989), les événements de toiture ont été ouverts, la température maximale de stratification dans l'atrium atteint environ 4°C, avec des températures de 26°C à la base et 30°C en haut. Au cours d'une chaude journée d'été (7 Juillet, 1989) quand le toit a été ouvert, la stratification de température maximale à l'atrium atteint environ 4°C, avec des températures de 29°C à la base et 33°C en haut. Au cours d'une autre chaude journée d'été (août 20, 1989), la température maximale dans l'atrium de stratification atteint environ 9°C, avec des températures de 29°C au bas point et 38°C en haut, après l'ouverture du toit qui avait été oublié fermé. Le patio, comme un espace extérieur peut augmenter la ventilation naturelle (Ahmed Qadir Ahmed ,2013).

V.5.4.1.3. Comparaison entre les deux types d'ouverture

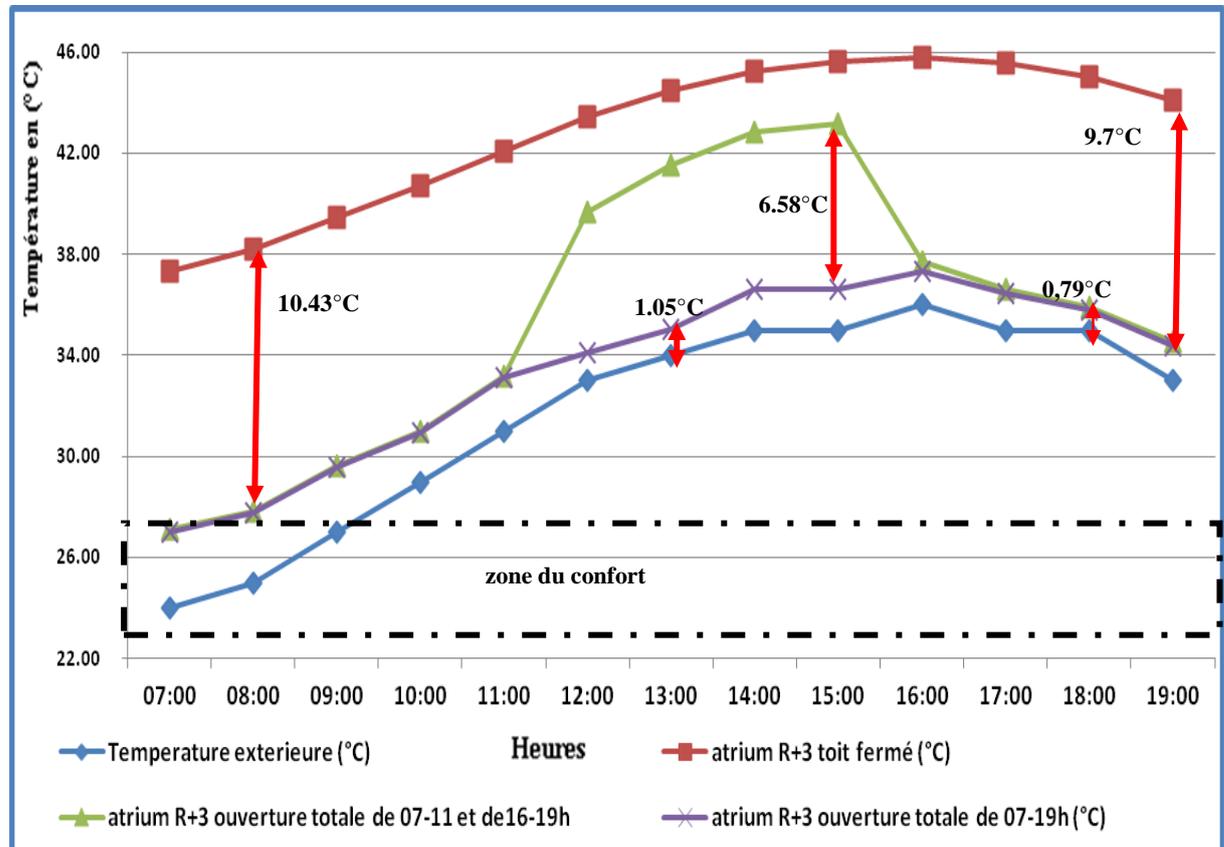


Figure V.15. Comparaison entre les deux types d'ouverture dans l'atrium R+3 (Source: Auteur, 2016).

Ce phénomène s'explique par l'évacuation de la chaleur vers l'extérieur par l'effet du tirage thermique. Cela montre le rôle que peut jouer l'ouverture du toit afin d'échapper l'air chaud vicié (la température diminue en fonction du pourcentage d'ouverture du toit, plus le pourcentage d'ouverture du toit augmente plus la température diminue) (**figure V.15.**). Les autres cas ayant le même cheminement de diminution des températures mais avec une performance moins efficace, où les conditions thermiques suivent les variations de la température extérieure.

Mohd Hamdan Ahmad et Sayyed Mohammad Mahdi Mirmomtaz, (2013) ont prouvé que l'atrium centralisé avec deux ouvertures au niveau du toit et les portes du rez-de-chaussée est plus efficace. En effet, la plus grande quantité de radiations solaires acquise par le toit crée un effet de cheminée plus puissant et conduit à l'amélioration de la ventilation de l'atrium.

La ventilation naturelle dans l'atrium peut réduire les impacts négatifs de surchauffe dans les espaces internes. En effet, elle peut être atteinte en créant des ouvertures appropriées dans des lieux particulièrement dans les niveaux supérieur et inférieur d'atrium à fournir et des déplacements de la ventilation (Ahmed Qadir Ahmed ,2013).

-Humidité relative en (%)

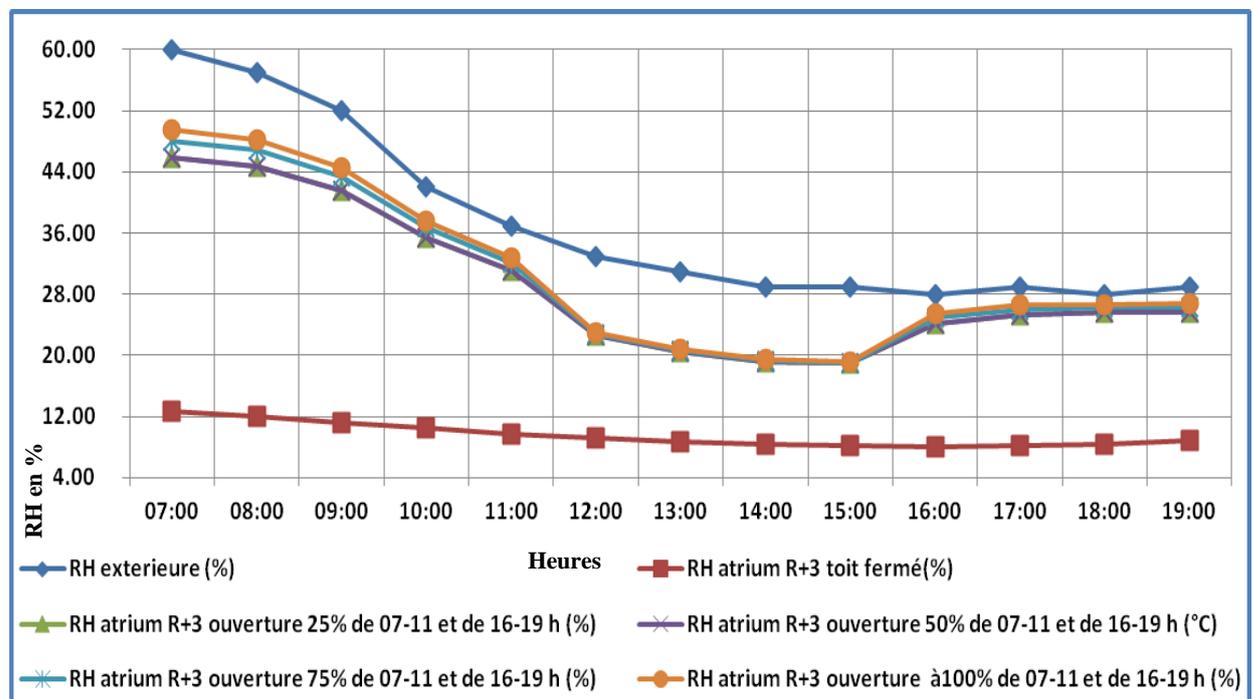


Figure V.16. Evolution des humidités relatives dans atrium R+3 avec ouverture du toit de 07-11 et de 16-19 h .
(Source: Auteur, 2016)

On observe que les différentes courbes qui représentent l'ouverture du toit sont presque similaires sauf que durant la période qui s'étale entre 12-15h est caractérisée par une

chute d'humidité relative jusqu'à 22.56% pour le cas d'ouverture de 25% (**figure V.16.**). Cela est dû à la fermeture du toit et l'augmentation de la température.

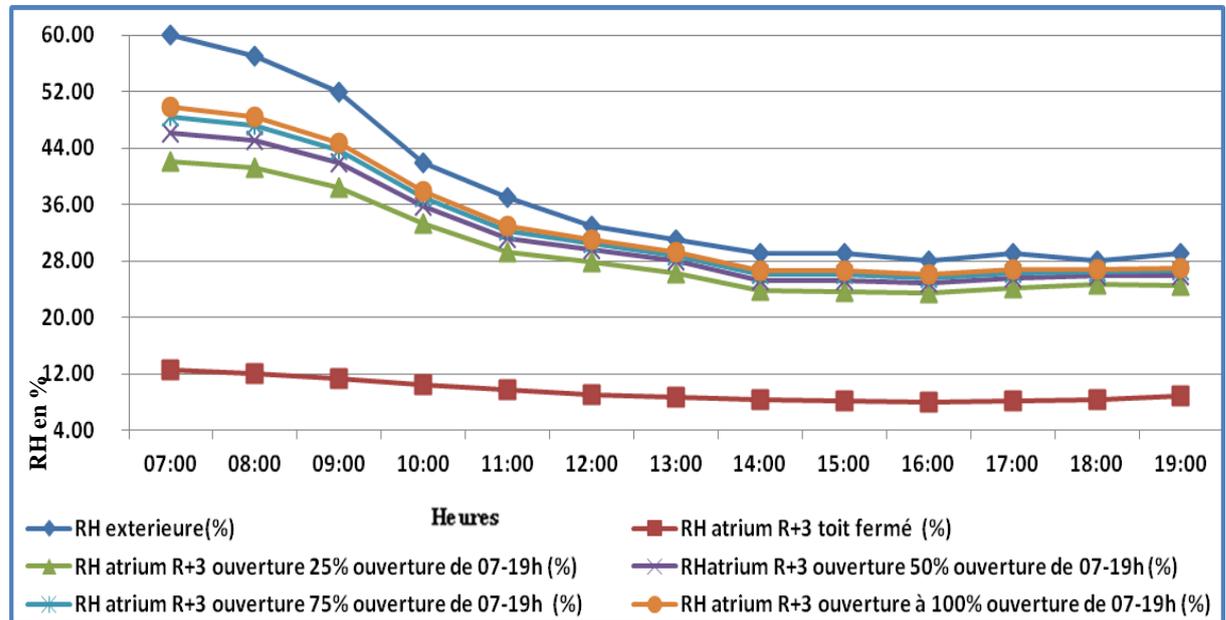


Figure V.17. Evolution des humidités relatives dans atrium R+3 avec ouverture du toit de 07-19h.

(Source: Auteur, 2016)

La **figure V.17** est caractérisée par des valeurs de RH lors de l'ouverture du toit qui rejoignent celles de l'extérieur. Où lorsque l'ouverture du toit à 100% est caractérisé par des avec des valeurs maximales ne dépassant pas 49.90% et minimales de 26.05%. Ce qui peut être expliqué par la présence d'une source de renouvellement d'air via l'ouverture 100% du toit.

Cependant, On peut admettre que l'humidité relative pour le cas d'un toit fermé est plus basse que celle de l'extérieur avec des valeurs qui varient entre 8.81%-12.63% durant la tranche horaire 07-19 heures. Ces résultats sont justifiés par l'effet des apports internes sur le degré hygrométrique intérieur ainsi que l'effet de serre et l'absence d'une source de fraîcheur.

V.5.4.2. Effet de la ventilation transversale et le tirage thermique sur l'ambiance intérieure

Economiser de l'énergie, c'est obtenir le même confort en utilisant moins d'énergie. A cet effet là, on a essayé de consolider l'ouverture du toit à 100% par une ventilation transversale par l'ouverture des fenêtres dans les espaces adjacents sur les deux rives d'atrium afin d'assurer un rafraichissement passif.

Vu l'étude précédente qui conclue que l'atrium avec une ouverture à 100% de 07-19h est la plus fiable pour diminuer la température intérieure et échapper l'air chaud vers l'extérieur.

Dans cette partie, nous allons étudier l'impact de la ventilation transversale combinée avec celle du tirage thermique sur l'ambiance intérieure dans cet espace, par des ouvertures envisagées sur les 3 façades, sachant que la façade SO est en mitoyenneté avec le centre commerciale la Coupole.

| NO | NE | SE |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 1.00m ² X 6 unités | 1.00m ² X 6 unités | (1.50 X1.50) X 6 unités |

Sachant que

Cas A: atrium avec un toit ouvert à 100%.

Cas B: atrium avec un toit ouvert à 100% avec une ventilation transversale (Nord-Ouest /Sud- Est) et ouverture des fenêtres de la cage d'escalier.

Cas C: atrium avec un toit ouvert à 100% avec une combinaison de la ventilation transversale (Nord-Ouest /Sud -Est) et de (Nord- Est /Sud- Ouest) et ouverture des fenêtres de la cage d'escalier).

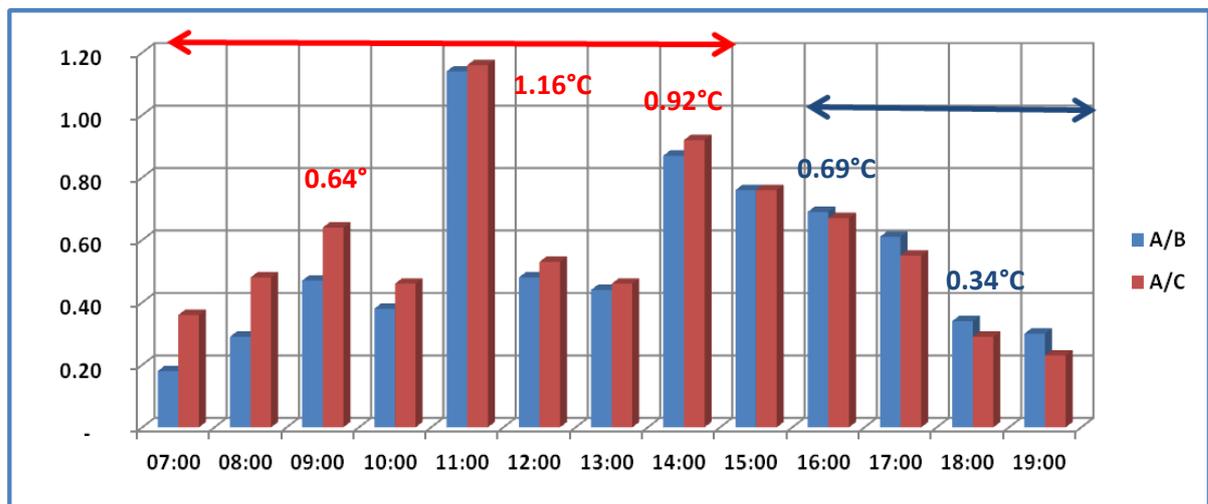


Figure V. 18. Ecart de température en °C.
(Source: Auteur ,2016).

Les résultats des écarts de température montrent que le tirage thermique avec la ventilation transversale sur les quatre cotés du centre commerciale en combinaison avec l'ouverture des fenêtres de la cage d'escalier (Cas C) contribue à diminuer la température de l'air intérieur dans l'espace atrium durant la tranche horaire qui s'étale de 07-14h avec un écart maximal de 1.16°C à 11h. Tandis que la durée de 15-17h la ventilation transversale (Nord-Ouest /Sud- Est) et l'ouverture des fenêtres de la cage d'escalier sert à améliorer l'ambiance intérieure avec un écart maximal de 0.69°C à 16h et de 0.30°C à 19h (**figure V.18.**).

Une aspiration plus efficace du modèle provoque un débit d'air plus élevé observé dans les deux ouvertures du toit et les portes du rez-de-chaussée. En effet, une plus grande quantité de rayonnements solaires obtenus par la forme de toit crée un effet de tirage plus puissant et conduit à améliorer la ventilation de l'atrium (Mohamed.B et al ,2013)

Sachant que :

Cas A: RH extérieure en %.

Cas B: RH atrium avec un toit ouvert à 100% avec une ventilation transversale (Nord-Ouest /Sud- Est) et ouverture des fenêtres de la cage d'escalier.

Cas C: RH atrium avec un toit ouvert à 100% avec une combinaison de la ventilation transversale (NO/S E) et de (NE /S O) et ouverture des fenêtres de la cage d'escalier).

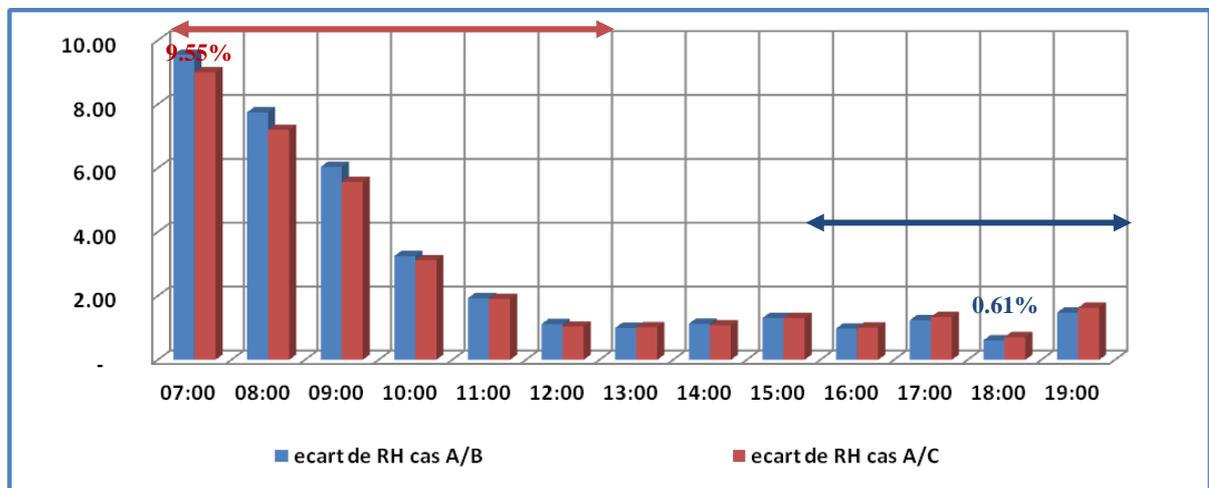


Figure V.19. Ecart des humidités dans l'atrium R+3.

(Source: Auteur, 2016).

La figure V.19. présente les résultats des écarts d'humidité relative montrent que la ventilation transversale sur les deux cotés avec l'ouverture des fenêtres de la cage d'escalier en combinaison de l'ouverture du toit à 100% contribuent à augmenter les valeurs d'humidité relative durant la tranche horaire de 07-19 h, où elle se rapproche de celle de l'extérieur, où la ventilation transversale totale agit sur l'augmentation d'humidité relative durant la tranche horaire de 07h-12h avec un écart maximale 9.55% à 7h. Tandis que durant la période qui s'étale de 16 -19 h, on constate que la ventilation transversale (NO/SE) sert à augmenter l'humidité relative avec un écart minimale de 0.61% à 18h.

On a confirmé que la ventilation transversale sur les deux cotés de l'atrium avec ouverture totale du toit durant la période qui s'étale de 07-19h va favoriser la régulation de la température entre l'intérieur et l'extérieur par l'aspiration de l'air vicié via une échappatoire qui est le toit ouvert totalement.

L'analyse des résultats durant cette période vise à identifier l'interaction hygrothermique entre les différents espaces entourant l'atrium et constituant le centre commercial, dans le but de limiter la surchauffe pour assurer un confort optimal dans les différents espaces ainsi qu'un abaissement de la consommation énergétique.

V.5.4.2.1. Stratification thermique

Afin de déterminer l'effet d'ajout de la ventilation transversale sur l'ambiance interne dans l'atrium, pour mieux comprendre ce mariage entre les deux techniques, on va comparer les profils thermiques correspondant aux quatre cas :

Cas A: toit fermé

Cas B: ouverture du toit à 100%

Cas C: ouverture du toit à 100% + ventilation transversale (NO/SE).

CasD: ouverture du toit à 100%+ ventilation transversale sur les quatre cotés (NO/SE+NE/SO)

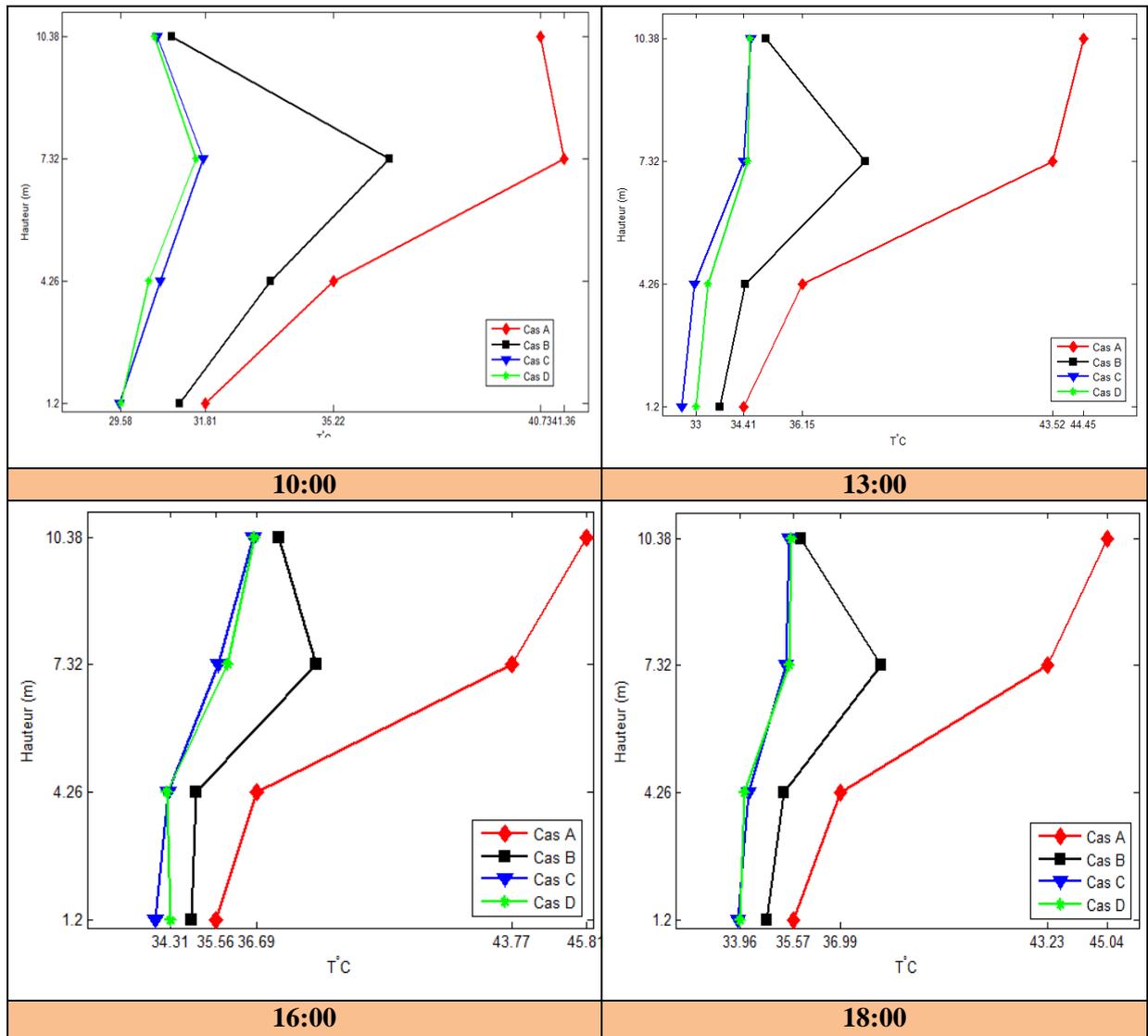


Figure V.20. Stratification thermique dans l'atrium R+3 .
(Source: Auteur, 2016).

D'après la constatation de la **figure V.20**, on trouve que les profils de température d'air dans le cas A caractérisé par un gradient thermique maximale atteint $10,45^{\circ}\text{C}$. Mais avec l'ouverture du toit à 100% on constate que le gradient thermique maximal est égal à $2,41^{\circ}\text{C}$. Ces écarts peuvent être expliqués par le fait que le cas A est soumis aux radiations solaires directes à travers le toit transparent, et la stagnation de l'air chaud en absence d'un renouvellement d'air. Cependant, l'ouverture du toit à 100% permet de diminuer la température du dernier étage de $9,38^{\circ}\text{C}$. Tandis que l'application de la ventilation transversale (NO/SE) permet une réduction de $9,94^{\circ}\text{C}$ et la ventilation transversale sur les quatre cotés réduit la température de $9,98^{\circ}\text{C}$.

On constate aussi que la ventilation transversale NO/SE ayant presque le même effet que lors des ouvertures sur les quatre cotes, avec une différence de $0,04^{\circ}\text{C}$ seulement. A cet effet là, on recommande l'adoption de la ventilation transversale NO/SE pour améliorer l'ambiance interne.

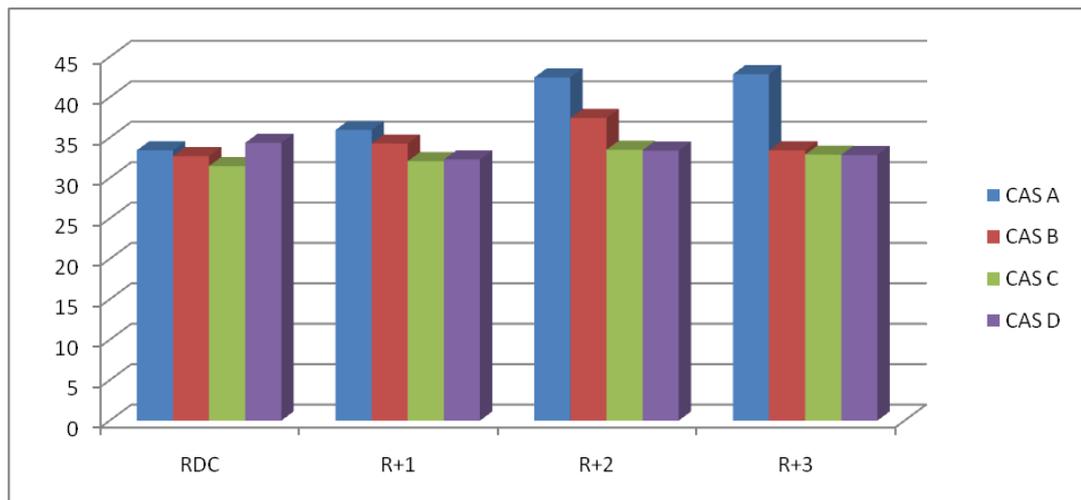


Figure V.21. Evaluation de la ventilation transversale.
(Source: Auteur, 2016).

Les profils de température d'air dans l'espace atrium entre les cas avec toit fermé et ouverture à 100%, démontre l'effet rafraichissant de cette dernière par la baisse de la température de l'air interne et ceci par le balayage de l'air chaud vers l'extérieur. Les résultats démontrent que les écarts sont un peu plus importants avec un toit ouvert à 100% et ventilation transversale NO/SE que celle du tirage thermique seulement à cause des différences de pression et de température (**figure V.21.**).

V.5.4.3. Effet du couplage (V T+T thermique) sur les coursives et les espaces adjacents

Vu que l'espace atrium constitue un espace qui agit sur l'environnement et le confort thermique des espaces qui l'entourent par des échange thermique via convection, rayonnement et conduction .On va maintenant présenter comment la situation d'atrium influe sur ces espaces pour améliorer l'ambiance interne.

Une comparaison est faite, entre les températures d'air au dernier étage avec ouverture du toit à 100% du (cas A) et l'ajout de la ventilation transversale NO/SE (Cas B).

On constate que les courbes de température du cas A dans les trois espaces suivent les mêmes allures de la courbe de température extérieure. Tandis que le cas B est caractérisé presque avec superposition sur celle de la température extérieure. La chute remarquable avec un écart maximal entre le cas A et le cas B atteint 5.37°C à 08h et minimale 2.87°C à 16h. Cela est justifié par les effets de rafraichissants par le biais du tirage thermique et de la ventilation transversale (**figure V.22**).

L'espace "atrium" est un exemple de création d'un modèle pour l'énergie durable de l'architecture efficace. L'efficacité énergétique des bâtiments avec atrium est déterminée par l'équilibre entre les facteurs déterminant la qualité du microclimat dans le cadre de vie (Atanas Vassilev, 2015).

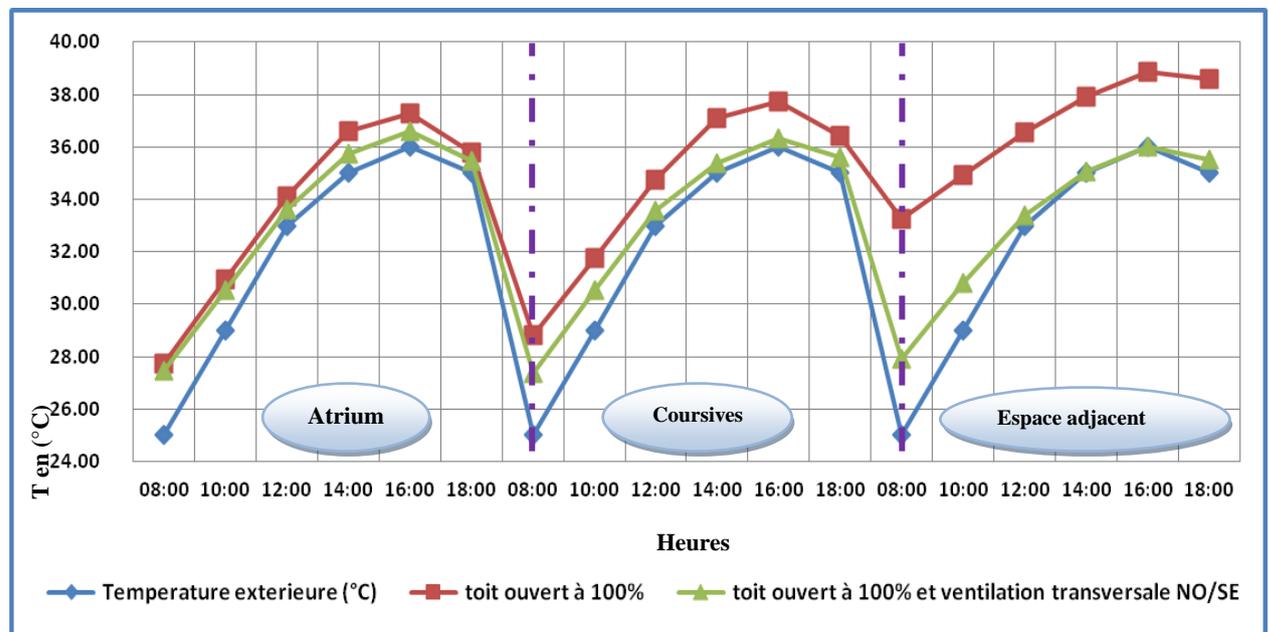


Figure V.22. Comparaison entre l'évolution des températures d'air dans les différents espaces de dernier étage (Source: Auteur, 2016).

V.6. Simulation des ambiances thermo-aéraulique internes

A partir des résultats obtenus par le module « TAS Résultat viewer » pour le modèle étudié (températures de l'air intérieur, températures surfaciques, ...etc.), une analyse fine des champs de température, d'humidité, et de vitesse d'air dans un plan vertical dans une zone quelconque peut être réalisée par le module « AMBIENS » du logiciel « Tas Program ».

Les températures d'air calculées par le module « Tas building simulator » sont des valeurs moyennes pour chaque zone. Lorsque des variations significatives de ce paramètre sont prévisibles, une analyse plus détaillée des conditions d'ambiance, pour une heure donnée, doit être réalisée par le module « Ambiens » en utilisant les valeurs présentées dans le **tableau V.4.**

Tableau V. 4. Conditions appliquées pour le module « AMBIENS » (Source: auteur, 2016)

| | | | | |
|---------------------------------------------------------------|-----------------|-----|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Les conditions internes pour le cas atrium avec un toit fermé | Start T(°C) | 10h | 37,78°C | Température moyenne des différentes zones |
| | External Work | | 0 | Egale à zéro pour la plus part des activités [ISO 8996-1990: Ergonomics: Determination of Metabolic heat production]. |
| | Metabolic value | | 1.6 | Activité permanente (Magasins, laboratoires, industrie légère).Les valeurs contenues dans les tableaux (ISO 8996-1990: ISO 8996-1990: |
| | Clothing Value | | 0,5 | Tenue d'été légère [ISO 7730-1984 (E): Moderate thermal environments]. |
| ouvertures | Température | | 29°C | Température extérieure. |
| | Velocity | | 1 m/s | valeurs obtenues par le module « Tas Résultat viewer ». |
| | RH | | 42% | Humidité relative de l'air |
| Les parois | T surfacique | | | DESL Tas similator et les resultats tas viewer |

Le module AMBIENS présente différents paramètres :(température de l'air , vitesse de l'air , humidité relative, température moyenne radiante, radiante et PPD) à des heures représentatives de la journée pour différents cas (**figures V.23 et V.24.**):

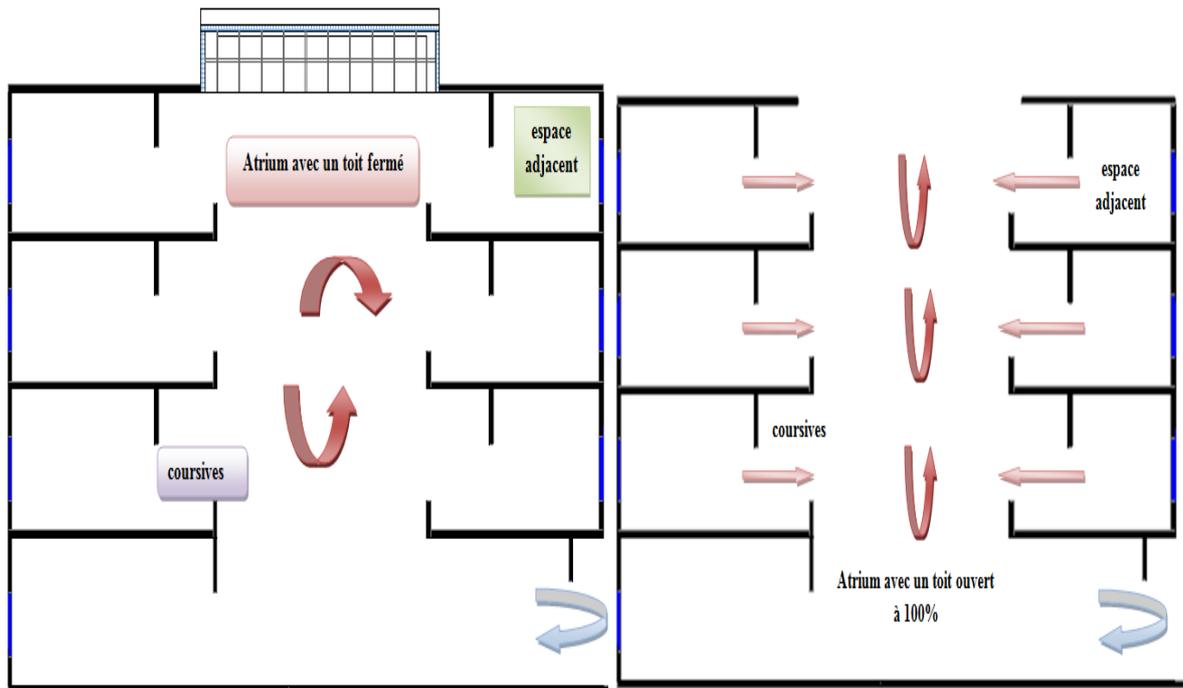


Figure V.23. A gauche : atrium avec toit fermé (Cas A), A droite, Atrium ouvert à 100 % (Cas B)
(Source: Auteur, 2016).

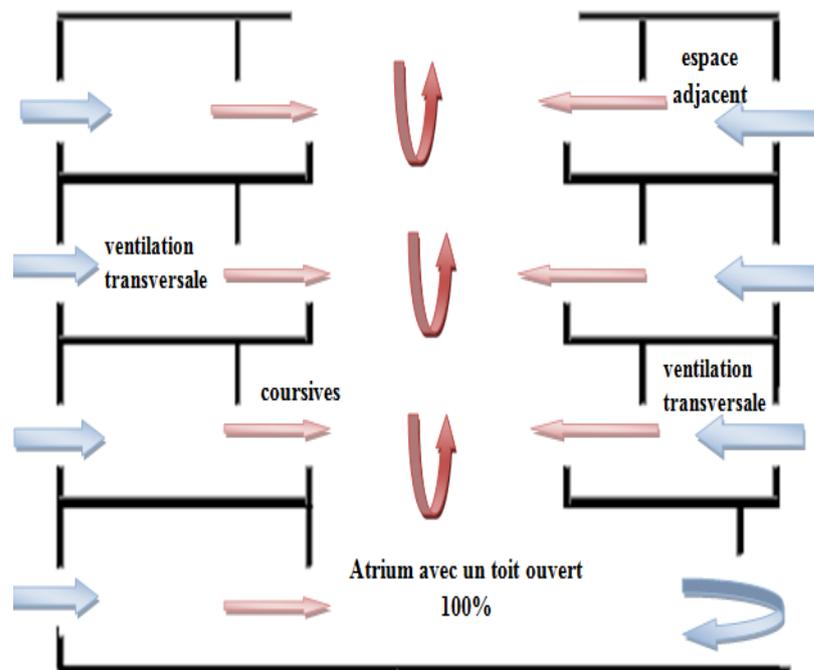


Figure V.24. Atrium ouvert à 100% avec ventilation transversale Nord-Ouest /Sud -Est (Cas C)
(Source: Auteur, 2016).

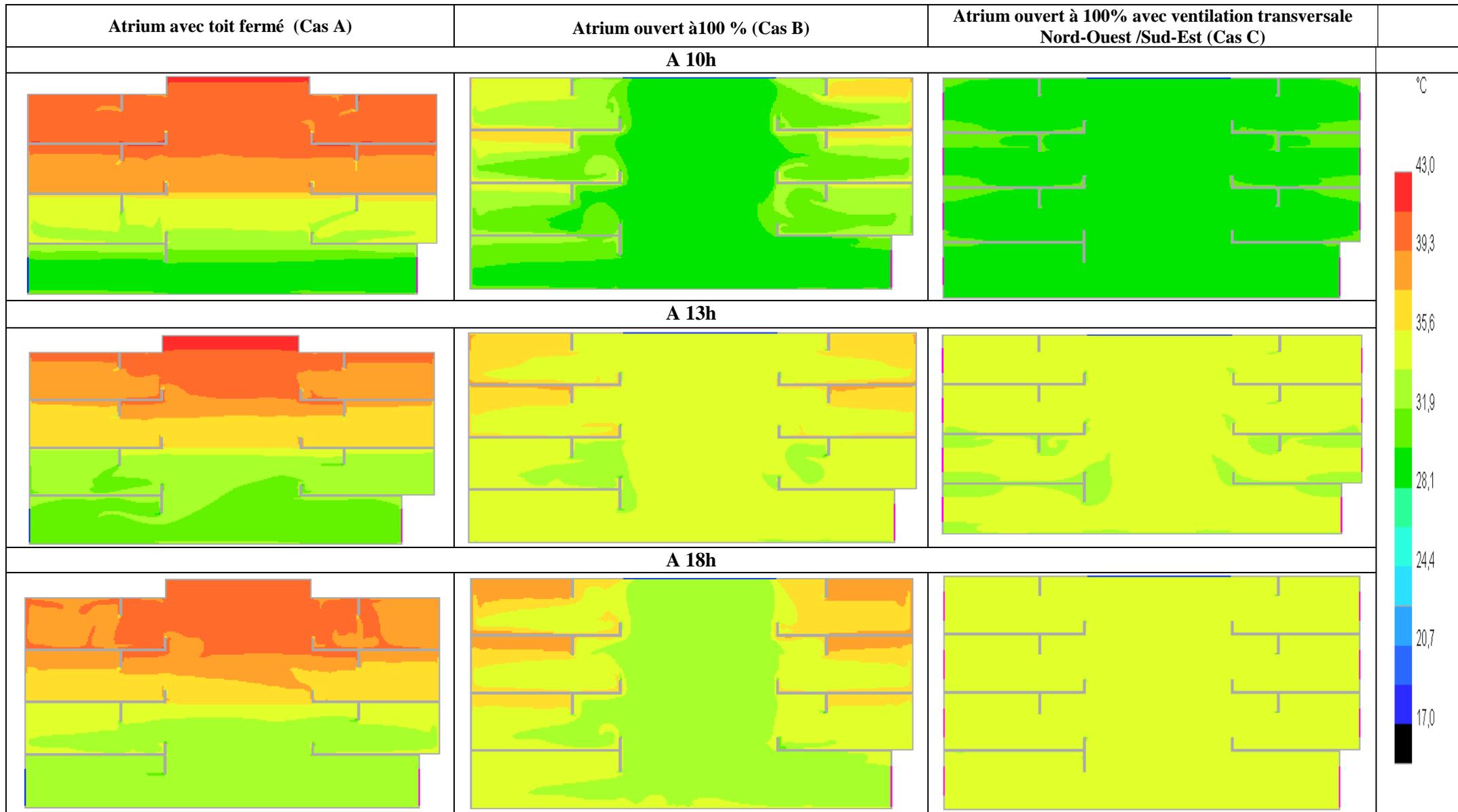


Figure V. 25 . Champs des températures correspondants aux cas A , B et C ainsi que les températures surfaciques .(Source: Auteur,2016)

V.6.1. Température de l'air

Cette partie est consacrée pour l'analyse comparative entre les résultats acquis (**figure V.25.**):

D'abord, on constate une variation de température de l'air entre les parties basses et hautes de l'atrium, puisqu'il est sollicité par le rayonnement solaire excessif.

Le cas A à 13h est caractérisé par une augmentation de température de l'air comparé à celles des différents cas (Cas B et Cas C) à 10:00 et 18:00h. Donc, l'ambiance thermique à ce moment là est la plus critique manifestée par une stratification thermique en compagnie d'un gradient thermique très clair, qui atteint un maximum de 44°C à 13h près de la toiture où la stratification thermique convenablement remarquée à travers les différents étages. Ce phénomène est justifié par l'accumulation de l'air chaud près du toit définie comme une zone d'air très chaud sous le toit et un gain solaire interne.

Cependant, l'application de la ventilation naturelle soit transversale ou par le biais du tirage thermique a une influence remarquable sur la distribution de température dans le bâtiment. Par conséquent, une diminution de température mais avec des degrés qui diffèrent suivant la modélisation de la ventilation naturelle.

Dans le cas de l'ouverture du toit à 100% (cas B), on observe un abaissement de température d'air intérieur avec une stratification moins prononcée que celle illustrée dans le cas A. Toujours les résultats notés à 13h sont les plus critiques par rapport à celles de 10h et 18h caractérisés par une diminution de températures. Cela peut être justifié par l'ouverture du toit considéré comme un échappatoire de l'air vicié.

Dans le même contexte, une combinaison est assurée entre l'ouverture du toit 100% et l'ouverture des fenêtres des espaces adjacents sur les deux rives afin d'assurer une ventilation transversale sur l'axe Nord-ouest /Sud-est (Cas C). Donc, on a une ventilation transversale et un tirage thermique.

Ce procédé sert à diminuer les températures de l'air dans l'atrium notamment la partie haute par un bon balayage de l'air chaud. Par conséquent, le meilleur résultat est celui du Cas (C), grâce à la ventilation transversale ayant un impact positif horizontal et l'atrium considéré comme accumulateur de chaleur puis l'évacuation de l'air vicié vers l'extérieur par le biais du tirage thermiques.

Donc, le Cas C définit par un mixage entre deux types de ventilation a prouvé son efficacité pour le rafraîchissement de l'espace atrium par une diminution remarquable.

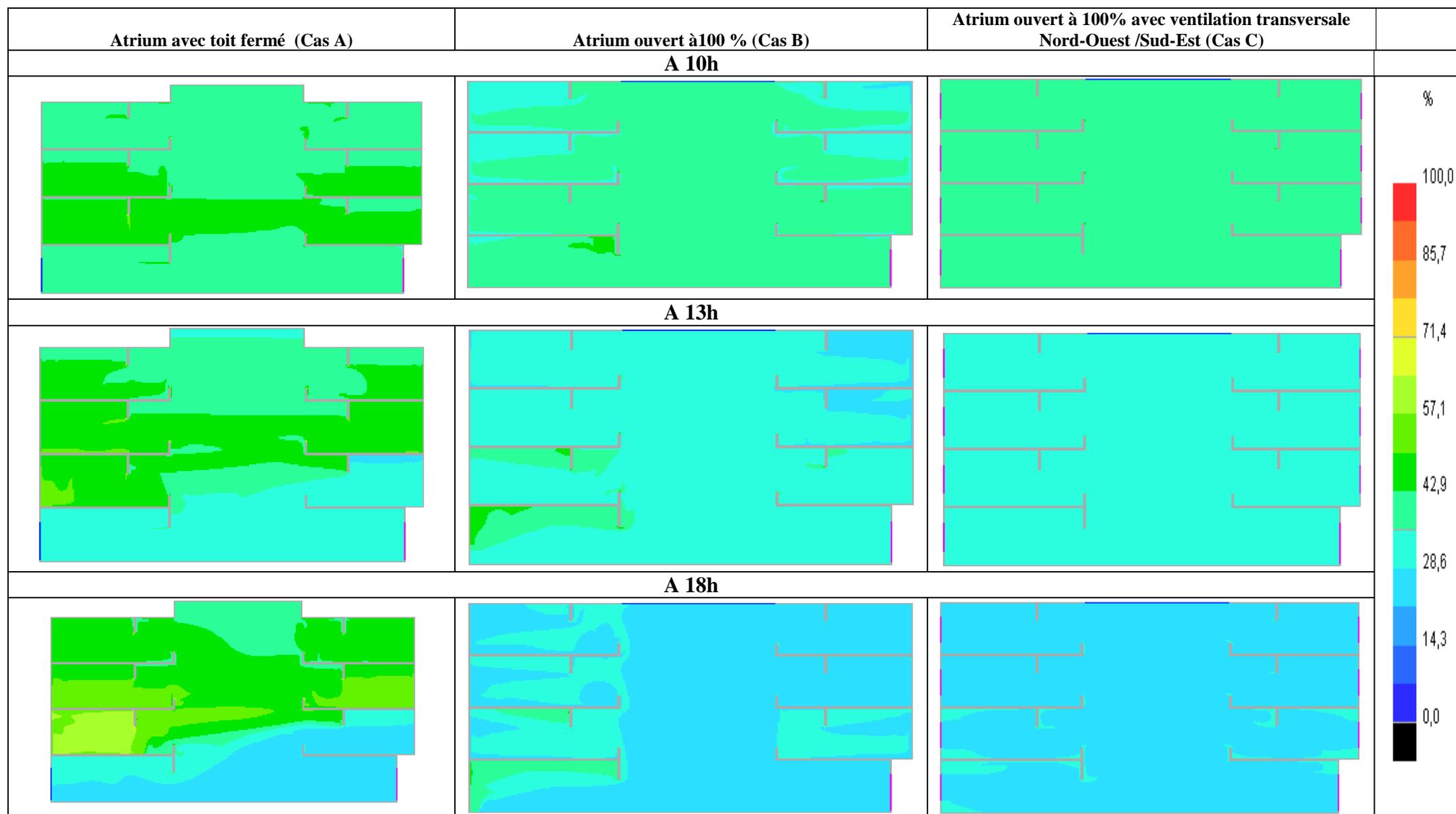


Figure V.26 . Champs des humidités relatives correspondants aux cas A , B et C.(Source: Auteur,2016)

V.6.2. Humidité relative en (%)

La comparaison entre les **figures V.25 et V.26** montre qu'il y avait une corrélation inversée entre ces deux paramètres. Lorsque la température augmente, elle accompagne une baisse des humidités relatives internes. Dans le cas A, une stratification des humidités relatives au long d'atrium, en présence d'une ventilation naturelle, on constate une distribution presque équilibrée de RH dans le bâtiment mais avec des degrés qui diffèrent suivant la configuration de la ventilation naturelle.

V.6.3. Vitesse de l'air

La **figure V.27.** présente que le cas A est caractérisé par une seule entrée d'air c'est la porte d'entrée au niveau inférieur avec une vitesse négligeable qui ne dépasse pas 0.05m/s.

Une aspiration plus efficace du modèle surélevé provoque un débit d'air plus élevé observé dans les deux ouvertures, le toit et les portes du rez-de-chaussée. En effet, une plus grande quantité de rayonnements solaires obtenus par la forme de toit crée un effet de tirage plus puissant et conduit à améliorer la ventilation de l'atrium (Mohd Hamdan Ahmad et al, 2013). Donc, le cas B est définie par une ouverture inférieure, c'est l'entrée d'air orientée vers le Nord- Ouest et une autre supérieure définie comme sortie d'air , elle assure le balayage de l'air vicié est aspiré vers l'extérieur en créant un flux moyennement ascendant. On peut remarquer ici l'impact de la convection naturelle renforcée par les entrées et sorties d'air sur les températures d'air. Le gradient de température est moins important avec une différence de température d'atrium au niveau supérieur entre le cas A et B égale à 9.86°C à 13 h.

Cependant, l'ajout de la ventilation transversale à travers les différents étages (Cas C) a un impact significatif sur les mouvements d'air, qui se rejoignent au centre de l'atrium et s'échappent verticalement. Cela est traduit par l'évacuation de l'air par tirage thermique de la partie basse vers la partie haute.

Cela est justifié par la grande différence des températures d'air entre les deux niveaux qui influe par la suite sur une différence de pression, et d'autre part, la grande hauteur entre les deux ouvertures de 17,00m créant ainsi l'effet de cheminée.

Cependant le cas C, illustre l'effet de cheminée entre l'ouverture basse et le toit découvert avec des vitesses d'air qui s'accroissent progressivement à proximité du dernier étage et qui assure un bon balayage de l'air chaud sur tout le volume de l'espace atrium en l'éjectant vers l'extérieur.

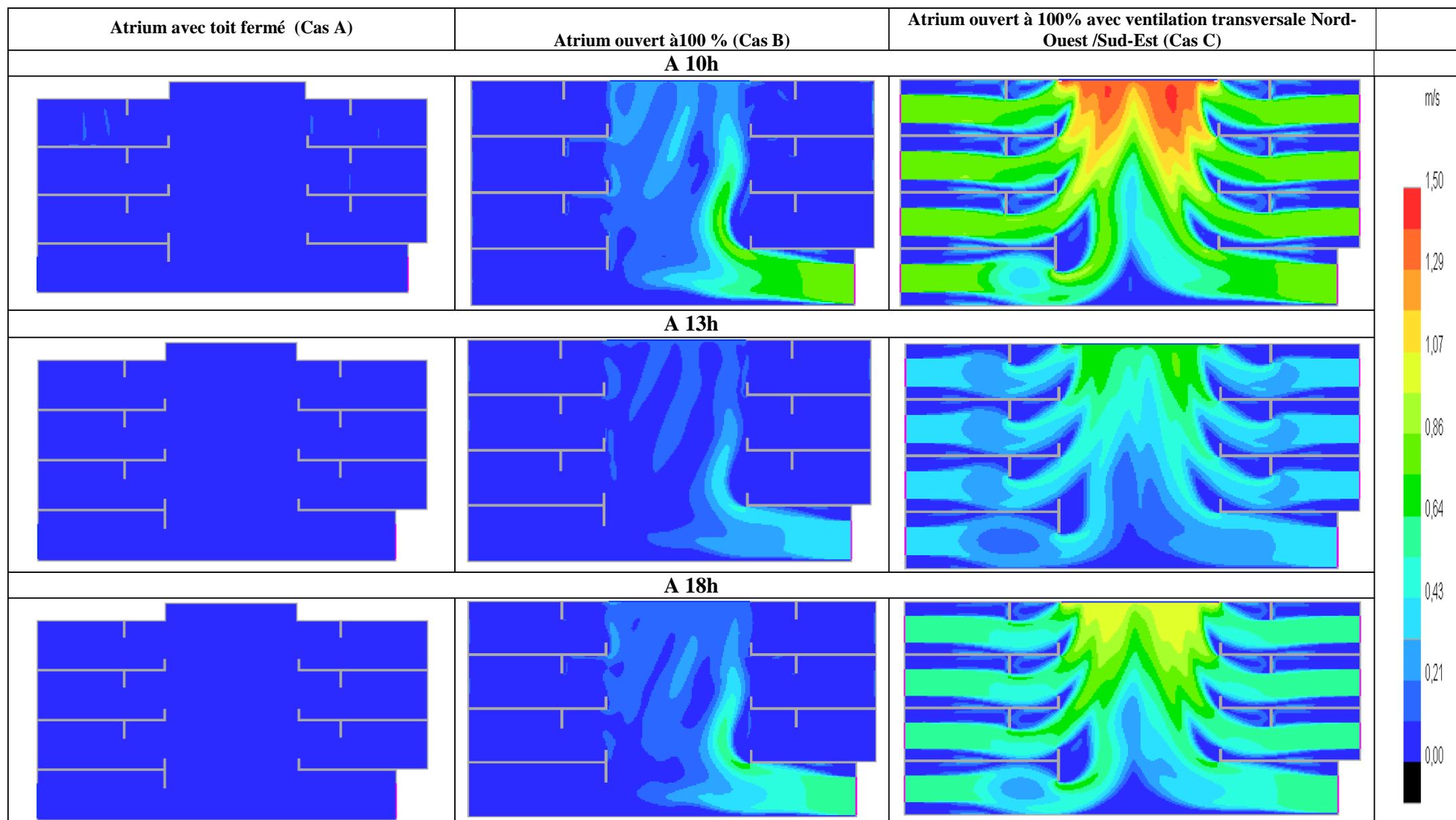


Figure V.27. Champs de la vitesse de l'air correspondants aux cas A , B et C.(Source: Auteur,2016)

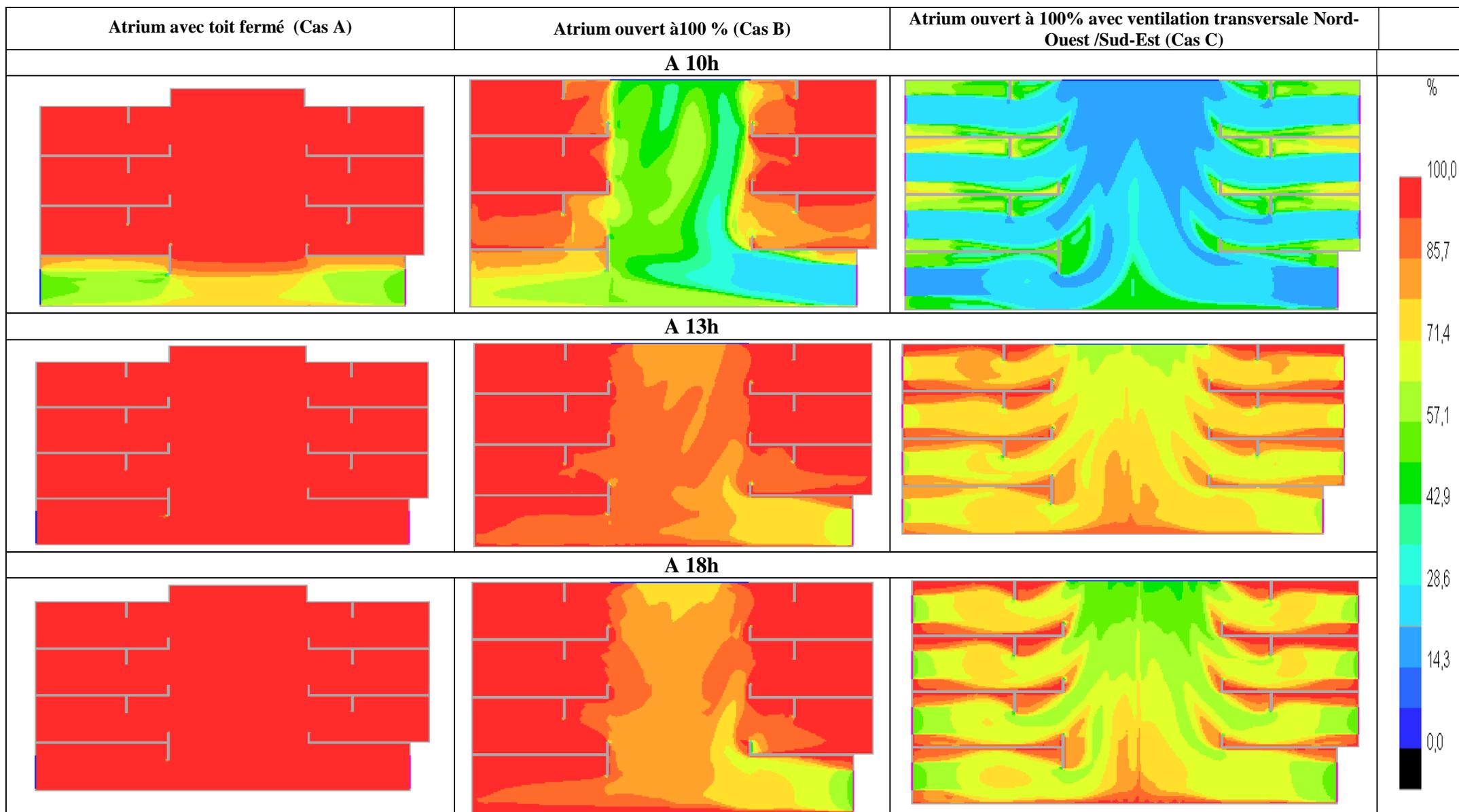


Figure V.28. PPD correspondants aux cas A , B et C.(Source: Auteur,2016)

6.4. PPD

Il définit le Pourcentage prévisible des personnes insatisfaites (Predicted Percentage of Dissatisfied), qui permet d'évaluer le rapport d'occupants insatisfaits des conditions de confort thermique constatées.

D'après les résultats acquis du PPD montrés dans la **figure V.28.**, et en comparaison avec les différents paramètres déjà cité ci-dessus, on peut remarquer :

Dans le cas atrium avec un toit fermé (Cas A), un inconfort traduit par le pourcentage élevé de PPD à cause des températures élevées enregistrées notamment dans les niveaux supérieurs.

L'ouverture du toit d'atrium à 100% (Cas B) sert à diminuer la sensation d'inconfort dans l'espace atrium, manifesté par une diminution des pourcentages de PPD. Tandis que ces pourcentages restent un peu élevés dans les espaces adjacents au niveau supérieur.

Les meilleurs résultats de PPD, sont obtenus à travers la combinaison entre les deux types de ventilation (transversale et par tirage thermique) (Cas C), réalisé par l'ouverture du toit d'atrium à 100% avec l'ouverture des fenêtres des deux rives. Cela a permis comme on a déjà vu, une diminution remarquable des températures d'air donnant lieu à un rafraîchissement passif qui va agir sur la sensation du confort et le bien être.

Conclusion

Pour conclure, nous dirons que le résultat de cette étude a mis en évidence les stratégies qui ont un impact sur la diminution d'usage des moyens de pointe pour le refroidissement passif dans les atriums qui sont très coûteux et très chers et ayant des dépenses énergétiques énormes pour assurer un confort thermique.

Ce chapitre va consolider notre travail bibliographique et l'investigation pratique par le biais d'une variété de scénarios qui servent à montrer l'influence de la ventilation naturelle sur l'ambiance interne dans les atriums afin de lutter contre les surchauffes pendant la période chaude.

Ce chapitre est composé de deux volets:

Premièrement, simuler le comportement de l'atrium avec un toit fermé et avec ouverture durant la période printanière. Cela nous a permis de constater que l'atrium fermé a un rendement positif en matière du gain solaire.

Deuxièmement, plusieurs scénarios d'ouverture du toit d'atrium en comparant avec celle du toit fermé caractérisé par une situation critique vis-à-vis du confort par la présence d'une stratification thermique et un effet de serre très prononcé dans les parties hautes, dans le but

de choisir l'ouverture la plus fiable pour arriver à une ambiance thermo-aéraulique souhaitable.

D'après les résultats acquis, nous nous sommes intéressés à l'introduction de la ventilation transversale à celle du tirage thermique (toit ouvert à 100%), dont l'objectif de montrer la stratégie la plus adéquate et performante pour assurer un renouvellement d'air et par la suite une amélioration du confort.

Les conclusions que nous avons pu tirer à partir de ces deux tests :

La première conclusion concerne l'aspect positif d'atrium sur l'ambiance interne par un gain solaire durant la période printanière qui sert à inscrire l'atrium dans la plage du confort de 11 heures à 19 heures sans utiliser les moyens mécaniques.

La deuxième, Nous avons montré à travers les simulations que le rafraîchissement passif dans l'atrium est possible si en agissant sur le pourcentage d'ouverture du toit .Cela par la suite va garantir une ventilation naturelle caractérisée par une diminution des températures d'air dans les atriums. Le cas le plus performant illustré lorsque le toit est ouvert à 100% durant la tranche horaire qui s'étale de 07h à 19h. A cet effet là, on pense à consolider cette ventilation manifestée par le tirage thermique par une stratégie qui est la ventilation transversale qui produit une diminution atteignant 34.74°C ceci est au dessous de celle de l'extérieur à 18h.

Les ambiances présentent les différents paramètres, qui nous donnent une idée sur le comportement d'atrium par des scénarios distincts. La combinaison entre les deux types de ventilation transversale et par tirage thermique révèlent les meilleurs résultats. Du fait qu'elle assure un renouvellement d'air qui englobe tout le volume interne de l'espace atrium et ses espaces adjacents luttant ainsi contre la surchauffe excessive qui tend à stagner au niveau supérieur.

D'un point de vue générale, les différentes simulations entreprises réaffirment le rôle prépondérant de la ventilation naturelle comme un moyen efficace pour satisfaire les usagers et le maintien de l'équilibre hygrothermique intérieur afin d'assurer une ambiance thermo-aéraulique souhaitable pour le mois de juillet, mois le plus chaud sous nos climats.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale

La présente recherche vise à promouvoir un meilleur comportement thermo-aéroulrique d'atrium sous notre climat semi-aride, et d'accentuer les effets positifs de son intégration dans le bâtiment. Dans cet essai, nous avons cherché aussi à montrer l'aspect positif de la ventilation naturelle dans le centre commercial "Sans Visa" qui se trouve dans la ville nouvelle Ali Mendjeli à Constantine. De plus, nous avons présenté à travers les trois premiers chapitres, les différentes théories: outils, méthodes, et techniques liées à ce thème. Dans ce qui suit, nous allons présenter tout d'abord un récapitulatif des différentes conclusions acquises de la recherche théorique. Après, nous tenterons de résumer les étapes de la procédure d'évaluation ainsi que les résultats obtenus. Pour conclure, nous présenterons quelques recommandations et les perspectives de développement pour les recherches futures.

Du point de vue énergétique, l'énergie renouvelable est une méthode choisie pour lutter contre la crise mondiale de l'énergie. Il est également nécessaire de réduire la demande en énergie grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique. Actuellement les bâtiments consomment un tiers de l'approvisionnement en énergie et sont aussi une importante source de pollution. Le CVC (système de chauffage, ventilation et climatisation) qui représente 33% de l'utilisation dans les grands immeubles commerciaux et les immeubles de bureaux ont poussé les concepteurs des bâtiments à reconsidérer la ventilation naturelle en été, le chauffage solaire en hiver et la lumière du jour pour économiser l'énergie.

Au cours des dernières années, les atriums sont devenus une fonctionnalité standard des centres commerciaux et des immeubles de grande hauteur. Ils sont très favorables à l'esthétique architecturale qui profite de l'éclairage naturel. Malheureusement, les aspects négatifs et les effets de l'atrium sont souvent négligés tout au long du processus de conception. Cependant, l'estimation de la charge de refroidissement d'un bâtiment avec atrium est difficile à cause de la complexité des phénomènes thermiques, qui peuvent entraîner un gain de chaleur solaire en été où la stratification thermique et les températures maximales peuvent produire des problèmes sur la qualité d'air intérieur. Il est de grande importance d'essayer d'atteindre le confort thermique par la maîtrise des ambiances internes et les conditions climatiques externes, via des moyens naturels autant que possible en réduisant l'utilisation d'énergie dans les bâtiments.

Ce présent travail démontre brièvement l'évolution de cet espace vital à travers l'histoire, qui n'est pas une invention de l'architecture contemporaine car il existait déjà dans les

civilisations anciennes datant de l'époque Grecque et Romaine. L'objectif de son intégration dans les bâtiments, ne se limite pas à la dimension esthétique et spatiale. C'est un lieu de rencontre, de communication et regroupement, mais il a particulièrement un rôle énergétique qui est d'assurer le chauffage solaire passif, l'éclairage naturel et un moyen de climatisation passive, sans oublier son rôle pour faire revivre les bâtiments historiques. Son intégration a joué un rôle très important, où il était un symbole clair de luxe et de richesse soit spatiale ou énergétique qui a été mis à la disposition des concepteurs. La variété et la diversité de ces configurations ont pour but de tirer profit des biens de l'environnement extérieur. Il paraissait essentiel d'aborder quelques critères de classification des atriums soient: par caractéristiques formelles des atriums ou des lucarnes, système d'ouverture du toit ou la matière de sa couverture. Cette dernière a été caractérisée récemment par l'émergence des nouveaux matériaux avec des caractéristiques thermo-physique assez intéressantes telles qu'ETFE qui est largement utilisé, favorisé par ses propriétés de transmission lumineuse élevée, légèreté et durabilité. Tandis que le polycarbonate offre une résistance aux chocs **200** fois supérieure à celle du verre et filtrant plus de 98 % des rayons UV nocifs pour la santé. Il permet d'atteindre de hauts niveaux de transmission lumineuse allant jusqu'à **80 %**.

Nous avons discuté dans le deuxième chapitre le comportement thermo-aéraulique des atriums, en s'appuyant sur les études précédentes. Ce chapitre a pris deux facettes. La première est le thermique, où, l'atrium assure différents modes de transfert de chaleur entre lui et l'environnement qui l'entoure soit par les échanges radiatifs, convectifs, conduction de la chaleur à travers les parois et la masse thermique. Cet espace peut être un lieu de gain de chaleur direct en raison de l'effet de serre qui pourrait être avantageux en hiver mais peut être désavantageux en été en raison de l'adoption d'une grande surface vitrée du toit. Le phénomène de stratification thermique dans cet espace est remarquable durant les périodes chaudes dues au rayonnement solaire intense, caractérisé par une température de l'air interne supérieure à la température de l'air extérieur. Il a été prouvé que l'intégration d'atrium dans un climat semi-aride s'est avérée bénéfique à condition que certaines mesures soient prises en compte.

La deuxième est l'aéraulique, à cause des gains de chaleur internes très élevés, dans lequel le refroidissement est rendu très nécessaire, dans le but d'abaisser la température interne en assurant un renouvellement d'air via des méthodes et des techniques passives. D'une part, la ventilation naturelle est le principal atout potentiel pour l'environnement des atriums, afin de réduire la consommation énergétique dans les bâtiments, et porter la

température ambiante à un niveau confortable. Cette stratégie est manifestée par le phénomène du tirage thermique défini par la différence de température et de pression entre l'intérieur et l'extérieur. En effet, elle peut être atteinte en créant des ouvertures appropriées dans des lieux particulièrement dans les niveaux inférieurs pour introduire l'air extérieur et des ouvertures en partie haute pour laisser l'air vicié s'échapper. D'autre part, la ventilation nocturne dans les régions où il y a de grandes variations de température entre le jour et la nuit, afin de purger l'immeuble de l'air chaud accumulé au cours de la journée, par la masse thermique, le refroidissement radiatif et le refroidissement par convection. Ainsi que la présence des plantes dans un atrium offrent l'ombre en été, comme ils réduisent la surchauffe par l'évaporation qui peut modérer l'environnement intérieur vers la zone de confort thermique pendant toute l'année. En revanche, le refroidissement par pulvérisation va contribuer à la réduction de la température. En appliquant un mince film d'eau sur des surfaces de bâtiment revêtues de TiO₂ super hydrophile. Cette surface de verre externe peut réduire les températures des surfaces par le dégagement de chaleur latente en raison de l'évaporation de l'eau.

Le troisième chapitre est une analyse de l'effet de plusieurs facteurs agissant sur l'ambiance thermo-aéraulique, à travers des études effectuées à ce propos, ce qui présente un état de l'art. Cette analyse sert à éviter les problèmes qui peuvent survenir avec l'intégration des atriums en bâtiments causant l'inconfort thermique manifesté par une hausse de température et une stratification thermique due aux rayons solaires excessifs et l'éblouissement avec une sensation d'insatisfaction. Cette étude nous a permis de dégager brièvement les éléments clés qui peuvent être pris en considération dans les premières étapes de la phase conceptuelle. Cela nous permettra de les classer en deux catégories : L'une est d'ordre climatique et l'autre d'ordre conceptuel. la première est définie comme des facteurs constants selon la région où on veut l'implanter ; la situation géographique, la radiation solaire et les vents, car l'intégration d'atrium dans les bâtiments ne se fait pas d'une manière standard mais en respectant les conditions climatiques qui sont différentes d'une région à l'autre. La deuxième est d'ordre conceptuel qui varie selon le choix du concepteur en admettant l'esthétique et le bien être interne, en se basant sur un bon choix de l'orientation pour éviter les phénomènes de surchauffe pendant la période chaude, ainsi que le maintien en équilibre entre un bon éclairage et moins de surchauffe par le choix adéquat des matériaux de construction, dans le but d'assurer un compromis entre la période froide et chaude.

D'autre part, nous avons montré dans cette étude, l'importance particulière de l'orientation selon l'axe Nord-Sud, afin de limiter les surfaces Est et Ouest et de réduire les surchauffes estivales. Et d'autre part, il a été confirmé que la profondeur de l'atrium mise en relation avec la largeur avait un impact sur la qualité d'éclairage naturel et la stratification thermique, où la modification des hauteurs des atriums, améliore le phénomène de cheminée, par la suite optimiser la ventilation naturelle.

On s'est dirigé par la suite vers la forme du toit d'atrium (lucarne) qui est un élément essentiel dans la conception de celui-ci. Agissant sur l'accès de la lumière naturelle à l'intérieur des atriums car le toit reçoit de la chaleur solaire en fonction de sa couleur, ses ouvertures et sa matière. Des recherches sont effectuées pour la démonstration de leurs contributions au bilan énergétique.

La présente recherche consiste à évaluer les phénomènes physiques du confort hygrothermique estival et printanier du bâtiment qui incorpore l'atrium avec un toit rétractable sous le climat semi aride de Constantine, et la mise en évidence des différentes stratégies déterminant son efficacité, afin de connaître leurs effets sur le confort thermique intérieur par la connaissance de son comportement thermo aéraulique.

La partie théorique citée précédemment, nous a permis l'accumulation des connaissances concernant la phénoménologie du comportement thermique et des mouvements d'air dans un atrium. Dans le but de consolider ces informations, une investigation in situ s'est avérée nécessaire afin de mettre en évidence l'effet de l'atrium ventilé sur le confort du centre commercial "Sans Visa" choisi comme cas d'étude à la ville nouvelle Ali Mendjeli à Constantine. L'expérimentation est faite durant deux périodes: l'une est printanière et l'autre est estivale sous le climat de cette ville, qui apparaît comme semi aride avec hiver froid et un été assez sec et chaud caractérisé par des températures très élevées et une humidité relativement basse.

L'étude expérimentale a montré que l'atrium durant la période printanière a eu un rendement positif grâce à sa couverture transparente, car il peut augmenter les valeurs de température de l'air interne qui dépassent celle de l'extérieur par l'apport solaire direct et son chauffage solaire passif qui permet d'atteindre le bien être, en minimisant le recours aux moyens de pointe.

Les résultats acquis en période estivale révèlent une ambiance thermique désagréable causée par les gains solaires excessifs à travers la couverture transparente du toit d'atrium, accompagnée par une stratification thermique coïncidant avec une forte fréquentation. Nous avons alors fait un appel à la ventilation naturelle par l'ouverture du toit à 75% et à 100% durant des heures précises de la journée, par le biais du tirage thermique à travers l'ouverture de la porte d'accès et le toit. Une amélioration d'ambiance est bien sentie dans l'atrium et les coursives pendant le déroulement des scénarios.

Dans le but de compléter les scénarios que nous ne pouvons pas faire à cause des contraintes sur terrain, nous avons procédé dans le chapitre cinq à une simulation numérique à l'aide du logiciel « EDSL Tas », qui permet la possibilité de faire des changements de scénarios pour déterminer éventuellement la technique optimale et l'heure convenable d'ouverture du toit, afin de créer une ambiance interne souhaitable.

Les résultats obtenus ont démontré que l'ouverture du toit à 100% de 07h à 19h est plus fiable que celle de 07-11h et de 16-19h. Par la suite l'introduction de la ventilation transversale NO-SE à celle du tirage thermique, lorsque le toit est ouvert à 100% durant la tranche horaire de 07h à 19h, ceci révèlent les meilleurs résultats. Du fait qu'elle assure un renouvellement d'air qui englobe tout le volume interne de l'espace atrium et ses espaces adjacents luttant ainsi contre la surchauffe excessive qui tend à stagner au niveau supérieur.

Recommandations

D'après la recherche menée dans ce manuscrit, l'atrium du centre commercial "Sans Visa" qui se trouve dans la ville nouvelle Ali Mendjeli à Constantine, soumis aux effets du climat semi-aride, entraîne des gains de chaleur pendant les saisons froides. Mais il a besoin de plus d'énergie de climatisation en été à cause de la surchauffe et la stratification thermique, donc, il est recommandé :

D'avoir un atrium naturellement ventilé (avec toit rétractable), d'une part, qui doit être caractérisé par sa fermeture durant la période froide, dans le but de bénéficier du chauffage solaire passif, et à conduire à la réduction de la période de chauffage à quelques jours. Et d'autre part, en période chaude, l'ouverture du toit à 100% accompagné par une ventilation transversale suivant l'axe NO-SE durant la tranche horaire qui s'étale de 7 heures à 19 heures, sert à diminuer les températures de l'air par l'effet du tirage thermique en créant des ouvertures appropriées dans des lieux, particulièrement dans les niveaux inférieurs pour introduire l'air

extérieur dans un espace à rafraîchir et des ouvertures en partie haute pour laisser l'air vicié s'échapper.

Nous pouvons proposer de concevoir un atrium avec des dispositifs d'ombrage interne sous forme d'occultations suspendues, surélevées à différentes hauteurs, déposées d'une façon permettant de créer un espace tampon ventilé naturellement, admet une circulation de l'air (thermo- siphon) et l'échange convectif. Elles doivent être disponibles en été même si le toit est ouvert à 100%. Cela diminuera l'éblouissement et le gain de chaleur direct en été et créera une ambiance lumineuse interne (Jeu de lumière).

Ces protections solaires mobiles ayant une couleur claire réfléchissantes sont indispensables dans tout l'atrium, généralement à l'intérieur pour combiner la ventilation et la protection solaire (**figure1.**).



*Figure 1. Type d'occultation proposée.
(source: <http://www.architen.com/materials/pvc-glass/>)*

L'emploi d'une stratégie de pulvérisation, d'une part, en appliquant un mince film d'eau sur des surfaces de bâtiment revêtues de TiO₂ super hydrophile, cette surface de verre externe peut réduire les températures des surfaces par le dégagement de chaleur latente en raison de l'évaporation d'eau. D'autre part, l'adoption d'une fontaine à l'intérieur sert à agir sur la régularisation du confort hygrométrique interne.

La présence des plantes à l'intérieur de l'atrium offre de l'ombre en été, comme elles réduisent la surchauffe par l'évaporation, elles peuvent modérer l'environnement intérieur vers la zone de confort thermique pendant toute l'année.

Futures recherches

Au cours de ces dernières années, plusieurs bâtiments comporte des atriums, dans le but de minimiser les problèmes d'éclairage naturel en assurant une continuité visuelle entre l'intérieur et l'extérieur, dont la surface et la matière de sa couverture avaient une situation critique vis-à-vis du confort thermique interne durant la période chaude. Où le concepteur doit apporter des solutions durables notamment lors de la conception afin d'éviter toute opération de réhabilitation thermique prématurée.

Plusieurs domaines d'application liés aux résultats acquis dans la présente recherche peuvent constituer une future recherche qui pourrait se concentrer sur:

A titre d'exemple, dans le sens de l'adoption d'une autre typologie d'atrium, notre cas d'étude est celui de l'atrium encastré. D'une part, il serait intéressant d'étudier les autres configurations et leurs impacts sur la qualité des autres ambiances internes, durant des heures bien définies. Et d'autre part, en testant l'effet de la ventilation nocturne sur le rafraîchissement passif de ces immeubles de différentes hauteurs.

La création d'une occultation paramétrique de la couverture de l'atrium en fonction de la trajectoire solaire, qui fonctionne indépendamment sans aucune exigence humaine, afin d'atteindre le confort durant toute l'année.

Ces recherches peuvent donner des informations utiles pour les concepteurs en matière de conception durable technologique sous différents climats.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Articles

- Abdullah , A. H. , Qinglin ,M. , Lihua ,Z. , & Fan, W .(2009). Field study on indoor thermal environment in an atrium in tropical climates. *Building and Environment*.(44), 431– 436.
- Abdullah , A. H.,& Wang,F.(2012). Design and low energy ventilation solutions for atria in the tropics. *Sustainable Cities and Society*.(2), 8-28.
- Aboshosha, H. , Elawady, A. , Peddie, K. , Rofail , A.W. ,& Bitsuamlak, G. (2014). Parametric study on the natural ventilation of a building with large atrium using hybrid CFD-wind tunnel approach. *Researchgate* .
- Ahmed ,Q. A.(2013). Energy Performance of Courtyard and Atrium in Different Climates. *Research Methodologies*, K14RMS.
- Aldawoud , A . , & Ray, C.(2008). Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings. *Energy and Buildings* .(40), 209–214 .
- Assadia , M. K. , Dalira , F., & Hamidib , A.A. (2011). Analytical model of atrium for heating and ventilating an institutional building naturally. *Energy and Buildings*.(43), 2595–2601.
- Ayoob ,N. , & IZARD , J.L. (1994). Study of comfort in atrium design. *Renewable Energy*, Vol.5, Part II, 1002-1005.
- Bajracharya,S.(1989). Simulation of Temperature Stratification in Atriums: Validation of Basic Model Features. *Journal of the Institute of Engineering*, Vol. 10.(No. 1), 157–171.
- Bajracharya,S.(1989). Challenges and Opportunities in Atrium Buildings: A Review.*Journal of the Institute of Engineering*,(9), 65–68.
- Bryn , I., & schiefloe ,P. A.(1996). Atrium models for the analysis of thermal comfort and energy use. *International Energy agency Solar Heating and Cooling Programme*, T.12.A.3-1.

- Chenvidyakarna , T., & Woods , A. W. (2010). On the natural ventilation of two independently heated spaces connected by a low-level opening. *Building and Environment*.(45), 586–595.
- Enes , Y. , & Vildan ,O.(2014). Evaluation of the effects of courtyard building shapes on solar heat gains and energy efficiency according to different climatic regions. *Energy and Buildings* .(73), 192–199.
- Göçer , Ö. , & TAVIL ,A.H.(2008). Performance evaluation model for energy consumption and usage in atrium type buildings. *Itüdergisi/a Architecture, planning, design*. (Volume: 7), 1, 3-12.
- Kavas, K. R .(2012). A critical review of the roman atrium house: reading the material evidence on “atrium” (1). *METU JFA*, 143-155.
- Laouadi, A. , Atif, M.R. , & Galasiu, A.(2002). Towards developing skylight design tools for thermal and energy performance of atriums in cold climates . *Building and Environment* .(37), 1289-1316.
- Laouadi, A., & Atif , M. R .(1999). Comparison between computed and _eld measured thermal parameters in an atrium building. *Building and Environment* .(34), 018 027.
- Moosavin, L. , Mahyuddin, N., AbGhafar ,N., & Azzam ,M. I.(2014). Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.(34), 654-670.
- Pagliarini ,G., Rainieri ,S., (2011).Dynamic thermal simulation of a glass-covered semi-outdoor space with roof evaporative cooling, *Energy and Buildings* .43,592–598.
- Perena, J.I., Hooffc, T. V., Ramponid, R. , Blockenb, B., & Leite ,B.C.C. (2015). Impact of roof geometry of an isolated leeward sawtooth roof building on cross-ventilation: Straight, concave, hybrid or convex. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*.(145), 102–114.

- Rundle,C.A., Lightstone, M.F., Oosthuizen,P., Karava, P., & Mouriki,E.(2011).Validation of computational fluid dynamics simulations for atria geometries. *Building and Environment* ,(46). 1343–1353.
- Shafqat, H ., & Oosthuizen, P. H. (2013). Numerical investigations of buoyancy-driven natural ventilation in a simple three-storey atrium building and thermal comfort evaluation. *Applied Thermal Engineering*.(57), 133e146.
- Shafqat ,H., & Oosthuizen ,P. H.(2012). Numerical investigations of buoyancy-driven natural ventilation in a simple atrium building and its effect on the thermal comfort conditions . *Applied Thermal Engineering*.(40), 358e372.
- Sharples ,S., & Bensalem, R. (2001). Airflow in courtyard and atrium buildings in the urban environment: a wind tunnel study. *Solar Energy*, pp. 237–244.
- Vassilev, A. (2015). Establishment of Modern “Atrium” Buildings as a Model for Sustainable Energy Efficient Architecture. *International Journal of Contemporary Architecture "The New ARCH" Vol. 2*, 2198-7688 .
- Wanga, F., Pichatwatanaa ,K. , Roafa ,S. , Zhaob, L. , Zhua , Z. , & Li , J.(2014). Developing a weather responsive internal shading system for atrium spaces of a commercial building in tropical climates. *Building and Environment* ,(71), 259-274.
- Wanga, X., Huanga , C. ,& Cao ,W.(2009). Mathematical modeling and experimental study on vertical temperature distribution of hybrid ventilation in an atrium building. *Energy and Buildings* ,(41), 907–914.
- Zhu,Q. , & Yan ,D. (2007). Dynamic simulation of atrium thermal environment aiding building design. *Proceedings: Building Simulation*.

Conferences

-Baharvand, M. , Hamdan Bin Ahmad, M., & Safikhani ,T.(2013). Thermal Performance of Tropical Atrium. *Environmental and Climate Technologies*, 10.2478 .

-Holford, J. M. & Hunt ,G. R. (2000). When Does An Atrium Enhance Natural Ventilation. *Proceedings 21st AIVC Annual Conference, "Innovations in Ventilation Technology*, paper 52.

-Hyejun, A. (2011).Enhanced natural ventilation method for atrium space. *AR0532 Smart & Bio-Climatic Design Theory*.

-Jaberansari, M., & Elkadi , H.(2016). Influence of different atria types on energy efficiency and thermal comfort of square plan high-rise buildings in semi-arid climate . *International conference on Energy, Environment and Economics*.

-Julitta, Y., Sabarinah, S. A., & Azni, Z.A.(2010). Analysis of Atrium's Architectural Aspects in Office Buildings under Tropical Sky Conditions. *International Conference on Science and Social Research* , 978-1-4244-8985-5/10.

-Kazemzade, M., & Tahbaz , M.(2015). sustainable urban landscape and new atrium. *IRACST – Engineering Science and Technology: An International Journal*.

-Li,R., & Pitts, A.(2006). Thermal Comfort and Environmental Modelling in Atrium Buildings . *The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Geneva, Switzerland.

-Marzieh, K.(2011). Compare two atrium with plant and without plant In cold and dry winter . *5 th SAS Tech Iran Mashhad*.

-Medi,H.(2010). Field Study on Passive Performance of Atrium Offices: Case Study in Semi Arid Climate. *1st International Graduate Research Symposium on the Built Environment*, METU, Ankara, Turkey.

-Mehta,M .(2005). Natural ventilation analyses of an office building with open atrium. *Ninth International IBPSA Conference Montréal, Canada*.

-Moosavi , L. , Ghafar ,N., & Mahyuddin ,N.(2016). Investigation of Thermal Performance for Atria: a Method Overview. *IBCC 2016*.

-Pan,Y., Li, Y., & Huang , Z.(2009). Study on energy modeling methods of atrium buildings. *Eleventh International IBPSA Conference*. Glasgow, Scotland.

-Pichatwatana, K., & Wang , F.(2013). Modelling Analysis of Thermal Performance of Internal Shading Devices for a Commercial Atrium Building in Tropical Climates. *3rd International Conference on Ecological, Environmental and Biological Sciences*. Singapore.

-Poirazis , H., Kragh, M., & Hogg , C.(2009). Energy modelling of etfe membranes in building applications. *Eleventh International IBPSA Conference*. Glasgow, Scotland.

-Rong, X .,& Benson, L. (2013). Muti-purpose Atrium in Future Sustainable School Design .*29th Conference , Sustainable Architecture for a Renewable Future, Munich, Germany*.

-Shafqat, H., Alrasheedi, N. H., Hasani, S.M.F.,& Oosthuizen, P. H. (2014). A CFD Study of a Naturally Ventilated Three-storey Simple Atrium Building . *International Journal of Civil and Structural Engineering– IJCSE*.

-Yunus, J ., Sabarinah, S. A., & Azni-Zain, A. (2008). Innovative use of atria for daylight performance in office building under tropical skies. *International seminar in sustainable environment & architecture* .

-WIM ,Z. ,& DEREK ,V.(2013). Active Roof Cooling of Atria. *28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima*. Perú 7-9

Thèses et Mémoires

-Abd Halid ,A. (2007). *A Study on Thermal Environment Performance in Atria in the Tropics with Special Reference to Malaysia*.(thèse de doctorat).Université Heriot-Watt.

- Acred , A.(2014). *Natural ventilation in multi-storey buildings: a preliminary design approach.*(doctoral thesis), Imperial College London.
- Akchiche, Z.(2011). *Étude de comportement d'une cheminée solaire en vue de l'isolation thermique.*(memoire de magister). Universite Kasdi Merbah, Ouargla.
- Belmaaziz,M.(2003). *Les ambiances thermo-aérauliques dans les atriums linéaires. Contribution à la constitution de règles expertes utilisables dans la conception du projet.*(these de doctorat), Ecole polytechnique de l'Université de Nantes.
- Bensalem, R. (1991). *Wind-driven natural ventilation in courtyard and atrium-type buildings.*(these doctorale), University of Sheffield. Angleterre.
- Bouffard ,É. (2013). *Conception de bâtiments solaires : méthodes et outils des architectes dans les phases initiales de conception .*(Maître en sciences de l'architecture (M.Sc.Arch)), Université Laval, Québec, Canada.
- Briggs,L.(1989). *Atria the in ide story.*(diploma en Architecture de paysage).Université de Canterbury, Lincoln College.
- Caciolo,M.(2011). *Analyse expérimentale et simulation de la ventilation naturelle mono-facade pour le rafraichissement des immeubles de bureaux.*(thèse de Doctorat), l'École nationale supérieure des mines de Paris. France.
- Connick, O.(2013). *The Fluid Mechanics of Hybrid Ventilation.*(doctoral thesis), Imperial College London.
- Daoudi,N. S.(2013).*Bilan et perspectives de la démarche interdisciplinaire appliquée à la caractérisation des ambiances et leur rapport au vécu Cas d'un édifice à atrium colonial d'Alger.*(Thèse de doctorat en sciences), École Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme d'Alger, EPAU, Algérie.
- Durrani,F.(2013). *Using Large Eddy Simulation to Model Buoyancy-Driven Natural Ventilation.*(doctoral thesis), Loughborough University.

- Gaouas,O.(2014). *Approches multicritères en conception bioclimatique et optimisation par le biais d'un langage architecturale.(memoire de magister)*, Université Mohamed Khider , Biskra.
- Khaldi, S.(2013). *Etude numérique de la ventilation naturelle par la cheminée solaire.(Mémoire de magister)*. Université Abou Bekr Belkaïd , Tlemcen.
- Kitagawa, A.,& Eng , B.(2011). *Numerical analysis of fluid flow and heat transfer in atria geometries.*(Masters of Applied Sciences),School of Graduate Studies In Partial Fulfillment of the Requirements.
- Lan,Q. (2013) . *The role of the atrium in buildings.* (Master Architecture, Urbanism & Building Sciences) , Université de Technologie de Delft, Pays bas.
- Li,R.,& Arch,B.(2007). *Natural ventilation of atrium spaces.*(doctoral thesis), School of Architecture, The University of Sheffield, UK.
- Mabb, J. A. (2011). *Modification of atrium design to improve thermal and daylighting performance.*(thesis of Masters of Applied Science), Queensland university of technology,Austrilia.
- Matthews,S.(1985). *New chancery for lusaka atrium thermal analysis.*
- Mazari, M.(2012). *Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : cas du département d'architecture de Tamda (tizi-Ouzou).*(Mémoire de magistère),Université Mouloud MAAMRI ,Tizi ouazou.
- Medi, H. (2007). *The Criteria of Physical Improvement of Atrium Spaces on Office Buildings.*(PhD Proposal). Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
- Metivier,D.(2010). *Mise en valeur et mise en tourisme de ces lieux originaux pour une pérennité et un dynamisme dans le XXIe siècle.* Université De Paris 1 – Pantheon Sorbonne Institut De Recherche Et D'études Supérieures Touristiques,France.

-Moujalled, B.(2007). *Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés.*(thèse de doctorat), L’Institut des Sciences Appliquées de Lyon ,France.

-Nait,N.(2011). *la réhabilitation énergétique dans les logements collectifs existants cas du climat semi aride de Constantine.*(Mémoire de magister), Université Mentouri, Constantine.

-Nicholas, M.(1991). *Thermal stratification in atria.* the university of wollongong department of engineering.

-Rahal, S.(2011). *L’impact de l’atrium sur le confort thermique dans les bâtiments publics (cas de la maison de culture à jijel).*(Mémoire de magister), Université Mentouri,Constantine.

-Samant,S., Dip,A., & M arch.(2011). *A parametric investigation of the influence of atrium façades on the daylight performance of atrium buildings.*(thèse de doctorat), the university of Nottingham, Angleterre.

-Samuel, D. C.(2014). *A Model for Analyzing Heating and Cooling Demand for Atria Between Tall Buildings.*(Master of Science), Department of Civil and Environmental Engineering, Brigham Young University.

-Shafqat, H. (2012). *Numerical investigations of the indoor thermal environment in atria and of the buoyancy- driven ventilation in a simple atrium building.*(doctoral thesis), Queen’s University Kingston, Ontario, Canada.

Ouvrages

-Alamdari , F. Microclimate performance of an open atrium office building: a case study in thermo-fluid modelling, *FCIBSE*.

-Alexander , D.K., Jenkins, H.G. ,& P.J.Jones. A comparison of wind tunnel and cfd methods applied to natural ventilation design. *Bute Building*,Cardiff. CF1 3AP, U.K.

- Belmaaziz, M. , IZARD , J-L. , DAGUSE-DAUTIN, S. , & DEPECKER, P. *Study of thermal behaviour of a linear atrium: solar calculations and coupling with a CFD code.*
- Benjamin, J.(2014).*The newsletter of the cibse natural ventilation group: Natural Ventilation News 10 .*
- Danielski, I., Nair, G., & Fröling , M. *Heated atrium in multi-story buildings: A design for better energy efficiency and social interactions.*
- Givoni, B.(1978). *L'Homme, L'Architecture et le Climat .* édition : Edition Le Moniteur, paris.
- Gratia, E., & De Herde , A. *Thermique des immeubles de bureaux: UCL presses universitaires de louvain.*
- Grimmer, A. E. , Hensley .J.E., Petrella .L.,& Tepper,A.T. (2011). *illustrated guidelines on sustainability for rehabilitating historic buildings : U.S. Department of the Interior National Park Service Technical Preservation Services.*
- Guides bio-tech , *Ventilation naturelle et mécanique : Ile de France expertise et ressources pour un développement durable.*
- Heschong Mahone Group.(1998). *skylighting guidlines.*
- Jaberansari,M., & Elkadi, H. *Optimum atria type in terms of thermal comfort for high rise office buildings in the semi-arid climate of middle east: School of Built Environment,The University Of Salford, UK.*
- Ji,Y. & Cook, M.(2005). *Atrium-assisted natural ventilation of multi-storey buildings. Indoor air, De Montfort University, Queens Building.*
- Jirí, T . *Influence of Plants on Microclimate in Atria : work in progress.*

- Kainlauri,E.O., & Vilmain, M.P..*Atrium design criteria resulting from comparative studies of atriums with different orientation and complex interfacing of environment al systems: CH-95-11-1.*
- Li , R.,& Pitts , A .*Effects of Design on the Wind Roof The performance of atrium ventilation*
- Lynch,P., & Hunt ,G. R.(2015). *Night Purging of Multi-Storey Buildings: Imperial college London .*
- MH.D,C .,& Potvin, A .(2005). *L'atrium :espace bioclimatique viable en milieu nordique: stratégie bioclimatique.*
- Morrison,A.,& Walshe ,David. *Atria Design and Technology for the Irish Climate : Architecture Ireland 250.*
- Othman,A. R., Zain, A. A. & Ayop, S. M. *Daylighting from top-lit atrium buildings in Kuala Lumpur.*
- Ouvrage: (2015). *l'atrium central dans les bâtiments tertiaires contemporains l'intériorisiez par l'atrium, usages et ambiances au cœur des bureaux.* Ecole nationale supérieur d'architecture de Nantes.
- Ouvrage: (2011).*Study on building integrated evaporative cooling of large glass-covered spaces . Building Integrated Evaporative Cooling.*
- Ouvrage: *LES GUIDES BIO-TECH.,NATURAL VENTILATION 37.*
- Policarb *Plaque alvéolaire en polycarbonate protégé U.V.à parois multiples .avis technique N.6/02-1443.*
- Raymond Balestra ,Conseiller Pédagogique Départemental en Arts Visuels.
- Saxon, R. (1983) . *Atrium Buildings: Development and Design .* Great Britain: The Architectural Press Ltd, London.

-Tencar, Jiri .*Influence of Plants on Microclimate in Atria – work in progress*. The Martin Centre, Department of Architecture University of Cambridge.

-Wilson, A., & A , L.(2009). *ETFE; The New Fabric Roof*: Interface Magazine.

Web graphies

-Architen landrell(en ligne): <http://www.architen.com/articles/etfe-the-new-fabric-roof/>.

-Architen Landrell(en ligne): <http://www.architen.com/materials/pvc-glass/>.

-Bellapart (en ligne): <http://www.bellapart.com/fr/realisations/structures-verre-acier/55-hesperia-tower-hotel-atrium>.

-Breathing buildings (en ligne) :www.breathingbuildings.com.

-Brett Martin (en ligne): <http://www.brettmartin.com/>.

-Dhaze (en ligne): <http://www.dhazeplastique.com/fr>.

-Emporis (en ligne) : <https://www.emporis.com/buildings/117120/33-west-monroe-chicago-il-usa>.

-Energieplus(en ligne): www.energieplus-lesite.be/index.php?id=2.

-Ford foundation (en ligne):<https://uk.pinterest.com/explore/ford-foundation/>.

-Foster +partners (en ligne) : <http://www.fosterandpartners.com/projects/great-court-at-the-british-museum/>.

-Le bon marché, l'architecture au service du commerce (enligne):

http://passerelles.bnf.fr/albumsmobile/bon_marche/index.htm

-Livingdaylight LTD (en ligne): <http://www.livingdaylight.co.uk/opening-roof-applications.htm>.

-Mitchster (en ligne): <http://www.mitchster.com/2008/03/14/hennepin-county-government-center/>.

- Pinterest(en ligne): <https://www.pinterest.com/pin/131871095315183616/>.

- Reform Club(en ligne): <http://www.reformclub.com>

- Rollamatic (en ligne): <http://www.rollamatic.com/>.

- Sefar(en ligne): <http://lopressroom.com/sefar/convertible-sefar-architecture-tenara-fabric-roof-adds-modern-flexibility-historic-hvb-foru>

- Spectrum skyworks (en ligne): <http://spectrumskyworks.com/products/skylights/>.

- Thomas mayer _archive (en ligne): https://thomasmayerarchive.de/details.php?image_id=27190&l=english.

- Voyage Voyage new york (en ligne): <http://www.voyage-new-york.net/tourisme-new-york/musees/musee-guggenheim>.

- Wikimedia the free encyclopedia (en ligne) : https://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page.

- Wikipedia the free encyclopedia (en ligne) :
https://en.wikipedia.org/wiki/Intelsat_headquarters.

- Wikipedia commons (en ligne): [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:C.D._Howe_Building,_Ottawa_\(indoor_atrium_-_20_August_2004\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:C.D._Howe_Building,_Ottawa_(indoor_atrium_-_20_August_2004).jpg).

ANNEXE A

Tableau A.1. Caractéristiques du vitrages permettant le contrôle solaire.(Source: <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=2>)

| Type de vitrage | | U (W/m ² K) | Transmission lumineuse TL % | Facteur solaire FS (g) | Facteurs acoustiques | | | Aspect en relexion |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|------------------------------|----------------------|------|----------------|------------------------------------------------|
| | | | | | RW | RW+C | RW + Ctr | |
| Simple | Clair (8 mm) | 5.8 | 90 | 86 | 32 | 31 | 30 | neutre |
| Double | Clair | 2.8 | 81 | 76 | 30 | 29 | 26 | neutre |
| | Clair +basse émissivité | 1.6 | 70 | 55 | 30 | 29 | 26 | neutre |
| | Clair +absorbant | 2.8 | 36à 65 | 46 à67 | 32 | 31 | 30 | Vert, bronze , bleu et rose |
| | Clair réfléchissant | 2.8 | 7 à66 | 10à66 | 32 | 31 | 30 | Argenté métallique dore , gris , vert |
| | Clair +basse émissivité et réfléchissant | 1.6 | 71 | 40 | - | - | - | neutre |
| | Clair +basse émissivité +gaz isolant | 1 à 1.3 | 70 | 55 | 35 | 33 | 29 | neutre |
| | Clair +basse émissivité et réfléchissant +gaz isolant | 1 à1.3 | 71 | 40 | - | - | - | neutre |
| Triple | Clair | 1.9 | 74 | 68 | - | - | - | neutre |
| | Clair +basse émissivité +gaz isolant | 0.6-0.8 | 65-75 | 50-70 | - | - | - | neutre |
| | Clair +basse émissivité (int)+contrôle solaire (ext) gaz | 0.6-0.8 | 60-70 | 30-40 | - | - | - | neutre |

Tableau A.2. Types du la matière utilisée pour la couverture des lucarnes

(Source : Qunfei Zhul, Da Yan1,2007)

| Matériel | Coefficient de transfert de chaleur W/(M ² .K) | coefficient de d'ombrage SC |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Double vitrage | 3.1 | 0.67 |
| Verre à faible transmission faible -E | 2.1 | 0.49 |
| verre à Haute transmission faible- E | 2.4 | 0.56 |

Tableau A.3. Impact du vitrage sur les charge de refroidissement et chauffage

(Source: Qunfei Zhu1, DaYan1, 2007)

| | charge de chauffage maximale [W/M ²] | Somme de la charge de chauffage d'une année [KWh/M ²] | charge de refroidissement maximale [W/M ²] | Somme de la charge de refroidissement d'une année [KWh/M ²] |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Double vitrage | 50.2 | 6.6 | 140.2 | 63.8 |
| Verre a faible transmission faible -E | 33.7 | 3.6 | 105.1 | 45.9 |
| Verre à haute transmission faible- E | 38.7 | 4.1 | 119.1 | 53.4 |

Tableau A.4. Coefficient de transmission lumineuse (τ) en %

| Type de vitrage | Coefficient de transmission lumineuse |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Simple vitrage clair 6 mm | 89% |
| Simple vitrage teinté 6 mm | |
| Bronze | 49% |
| Gris | 41% |
| vert | 73% |
| Double vitrage 6 mm clair | |
| clair | 79% |
| Basse émissivité neutre | 67% |
| Réfléchissant | 30% |
| Fortement réfléchissant | 7% |

Epaisseur du polycarbonate

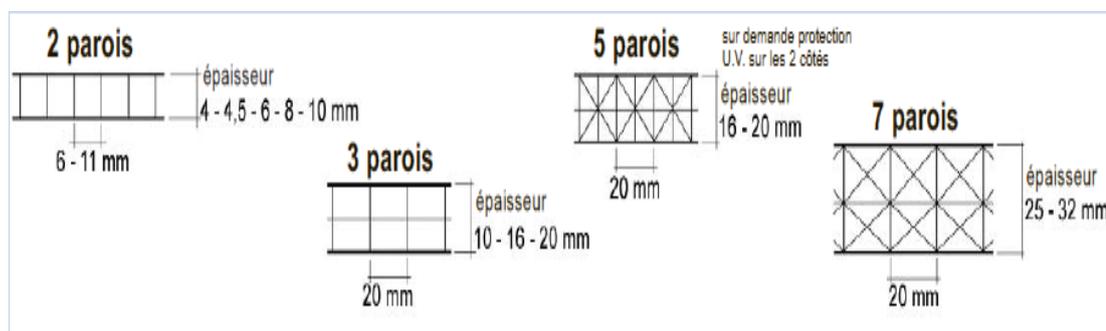


Figure A.1. Epaisseur du vitrage en polycarbonate alvéolaire

(source: www.brettmartin.com).

Tableau A.5. Caractéristiques de polycarbonate (Source: Policar)

| STANDARD DE PRODUCTION | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|------|------|----------------|------|----------|--------------------|------|----------|-------|----------|------|
| Epaisseur (mm) | 4 | 4,5 | 6 | 8 | 10 | 10 | 16 | 20 | 16RDC | 20RDC | 25 | 32 |
| Structure | 2 PAROIS | | | | | 3 PAROIS | | | 5 PAROIS | | 7 PAROIS | |
| Largeur (mm) | 2100 | | | 1200-1250-2100 | | | 980-1200-1250-2100 | | | 1200 | | |
| Longueur (mm) | 6.000 | | | | | | | | | | | |
| Poids (Kg/m ³) | 0,8 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 2,1 | 2,7 | 3,2 | 2,55 | 3,1 | 3,2 | 3,5 |
| Transmission thermique K | | | | | | | | | | | | |
| Valeur W/m ² K | 3,9 | 3,9 | 3,5 | 3,3 | 3,0 | 2,7 | 2,3 | 2,2 | 2,1 | 1,9 | 1,5 | 1,4 |
| Valeur Kcal/m ² °C | 3,3 | 3,3 | 3,0 | 2,8 | 2,6 | 2,3 | 2,0 | 1,9 | 1,8 | 1,6 | 1,3 | 1,2 |
| Transmission lumineuse % | | | | | | | | | | | | |
| Plaque Cristal | 85 | 84 | 80 | 81 | 82 | 74 | 74 | 75 | 65 | 65 | 69 | 66 |
| Plaque Bronze | 57 | 57 | 51 | 65 | 65 | 41 | 37 | 35 | 30 | 30 | 35 | 35 |
| Plaque Opale | 58 | 58 | 57 | 57 | 57 | 52 | 52 | 52 | 40 | 40 | 42 | 42 |
| Plaque Opale 30% | | | 37 | 37 | 35 | 35 | 32 | 32 | | | 35 | 36 |
| Plaque Reflecto | | | | | 48 | | 48 | | 35 | | 37 | 35 |
| Plaque Bleu | | | 53 | 53 | 48 | | 45 | | | | | |
| Plaque Vert | | | 54 | 54 | 54 | | 42 | | | | | |
| Facteur solaire % | | | | | | | | | | | | |
| Plaque Cristal | 83 | 82 | 80 | 82 | 82 | 75 | 75 | 77 | 68 | 68 | 61 | 60 |
| Plaque Bronze | 66 | 66 | 66 | 70 | 75 | 57 | 57 | 57 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| Plaque Opale | 66 | 66 | 66 | 65 | 64 | 62 | 63 | 63 | 45 | 45 | 50 | 54 |
| Plaque Opale 30% | | | 47 | 47 | 46 | 45 | 44 | 43 | | | 37 | 35 |
| Plaque Reflecto | | | | | 45 | | 45 | | 40 | | 43 | 43 |
| Plaque Bleu | | | 66 | 70 | 70 | | 65 | | | | | |
| Plaque Vert | | | 66 | 70 | 70 | | 60 | | | | | |
| Facteur d'ombre (SC) | | | | | | | | | | | | |
| Plaque Cristal | 0,95 | 0,94 | 0,91 | 0,94 | 0,94 | 0,86 | 0,86 | 0,88 | 0,78 | 0,78 | 0,61 | 0,69 |
| Plaque Bronze | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,80 | 0,86 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,57 | 0,57 | 0,57 | 0,57 |
| Plaque Opale | 0,76 | 0,76 | 0,76 | 0,75 | 0,74 | 0,71 | 0,72 | 0,72 | 0,52 | 0,52 | 0,57 | 0,62 |
| Plaque Opale 30% | | | 0,54 | 0,54 | 0,53 | 0,52 | 0,50 | 0,49 | | | 0,42 | 0,40 |
| Plaque Reflecto | | | | | 0,52 | | 0,52 | | 0,46 | | 0,59 | 0,49 |
| Plaque Bleu | | | 0,76 | 0,80 | 0,80 | | 0,74 | | | | | |
| Plaque Vert | | | 0,76 | 0,80 | 0,80 | | 0,69 | | | | | |
| Dilatation therm. Linéaire | $6,5 \times 10^{-3} (m/m^{\circ}C) - 0,065mm/m^{\circ}C$ | | | | | | | | | | | |
| Réaction au feu | M2 | | | | | | | | | | | |

ANNEXE B

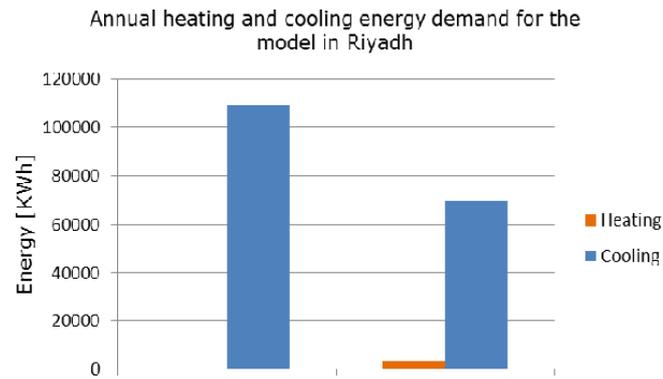
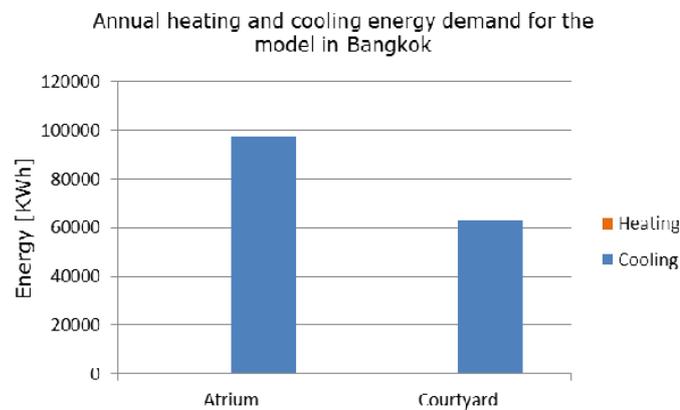


Figure B.1. Rapport annuel de la demande d'énergie de chauffage et de refroidissement pour le modèle à Riyadh

(Source: Ahmed Qadir Ahmed ,2013)



FigureB.2. Rapport annuel de la demande d'énergie de chauffage et de refroidissement pour le modèle à Bangkok

(Source: Ahmed Qadir Ahmed ,2013)

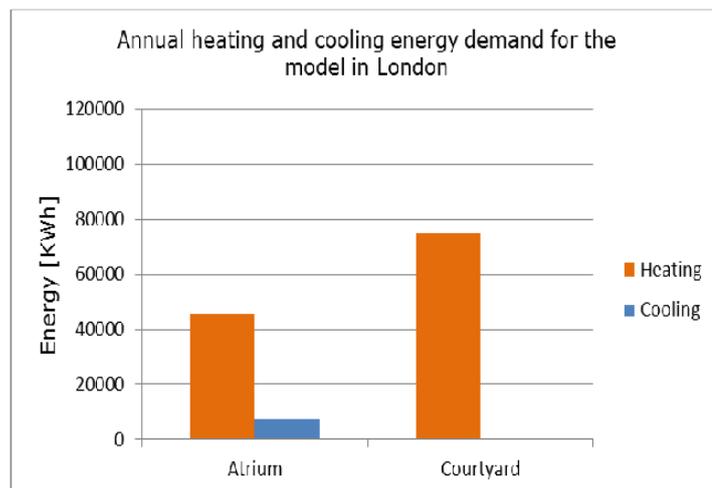


Figure B.3. Rapport annuel de la demande d'énergie de chauffage et de refroidissement pour le modèle à Londres

(Source: Ahmed Qadir Ahmed ,2013)

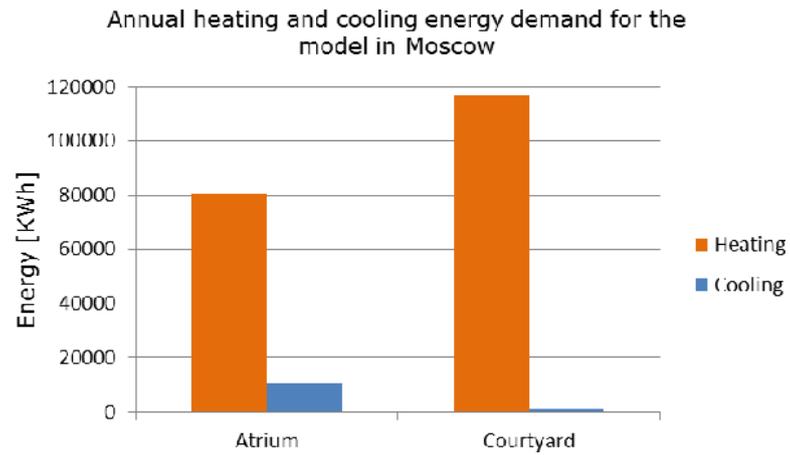


Figure B.4. Rapport annuel de la demande d'énergie de chauffage et de refroidissement pour le modèle à Moscou
(Source: Ahmed Qadir Ahmed ,2013)

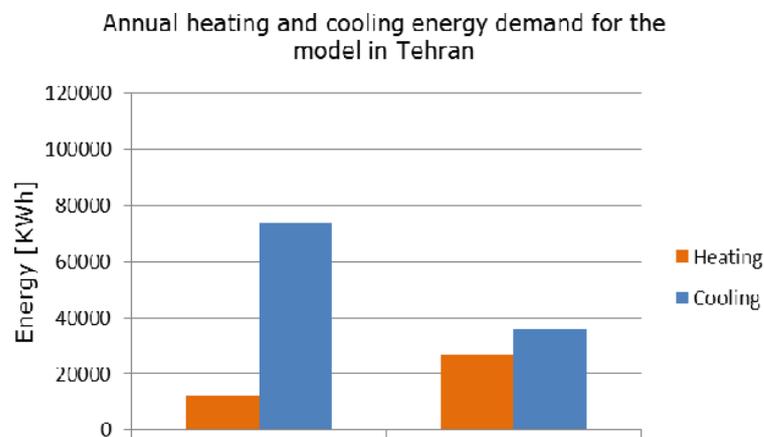


Figure B.5. Rapport annuel de la demande d'énergie de chauffage et de refroidissement pour le modèle à Téhéran
(Source: Ahmed Qadir Ahmed ,2013)

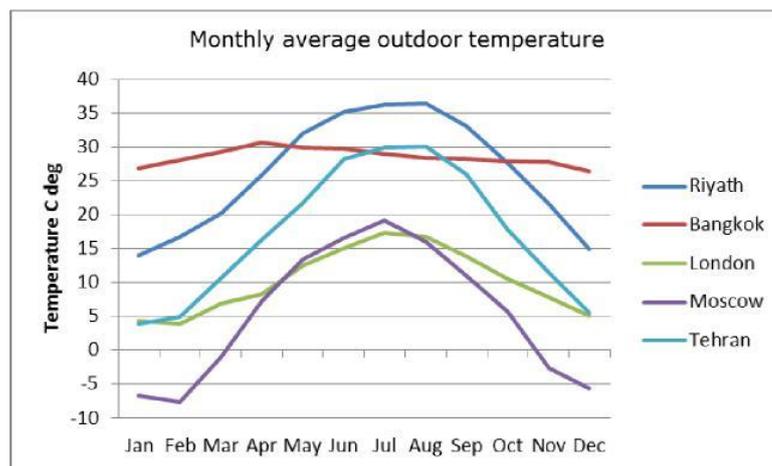


Figure B.6. moyenne mensuelle de la température extérieure dans certaines villes
(source : données météorologiques d'EnergyPlus)

ANNEXE C

Tableau C.1. Données météorologiques de Constantine Période 2004-2014(Source :O.N.M 2015)

| | | JAN | FEV | MAR | AVR | MAI | JUI | JUI | AO | SEP | OCT | NOV | DEC |
|-------------|------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| T °C | Température Moyenne Maximal. (C°) | 13.9 | 14.2 | 18.1 | 22.1 | 27.4 | 34.0 | 38.6 | 38.1 | 32.2 | 27.6 | 19.4 | 14.4 |
| | Température Moyenne Minimal. (C°) | 2.4 | 2.5 | 5.0 | 7.8 | 11.1 | 15.8 | 19.9 | 19.7 | 16.6 | 12.8 | 7.0 | 3.6 |
| | Température Moyenne Annuelle. (C°) | 7.6 | 7.8 | 11.0 | 14.6 | 19.0 | 24.9 | 29.2 | 28.4 | 23.5 | 19.4 | 12.6 | 8.4 |
| HR % | Humidité relative moyennemaximale. (%) | 103.02 | 102.98 | 102.09 | 102.02 | 100.65 | 91.66 | 82.75 | 86.28 | 96.21 | 97.84 | 101.17 | 102.1 |
| | Humidité relative moyenne minimale. (%) | 61.21 | 58.28 | 54.38 | 51.72 | 44.16 | 33.15 | 27.42 | 29.15 | 39.14 | 44.81 | 56 | 63.92 |
| | Humidité relative moyenne annuelle. (%) | 86.9 | 84.75 | 80.13 | 74.76 | 76.07 | 61.66 | 53.13 | 57.25 | 70.66 | 74.77 | 82.42 | 87.27 |
| V | Vent moyen (m/s) | 2.87 | 3.27 | 2.96 | 2.85 | 2.59 | 2.72 | 2.63 | 2.48 | 2,28 | 2.17 | 2.72 | 2.66 |
| P | Précipitation. (mm) | 53.6 | 65,6 | 74.3 | 56.4 | 46.4 | 14.5 | 4.1 | 17.2 | 39,0 | 36.0 | 51.0 | 73.5 |

Pour déterminer les températures neutres de chaque période. on a utilisé les données climatique de la ville de Constantine de l'année 2015.

Tableau C.2. Données climatiques de la ville de Constantine de l'année 2015
(Source : Station Météorologique O.N.M Constantine.)

| | | Jan | Fév | Mar | Avr | Mai | Jui | Juil | Aou | Sep | Oct | NOV | DEC |
|----|------------------------------------|------|------|------|-----------|------|-----------|-----------|-----------|------|-----------|-----------|------|
| T° | Température Moyenne Maximal. (C°) | 12.3 | 10.9 | 16 | 22.5 | 27.3 | 30.7 | 36.2 | 34.5 | 28.2 | 23.5 | 17.2 | 15.8 |
| | Température Moyenne Minimal. (C°) | 1.5 | 2.1 | 4.6 | 7.2 | 10.7 | 14.2 | 18.3 | 18.6 | 16.3 | 12.4 | 6.5 | 2 |
| | Température Moyenne Annuelle. (C°) | 6.9 | 6.5 | 10.3 | 14.8 5 | 19 | 22.4 5 | 27.2 5 | 26.5 5 | 22.3 | 17.9 5 | 11.8 5 | 8.9 |

Calcul de la température neutre de la période hivernale

$$T_n = 17.6 + (0.31 \times T_m)$$

$$T_m = (8.9 + 6.9 + 6.5) / 3 = 7.43$$

$$T_n = 17.6 + (0.31 \times 7.43) = 19.90^\circ\text{C}$$

La température neutre des 3 mois de la période hivernale de l'année 2015 est 19,90°C

$$17,90 < T_n 19,90 < 21,90 \text{ }^\circ\text{C}$$

Calcul de la température neutre de la période printanière

$$T_n = 17.6 + (0.31 \times T_m)$$

$$T_m = (10.3 + 14.85 + 19) / 3 = 14.71$$

$$T_n = 17.6 + (0.31 \times 14.71) = 22.16^\circ\text{C}$$

La température neutre des 3 mois de la période printanière de l'année 2015 est 22,16°C

$$20,16 < T_n 22,16 < 24,16 \text{ }^\circ\text{C}$$

Calcul de la température neutre de la période estivale

$$T_n = 17.6 + (0.31 \times T_m)$$

$$T_m = (22.4 + 27.25 + 26.55) / 3 = 25.41^\circ\text{C}$$

$$T_n = 17.6 + (0.31 \times 25.41) = 25.48^\circ\text{C}$$

La température neutre des 3 mois de la période estivale de l'année 2015 est 25,48°C

$$23,48 < T_n 25,48 < 27,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

Choix d'expérimentation en mois de Mars (le 07 Mars 2016)

Tableau C.3. Températures de l'air de la première partie des quatre mois de la ville de Constantine .

(Source : <http://www.infoclimat.fr/observations-meteo/archives/1er/decembre/2016/constantine/60419.html>.)

| T moyenne journalière des mois | Le nombre de jour | | | | | | | | | | | | | | | Moyenne en °C |
|--------------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------------|-------|-------|------|------|-------|------|-------|-------|---------------|
| | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | |
| Décembre 2015 | 8.8 | 9.8 | 9.2 | 9.45 | 8.9 | 9.6 | 9.55 | 9.1 | 9.05 | 7.6 | 6.9 | 7.5 | 7.7 | 8 | 9.05 | 8.68 |
| Janvier | 10.2 | 11 | 11.65 | 14.35 | 15.15 | 8.3 | 10.4 | 12.45 | 13.05 | 13.2 | 13.6 | 11.25 | 8.95 | 10.05 | 11.25 | 11.66 |
| Février | 9.15 | 11.15 | 11 | 9.05 | 6.55 | 8.2 | 9.55 | 8..2 | 10.55 | 11.2 | 12.4 | 13.65 | 15.9 | 13.15 | 8 | 10.51 |
| Mars | 8.8 | 9.8 | 7.15 | 10.10 | 11.40 | 8.10 | 6.7 | 7.95 | 6.45 | 8.15 | 5.4 | 6.25 | 7.35 | 6.75 | 7.95 | 7.89 |

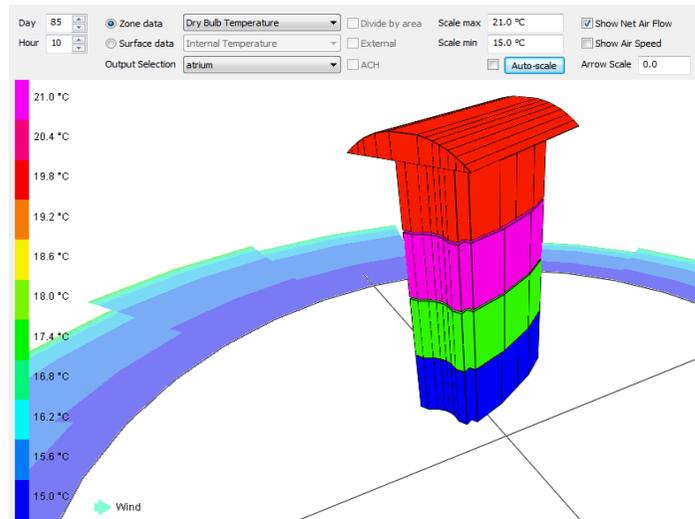
Tableau C.4. Températures de l'air de la deuxième partie des quatre mois de la ville de Constantine .

(Source : <http://www.infoclimat.fr/observations-meteo/archives/1er/decembre/2016/constantine/60419.html>.)

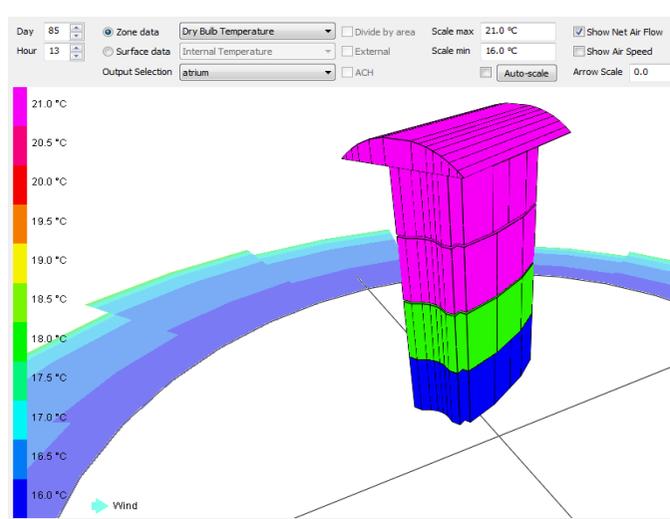
| T moyenne journalière des mois | Le nombre de jour | | | | | | | | | | | | | | | | Moyenn e en °C |
|--------------------------------|-------------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|----------------|
| | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | |
| Décembre 2015 | 9.7 | 10.15 | 10.2 | 11.75 | 11.7 | 10 | 9.65 | 9.3 | 8.05 | 7.85 | 8.75 | 9.05 | 7.95 | 6.1 | 6.95 | 11.55 | 9.91 |
| Janvier | 2.6 5 | 3.45 | 5.65 | 7.8 | 6.9 | 7.2 | 9.15 | 7.35 | 8.25 | 10 | 10.25 | 11.5 | 10.75 | 9.65 | 9.35 | 7.25 | 8.48 |
| Février | 4.4 5 | 5.4 | 5 | 8 | 8.75 | 10.02 | 17 | 11.95 | 10 | 10 | 11.35 | 11.05 | 6.45 | | | | 9.95 |
| Mars | 8.2 | 8.85 | 9.2 | 13.25 | 17.5 | 12 | 11.4 | 10.7 | 8.15 | 8.6 | 11.2 | 13.05 | 11.8 | 15.3 | 18.05 | 19.05 | 13.09 |

ANNEXE D

Comportement d'atrium de la journée 26 mars 2016 avec un toit fermé
à 10h



à 13h



à 18h

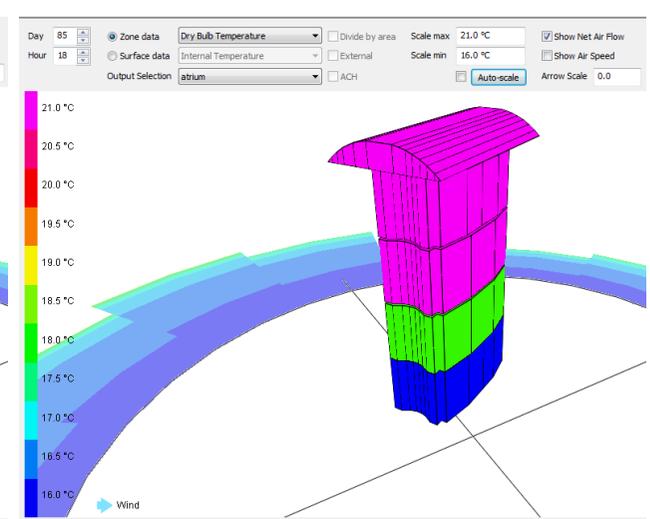


Figure D.1. Comportement d'atrium de la journée 26 mars 2016 avec un toit fermé. (Source: Auteur, 2016)

Comportement d'atrium de la journée 26 mars 2016 avec ouverture du toit à 100% de 07 à 19 heures

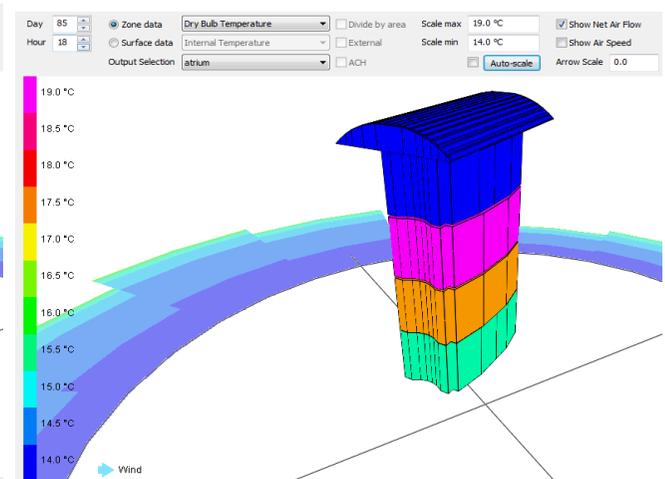
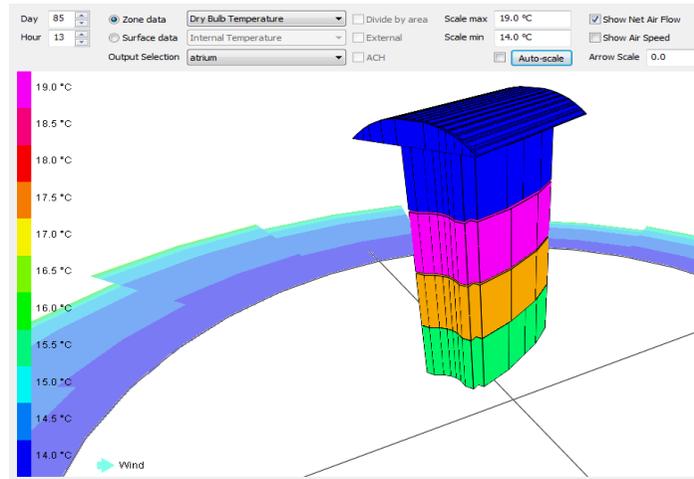
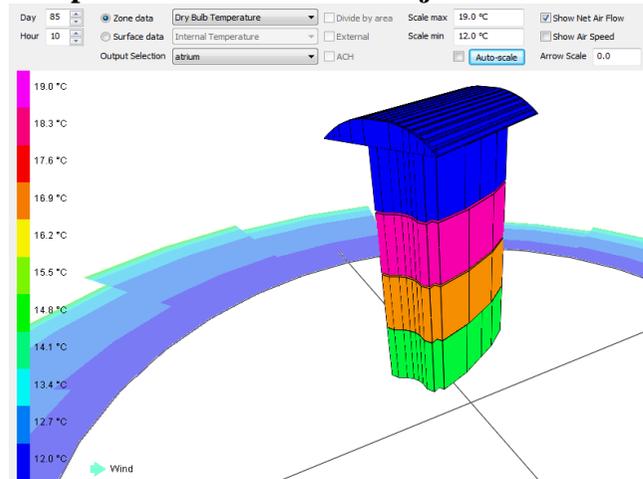


Figure D.2. Comportement d'atrium de la journée 26 mars 2016 avec ouverture du toit à 100% de 07 à 19 heures. (Source: Auteur, 2016)

Comportement d'atrium de la journée 19 Juillet 2016 avec toit fermé

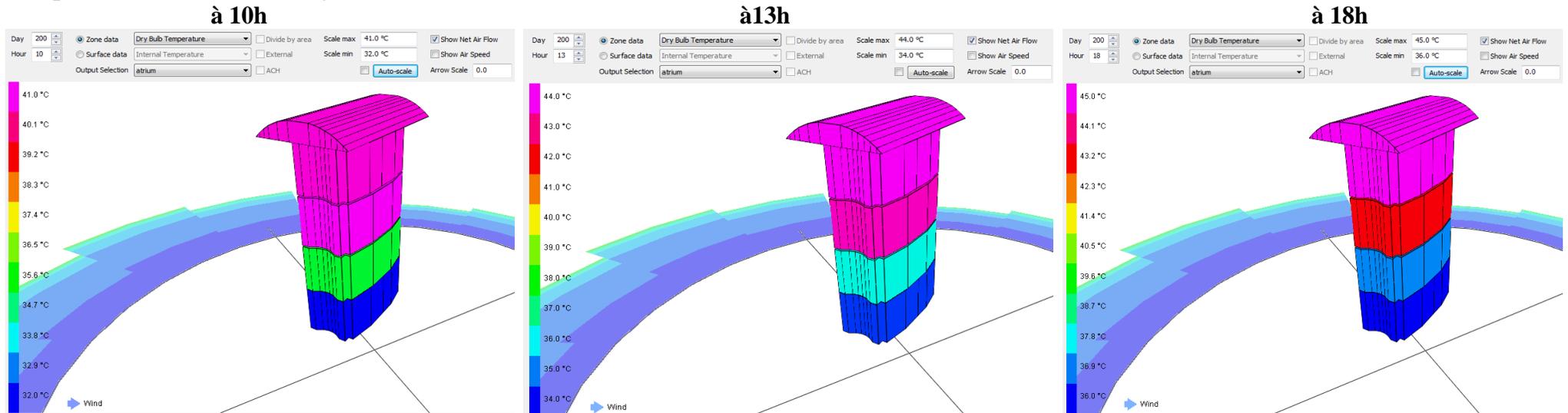


Figure D.3. Comportement d'atrium de la journée 19 Juillet 2016 avec toit fermé .(Source: Auteur,2016)

Comportement d'atrium de la journée 19 Juillet 2016 ouverture du toit à 100% de 7h à11h et de 16h à19h

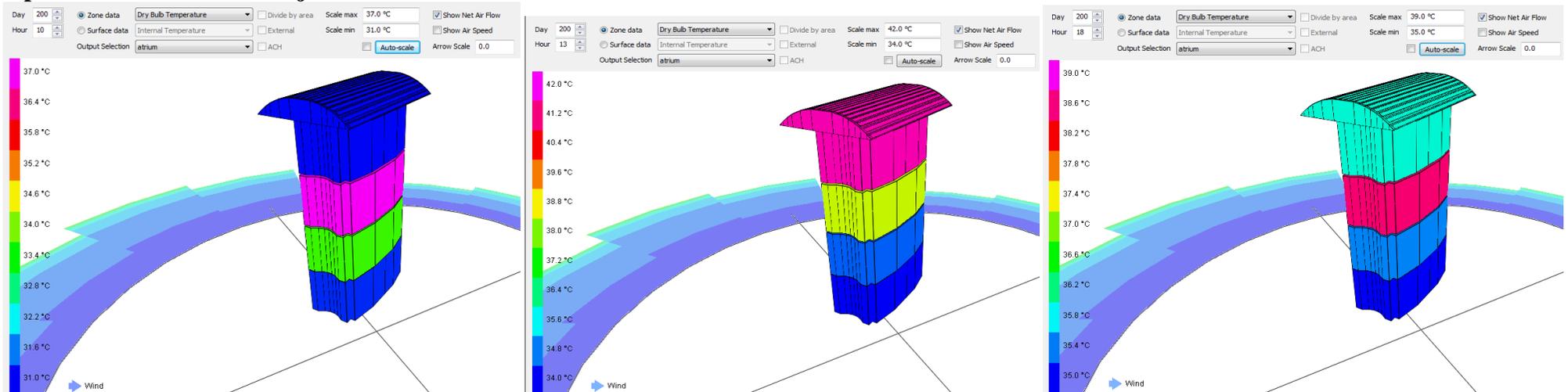
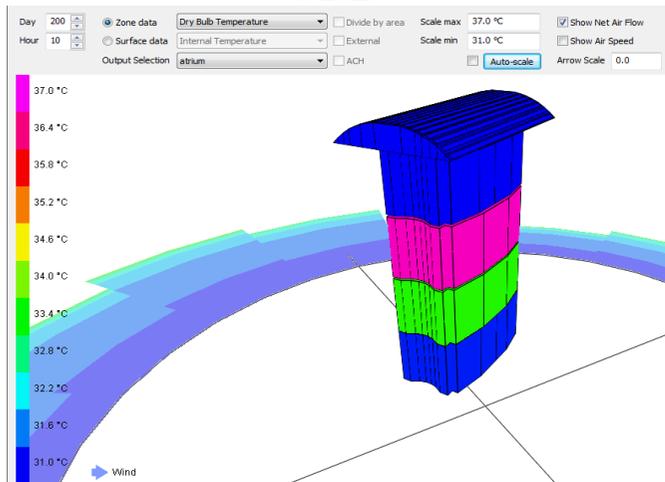
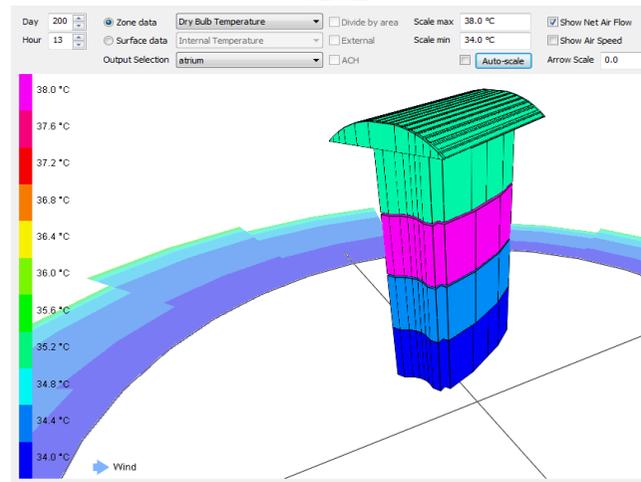


Figure D.4. Comportement d'atrium de la journée 19 Juillet 2016 ouverture du toit à 100% de 7h à11h et de 16h à19h .(Source: Auteur,2016)

Comportement d'atrium de la journée 19 Juillet 2016 ouverture du toit à 100% de 7h à 19h à 10h



à 13h



à 18h

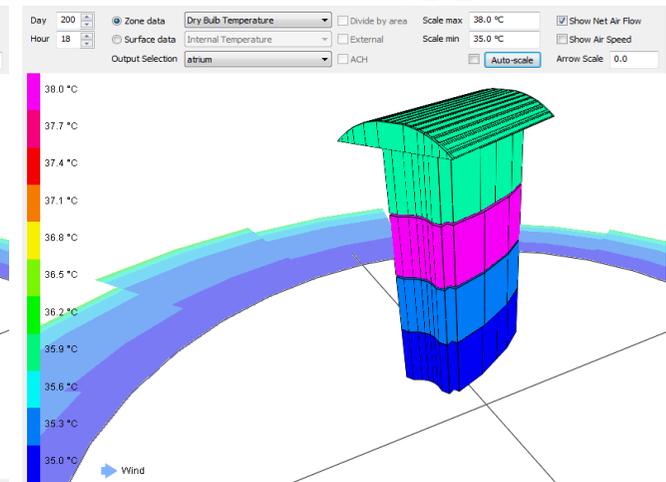


Figure D.5. Comportement d'atrium de la journée 19 Juillet 2016 ouverture du toit à 100% de 7h à 19h. (Source: Auteur, 2016)

Comportement d'atrium de la journée 19 Juillet 2016 ouverture du toit à 100% avec ventilation transversale (NO-SE) de 7h à 19h

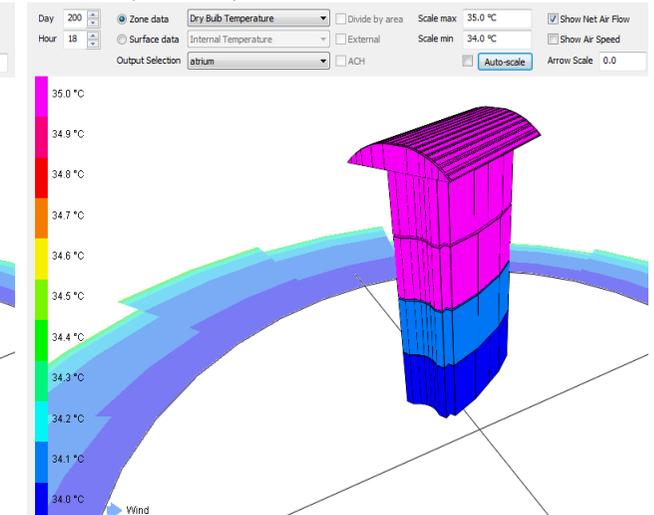
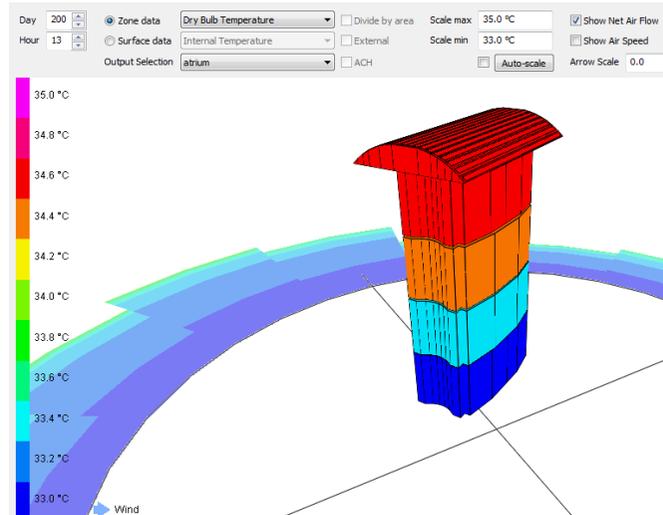
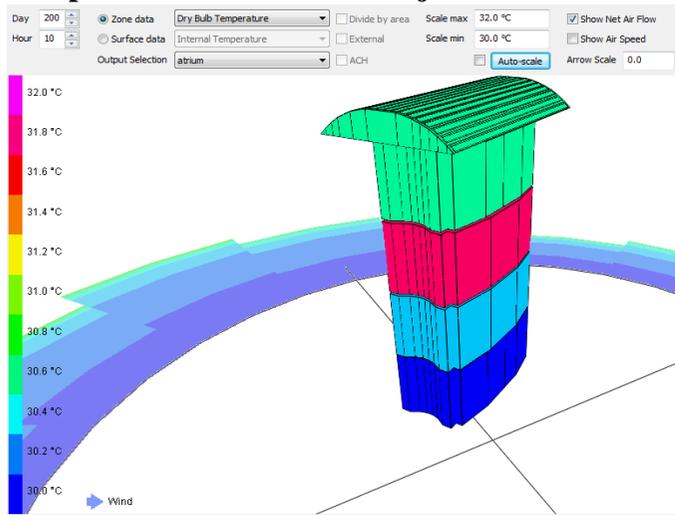


Figure D.6. Comportement d'atrium de la journée 19 Juillet 2016 ouverture du toit à 100% avec ventilation transversale (NO-SE) de 7h à 19h. (Source: Auteur, 2016)