

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Architecture
Ref :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المعمارية
المرجع:

Mémoire présenté en vue de l'obtention
Du diplôme de
Magister en : Architecture

Option : Ville et Architecture au Sahara

Intitulé
**L'impact de la configuration de l'atrium sur le confort
thermique et respiratoire dans les zones à climat
chaud et aride**
(Cas de la ville de Laghouat)

Présenté par :

M^{elle} Boussebci Khalida

Soutenu publiquement le 30/01/2019

Devant le jury composé de :

Dr. Bada Yacine
Pr. Bencheikh Hamida
Dr. Belkacem Belhadj

Maitre de Conférences 'A'
Professeur
Maitre de Conférences 'A'

Président
Rapporteur
Examineur

Université de Biskra
Université de Laghouat
Université de Laghouat

Je dédie mon modeste travail Aux...

Personnes chères à mon cœur

.....Mes chers parents

.....Mon frère

.....Mes sœurs

...Mes nièces et mon neveu

Remerciement

Au début de ce mémoire, je tiens à remercier d'abord DIEU le tout puissant qui m'a procuré par sa bénédiction, la santé, le courage et la puissance.

Je tiens à remercier sincèrement Monsieur BENCHEIKH HAMIDA, qui en tant qu'encadreur de mémoire, s'est toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'il a bien voulu me consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Je souhaite adresser mes remerciements aux personnes qui m'ont apporté leur aide et précieux conseils spécialement aux enseignants, Mr Laroui Mohamed, Mr Ben Arfa Kamal, Mr Dehina Karim, Mr Chatti Ahmed. Ma profonde reconnaissance va aussi à Mr Sabkhaoui Tayeb, le secrétaire générale de la faculté des sciences sociales et humaines pour son accueil et aide précieuse, facilitant ainsi le déroulement de la campagne de mesure. Comme je remercie vivement mon cher frère Mohamed Naceur pour son aide et sa patience lors des déroulements des mesures. Sans oublier de remercier Mr Nadji Yacine et sa chère mère Mme Amrya Nadji pour leur aide, en facilitant l'achat du logiciel. À Mr Sabek Mohamed pour ses précieux conseils et aide. Egalement un précieux remerciement à Manel Khoudja et sa famille pour leur aide et chaleureux accueil. Je remercie également le personnel du service météorologique de la station météo de Laghouat et à leur tête le directeur Mr Harrath .

Mes remerciements s'adressent également à mes professeurs de post graduation pour leur don pendant mon année théorique. À tous le personnel du LACOMOFA, Mr Dakhia, les enseignants département d'architecture de Biskra et de Laghouat.

Je teins tout particulièrement à exprimer mes sincères remerciements à mes chères parents pour leurs présence et soutient morale, à mes sœurs, mon frère, mes nièces, et mon neveu.

Enfin, j'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches, amis, et mes collègues de la post graduation qui m'ont toujours soutenu et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire, et à tous qui m'ont aidé sans même m'avoir connu.

Résumé

L'atrium étant un espace intérieur ouvert pouvant éventuellement être lié à l'environnement extérieur, il devient de plus en plus populaire, ainsi qu'un élément clé dans la conception architecturale de nombreux bâtiments, en raison aussi de leurs caractéristiques esthétiques attrayantes et symboliques pour le public, comme il constitue un filtre contre les phénomènes environnementaux extérieurs indésirables tels que la pluie, la neige et le vent. Un atrium bien conçu peut contribuer à avoir un effet significatif sur l'environnement intérieur, en affectant le confort des occupants. Cependant dans certaines régions à climat chaud et aride tel que la ville de Laghouat, caractérisé par un été très chaud et sec, et un hiver très froid, ces espaces d'atrium entièrement fermés avec leurs diversités typologiques et architecturales non étudiées, et en l'absence d'un bon renouvellement de l'air intérieur, peuvent provoquer un inconfort thermique et respiratoire considérable aux occupants de l'espace, et une stratification thermique à l'intérieur, notamment en été.

L'objectif dans cette recherche est d'étudier l'impact de la configuration de l'atrium sur l'environnement thermique intérieur, pour les deux périodes estivale et hivernale, et de prévoir un renouvellement d'air suffisant au sein de l'atrium afin d'assurer une bonne qualité de l'air, et un confort respiratoire aux occupants. De ce fait, un bâtiment à atrium central rectangulaire, entièrement fermé, et non ventilé, est examiné avec ses espaces adjacents, en combinant les mesures sur terrain et la simulation numérique et dynamique (CFD) pour les distributions des températures intérieures. Par la suite, une série de simulations et modélisations est effectuée à l'aide du logiciel de simulation Edsl Tas afin d'étudier deux facteurs géométriques qui semblent avoir un impact considérable sur le confort thermique intérieur, à savoir : le rapport Hauteur/ Largeur (Indice SAR) et le ratio de couverture vitrée. Donc de différentes configurations géométriques à différents SAR et ratios sont examinées en cherchant leur impact sur le confort thermique et la stratification de l'air en été et en hiver, afin de chercher une configuration optimale pour l'atrium étudié.

Et dans le but d'assurer une bonne qualité d'air et un confort respiratoire aux occupants, d'autres simulations ont été menées en examinant l'impact du renouvellement d'air sur la qualité de l'air à l'intérieur de l'atrium. Toutes ces simulations ont mené à la confirmation ou l'infirmité des hypothèses de cette recherche

Mots clés : Atrium, configuration de l'atrium, confort thermique, confort respiratoire, renouvellement de l'air, stratification de l'air, Indice SAR, ratio de la couverture vitrée, climat chaud et aride.

Abstract

Since the atrium is an open interior space that may be linked to the external environment, it is becoming more and more popular and a key element in the architectural design of the many buildings, due also to their attractive and symbolic aesthetic characteristics for the public. . As it is a filter against unwanted external environmental phenomena such as rain, snow and wind. A well-designed atrium can contribute to a significant effect on the indoor environment, affecting the comfort of the occupants. However, in certain hot and arid regions such as the city of Laghouat, characterized by a very hot and dry summer, and a very cold winter, these fully enclosed atrium spaces with their untouched typological and architectural diversity, and in lack of a good renewal of the indoor air, they can cause considerable thermal and respiratory discomfort to the occupants of space, and thermal stratification inside, especially in summer.

The objective in our research is to study the impact of the configuration of the atrium on the internal thermal environment, for the two summers and winter periods, and to provide a sufficient air renewal within the atrium to ensure good air quality, and respiratory comfort to the occupants. As a result, a rectangular, fully enclosed, unventilated central atrium building is examined with its adjacent spaces, combining field measurements with numerical and dynamic simulation (CFD) for indoor temperature distributions. Subsequently, a series of simulations and modelizations is carried out using the Edsl TAS simulation software in order to study two geometric factors that seem to have a considerable impact on the interior thermal comfort, namely: the height / width ratio (SAR Indice) and the glazed coverage ratio. So different geometric configurations, different SAR and ratios are examined by seeking their impact on thermal comfort and stratification of the air in summer and winter, and seek to have an optimal configuration.

And in order to ensure good air quality and breathing comfort to occupants, further simulations were conducted by examining the impact of air change on indoor air quality inside atrium. All these simulations led us to confirm or refute the hypotheses of our research.

Keywords: Atrium, configuration of atrium, thermal comfort, respiratory comfort, air renewal, air stratification, SAR indice, glazed roof ratio, hot and arid climate.

ملخص

بما أن الأتريوم " Atrium " هو مساحة داخلية مفتوحة قد تكون مرتبطة بالبيئة الخارجية ، فقد أصبحت أكثر شعبية في التصميم المعماري للعديد من المباني ، بسبب خصائصها الجمالية والرمزية للعامّة. كما يعتبر عازلا للظواهر البيئية الخارجية غير المرغوب فيها مثل المطر والثلج والرياح. يمكن للأتريوم المصمم بشكل جيد أن يكون له تأثير كبير على البيئة الداخلية، مما يؤثر على راحة مستعملي المكان. ومع ذلك ، في بعض المناطق الحارة والجافة مثل مدينة الأغواط ، التي تتميز بفصل صيف حار وجاف للغاية ، وشتاء شديد البرودة ، فإن هذه المساحات المغلقة تماما مع تنوعها البيئي والتنوع المعماري ، وفي عدم وجود تجديد جيد للهواء ، يمكن أن تسبب الكثير من عدم الراحة الحرارية و التنفسية لشاغلي الفضاء ، والتقسيم الطبقي الحراري للهواء الداخلي، وخاصة في فصل الصيف.

الهدف من بحثنا هو دراسة تأثير شكل الأتريوم على البيئة الحرارية الداخلية ، لفترتي الصيف والشتاء ، وتوفير ما يكفي من تجديد الهواء داخل الأتريوم لضمان جودة الهواء ، والراحة التنفسية لشاغلي المكان. ونتيجة لذلك ، تم فحص مبنى أتريوم مركزي مستطيل مغلق بالكامل بدون فتحات تهوية، مع الفضاءات المحيطة به ، حيث يجمع بين القياسات الميدانية و العديد من المحاكاة الدينامية (CFD) لتوزيع درجات الحرارة داخل المبنى. بعد ذلك، يتم تنفيذ سلسلة من عمليات المحاكاة و التصميمات باستخدام برنامج المحاكاة EdsI TAS من أجل دراسة عاملين من العوامل الهندسية التي يبدو أن لها تأثير كبير على الراحة الحرارية الداخلية، وهي: نسبة الارتفاع / العرض (SAR) ونسبة التغطية الزجاجية. يتم فحص أشكال هندسية مختلفة SAR بنسب مختلفة من خلال البحث عن تأثيرها على الراحة الحرارية والتقسيم الطبقي الحراري في الصيف والشتاء، والسعي إلى الحصول على الشكل الأمثل.

ومن أجل ضمان جودة الهواء الجيدة وراحة شاغلي الأتريوم، أجريت المزيد من المحاكات من خلال دراسة تأثير تغير تجديد الهواء على جودة الهواء الداخلي للأتريوم . كل هذه المحاكاة قادتنا إلى تأكيد أو نفي فرضيات بحثنا.

الكلمات المفتاحية: الأتريوم، شكل الأتريوم، الراحة الحرارية، راحة الجهاز التنفسي، تجديد الهواء، التقسيم

الطبقي الحراري للهواء، المعامل SAR، نسبة السطح المزجج ، المناخ الحار والجاف

Sommaire

Sommaire	I
Liste des figures	V
Liste des Tableaux	XI

Introduction générale:

1. Introduction..	1
2. Problématique	2
3. Hypothèses	3
4. Objectifs	3
5. Méthodologie de la recherche	3
6. Structure de mémoire	4

Chapitre I : Atrium, typologies et concepts

Introduction	6
I.1 Evolution de l'espace atrium à travers l'histoire	7
I.1.1 Origine de l'atrium classique	7
I.1.2 Evolution de la forme classique et les premiers signes de l'atrium moderne	9
I.1.3 Identification de l'Atrium d'aujourd'hui	11
I.2 Typologies des atriums	13
I.2.1 Types Hasting	13
I.2.2 Types Saxon	14
I.2.3 Types classés selon les paramètres dimensionnels.....	15
I.2.4 Types classés selon la disposition spatiale	17
I.3 Concepts alternatifs des conceptions de l'atrium	17
I.4 Effet de la configuration d'atrium dans l'environnement thermique interieur.....	18
I.5 Les aspects environnementaux de l'atrium	18
I.5.1 Le contrôle lumineux	19
I.5.2 Le contrôle thermique	20
I.5.3 Le Control de ventilation et de mouvement de l'air	20
I.5.4 Le Control énergétique	20
I.6 Les aspects architecturaux de l'atrium:.....	21
I.6.1 Un connecteur urbain	21

I.6.2 Élément symbolique et d'esthétique	22
I.6.3 Un centre culturel et social	23
I.6.4 Élément conservateur et renovateur	23
Conclusion.....	24

Chapitre II : l'espace atrium entre confort thermique et respiratoire

Introduction	25
II.1 Les différentes conceptions thermiques d'atrium	25
II.1.1 Atrium réchauffant (Warming atrium)	25
II.1.2 Atrium rafraichissant (cooling atrium)	26
II.1.3 Atrium convertible	26
II.2 Les types d'échange thermique dans l'atrium :	27
II.2.1 les échanges radiatifs	27
II.2.2 les échanges convectifs	31
II.2.3 Les échanges par conduction	33
II.3 La stratification de la température d'air	34
II.3.1 Différentes distributions de la température dans l'atrium	35
II.3.2 Conditions de la stratification de la température d'air	37
II.3.3 L'impact de la configuration géométrique d'atrium sur la stratification thermique	38
II.3.4 l'impact de l'orientation.....	44
II.3.5 l'impact de l'organisation interne	45
II.3.6 l'impact de la surface vitrée	47
II.3.7 Impact de la ventilation naturelle sur la stratification thermique	47
II.3.8 Impact de la ventilation nocturne	49
II.4 La ventilation et le confort respiratoire	51
II.4.1 La notion du confort respiratoire	51

II.4.2 Sources des polluants de l'air intérieur :.....	51
II.4.3 Symptômes de santé liée à la qualité de l'air intérieur	52
II.4.4 La nécessité d'aération et de ventilation dans les bâtiments publics.....	52
II.4.5 Stratégies de ventilation pour la qualité d'air intérieur dans les atriums:.....	53
II.4.6 Taux de ventilation recommandée:	55
II.4.7 Standards	57
Conclusion	58

Chapitre III: Etat de l'art

Introduction	59
III.1 Etudes paramétriques	59
III.2 Etudes sur la qualité de l'air	59
Conclusion	75

Chapitre I.V : Investigation et interprétations des résultats :

Introduction	76
IV.1 Présentation générale de la ville de Laghouat	76
IV.1.1 Situation géographique	76
IV.1.2 Conditions climatiques	77
IV.2 Analyse des éléments climatiques	77
IV.3 Description du cas d'étude	81
IV.4 Classification typologique de l'Atrium	84
IV.5 Protocole et déroulement de la campagne des mesures	85
IV.5.1 Facteurs climatiques mesurés:	85
IV.5.2 Appareillage	85
IV.5.3 Méthodologie et conditions de déroulement de la campagne des mesures:	86
IV.6 Résultats et discussion	88
IV.6.1 Période estivale	88
IV.6.2 Synthèse de la campagne de mesure estivale:.....	94

IV.6.3 Période hivernale:	95
IV.6.4 Synthèse de la campagne de mesure hivernale:	99
Conclusion	100

Chapitre V : Simulation numérique

Introduction	101
V.1 Présentation de l'outil de simulation:	101
V.1.1 Choix d'outil de simulation :	101
V.1.2 Mise en fonction du logiciel :	102
V.2 Procédure et déroulement de la simulation :	103
V.3 Développement du model Tas :	104
V.4 Paramètres du calcul numérique (les inputs):	105
V.4.1 Fichier climatique :	105
V.4.2 Calendrier :	106
V.4.3 Eléments du bâtiment et constructions :	106
V.4.4 Conditions internes:	107
V.4.5 Scénarios d'occupation:	108
V.4.6 Type d'Aperture :	108
V.5 Résultats de simulation et analyse des données:	109
V.5.1 Validation des résultats :	109
V.5.2 Simulation du cas d'étude et modélisation dynamique:	110
V.6 Simulation et Analyse paramétrique pour le confort thermique intérieur:	115
V.6.1 Premier Scénario : Impact de la Hauteur (Indice SAR):	115
V.6.2 Deuxième Scénario : Impact du ratio (Surface couverture/surface atrium):	130
V.6.3 Troisième Scénario : Impact de la ventilation	136
Conclusion	139
Conclusion générale et perspectives	141

Bibliographie

Annexes :

- Annexe I
- Annexe II
- Annexe III

Liste des figures

Chapitre I : : Atrium, typologies et concepts

Figure I.1 : plan et coupe d'une maison de Ur, Mésopotamien	7
Figure I.2 : plan d'une ancienne maison Grecque(2: un atrium)	8
Figure I.3 : Maison romaine à atrium parmi les ruines de Pompéi	9
Figure I.4: Le bâtiment de Pension, à Washington,1887.....	9
Figure I.5: Une vue intérieure de l'atrium de Palazzo Cancellaria à Rome	10
Figure I.6: L'atrium à l'Hôtel Hyatt Regency Atlanta, en Géorgie.....	11
Figure I.7: (a)Vue en coupe du bâtiment Mountain Equipment Co-op à Montréal	12
Figure I.8: Différents types et configurations d'atrium	14
Figure I.9 Types complexes d'atrium selon la classification de Saxon	14
Figure I.10 ((a),(b),(c),(d)): Types d'atrium selon la classification de Yashino.....	15
Figure I.11: Types d'atrium basés sur le rapport spatial aux espaces adjacents	16
Figure I.12 : Autre classification d'atrium basée sur la disposition spatiale ;(a) un atrium lisse, (b) un atrium alvéolaire	17
Figure I.13 :Approche de la conception pour la construction à atrium et l'évolution des influences	17
Figure I.14: Les avantages environnementaux d'un atrium (Baker et Steemers 2005).....	19
Figure I.15: Vue intérieure de l'atrium du bâtiment Bullring à Birmingham par l'architecte Benoy Chapman Taylor	22
Figure I.16: Vue intérieure de l'atrium de la Tour Deutsche Post AG Bonn, en Allemagne par Murphy & Jahn, 2002, exprimant la transparence et la durabilité.....	23

Chapitre II : l'espace atrium entre confort thermique et respiratoire

Figure II.1 : L'atrium convertible ; a) un dispositif passif, un rideau aveugle isolé à partir du sommet de l'atrium. En hiver, il se substitue à double vitrage et agit comme un réflecteur solaire ; b) en été, il est déplacé vers le côté solaire et exclut le soleil direct.....	26
Figure II.2: distribution des flux solaires sur les parois internes de l'atrium	29
Figure II.3 : géométrie des facteurs de forme entre deux éléments de surfaces élémentaires.....	30
Figure II.4 : Pression de tirage induite entre deux ouvertures verticalement placées.....	32

Figure II.5 : Les conditions limites de la stratification.....	35
Figure II.6 : Profils verticaux typiques de température.....	36
Figure II.7 : Effet du rapport géométrique du bâtiment sur la stratification thermique.....	38
Figure II.8: a)Gradients verticaux montrant l'effet de la variation de la hauteur pour une largeur constante de l'atrium sur la stratification thermique ; b) variation des températures en fonction de la hauteur.....	39
Figure II. 9: configurations des atriums étudiées par Yoshino pour la stratification thermique.....	40
Figure II.10:Gradients verticaux des températures d'air pendant l'été.....	41
Figure II. 11 : gradients verticaux des températures d'air pendant l'hiver	42
Figure II.12: à gauche, la comparaison des gradients thermiques en fonction de la température extérieure et du rayonnement solaire. A droite, les pénétrations solaires dans les deux atriums	43
Figure II.13: Gradients thermiques verticaux dans les deux atriums	44
Figure II.14: à gauche, gradients thermiques verticaux pour les trois atriums en fonction du pourcentage d'ouverture. A droite, taux de renouvellement d'air pour deux vitrages différents	48
Figure II.15 : Température de l'air extérieur et intérieur de la zone 0 pour 7-22 Juin avec les stratégies de ventilation de nuit différente	50
Figure II.16 : Température de l'air extérieure et intérieure des zones thermiques d'atrium par ventilation automatisée de nuit (le 18 juillet Le 31 juillet).....	50
Figure II.17 stratégie passive favorisant la ventilation naturelle dans l'espace atrium.....	54
 Chapitre III : Etat de l'art :	
Figure III.1 schéma sur le modèle de l'atrium simulé.....	60
Figure III.2 Evolution de la température dans les différentes zones de l'atrium pour 4 et 20vol / h et l'indice de confort est représenté par lc pour les différentes zones de l'atrium	61
Figure III.3 la température de l'air intérieur à 1,5 m au-dessus du niveau du sol pour différentes configurations	62

Figure III.4 Les gains d'énergie solaire journaliers et la température intérieure maximale sous différents angles de toit	62
Figure III.5 les différents changements de configuration de l'espace atrium étudié	65
Figure III.6 Résultats des simulations CFD montrant les contours de température sur le plan centrale de l'immeuble parallèlement à la vitre de la façade pour tous les cas étudiés	66
Figure III.7 Température extérieure et intérieure pour les différentes zones d'atrium du cas de base en deux semaines les plus chaudes (18 Juillet-31juillet).....	67
Figure III.8 Température extérieure et intérieure pour les différentes zones d'atrium du cas de base en période estivale (Juin-Juillet-Aout).....	68
Figure III.9 Température extérieure et intérieure pour les différentes zones d'atrium du cas de base en deux semaines les plus chaudes (7 Janvier-21juillet).....	68
Figure III.10 Température extérieure et intérieure pour les différentes zones d'atrium du cas de base en période hivernale (Sep-Mai).....	69
Figure III.11 Les trois conditions de simulation du modèle de protection interne pour les six configurations testés	70
Figure III.12 Comparaison de la température résultante prédite dans l'atrium du rez-de-chaussée pour les trois modèles.....	71
Figure III.13 Analyse du SAR pour chaque cas d'atrium	72
Figure III.14 Résultats de la modélisation CFD des trois cas des configurations des atriums testés	73

Chapitre I.V : Investigation et interprétations des résultats :

Figure IV.1 : Situation géographique de la ville de Laghouat.....	76
Figure IV.2 : Evolution des températures moyennes mensuelles durant la période 2006-2015.....	78
Figure IV.3:Evolution des moyennes mensuelles de l'humidité relative durant la période2006-2015.....	78
Figure IV.4: variations des moyennes mensuelles des précipitations durant la période 2006-2015.....	79

Figure IV.5: Moyennes mensuelles d'insolation durant la période 2006-2015	80
Figure IV.6: Situation du cas d'étude.....	81
Figure IV.7: Différentes vues sur le cas d'étude	82
Figure IV.8: Différents plans d'architecture du Bâtiment.....	83
Figure IV.9: Classification de la typologie de l'atrium du cas d'étude.....	84
Figure IV.10 : les différents instruments de mesure utilisés lors de l'investigation	86
Figure IV.11 : les principales caractéristiques des points des mesures.....	87
Figure IV.12: Profils d'évolution journalière des Températures de l'air dans les différents niveaux de l'espace Atrium pour la période estivale.....	88
Figure IV.13: Distribution verticale de la température de l'air dans le centre d'atrium en période estivale	90
Figure IV.14: Profils d'évolutions des températures de l'air de l'espace atrium par rapport à la zone du confort pour la période estivale	91
IV.15 : les différents graphes des températures de l'air mesurées dans les espaces adjacents et les coursives pendant la période estivale	93
Figure IV.16: Profils d'évolution journalière des Températures de l'air dans l'espace d'atrium pour la période hivernale	95
Figure IV.17: Distribution verticale de la température de l'air dans le centre d'atrium en période hivernale.....	96
IV.18 les différents graphes des températures de l'air mesurées dans les espaces adjacents et les coursives pendant la période hivernale.....	98
 Chapitre V : Simulation numérique	
Figure V.1 : Mis en fonctionnement du logiciel.....	103
Figure V.2 : Schéma explicatif des procédures et fonctionnement de la simulation par Tas..	103
Figure V.3 :Le model géométrique du cas d'étude avec les différentes zones créées par Tas 3D Modeller	104
Figure V.4: Fichier climatique, relative aux jours d'investigation et de Pré-conditionnement	105
Figure V.5 : Le calendrier utilisé définissant les différents types des jours de l'année	106
Figure V.6 : Eléments du bâtiment, affectés aux éléments constructifs	107
Figure V.7 : Conditions internes appliquées aux différentes zones	107

Figure V.8 : Scénarios d’occupation et de ventilation horaire utilisés	108
Figure V.9 : Type d’ouverture pour la ventilation naturelle	108
Figure V.10 (a ,b) : Comparaison entre l’évolution des températures intérieures de l’atrium mesurées et simulées pour les deux périodes estivale et hivernale	109
Figure V.11 (a,b) : Evolution des températures de l’air intérieur, simulées dans l’espace atrium pour les deux périodes ; estivale, et hivernale.	110
Figure V.12 (a,b,c,d,e,f) : Résultats des stratifications de l’air, et des champs des températures obtenus dans l’atrium par simulation pour la période estivale.....	112
Figure V.13 (A,B,C,a,b,c) : Résultats des stratifications de l’air, et des champs des températures obtenus dans l’atrium par simulation pour la période hivernale.....	113
Figure V.14: Les trois cas des configurations modélisés par Tas, testés pour le premier scénario	116
Figure V.15 : Comparaison entre les températures intérieures moyennes calculées dans les trois atriums testés	117
Figure V.16 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du RDC dans les trois atriums testés pour la période estivale	118
Figure V.17 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du premier étage dans le Moyen et le Haut atrium testés pour la période estivale	118
Figure V.18 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du deuxième étage dans le Moyen et Haut atrium testés pour la période estivale	119
Figure V.19 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du Toit dans les trois atriums testés pour la période estivale	119
Figure V.20 : Comparaison des stratifications de l’air et les champs des températures obtenus, entre les trois cas d’atriums testés pendant les trois heures critiques de la période estivale	120
Figure V.21 : Comparaison entre les températures intérieures moyennes calculées dans les trois atriums testés pour la période hivernale	124
Figure V.22 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du RDC dans les trois atriums testés pour la période hivernale	124
Figure V.23 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du premier étage Dans le Moyen et le Haut atrium testés pour la période hivernale	125
Figure V.24 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du Deuxième étage Dans le Moyen et le Haut atrium testés pour la période hivernale	125

Figure V.25 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du Deuxième étage dans les trois cas d'atrium testés pour la période hivernale126

Figure V.26 : Comparaison des stratifications de l'air et les champs des températures obtenus, entre les trois cas d'atriums testés pendant les trois heures critiques de la période hivernale...127

Figure V.27(a),(b): comparaison d'évolution des températures intérieures de l'air dans le Cour Atrium entre les trois ratios testés pour la période estivale.....130

FigureV.28.a),b),c),d): Comparaison d'évolution des températures intérieures de l'air entre les trois ratios testés dans le cas du Moyen Atrium dans les différents niveaux pour la période estivale131

FigureV.29 a),b),c),d): Comparaison d'évolution des températures intérieures de l'air entre les trois ratios testés dans le cas du Haut Atrium dans les différents niveaux pour la période estivale132

FigureV.30(a),(b): Comparaison d'évolution des températures intérieures de l'air entre les trois ratios testés dans le cas du Court Atrium pour la période hivernale133

FigureV.31 a),b),c),d): Comparaison d'évolution des températures intérieures de l'air entre les trois ratios testés dans le cas du Moyen Atrium dans les différents niveaux pour la période hivernale134

FigureV.32 a),b),c),d): Comparaison d'évolution des températures intérieures de l'air entre les trois ratios testés dans le cas du Haut Atrium dans les différents niveaux pour la période hivernale135

Figure V.33 Concentration de niveau de polluant (Co2) à l'intérieur d'espace d'atrium136

Figure V.34 Concentration de niveau de polluant (Co2) à l'intérieur d'espace d'atrium ventilé par tirage thermique137

Figure V.35 Concentration de niveau de polluant (Co2) à l'intérieur d'espace d'atrium ventilé mécaniquement138

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1: Types d'atriums classés selon les rapports dimensionnels.....16

Chapitre II :

Tableau II. 1 : Comparaison entre les gradients verticaux des trois atriums étudiés45

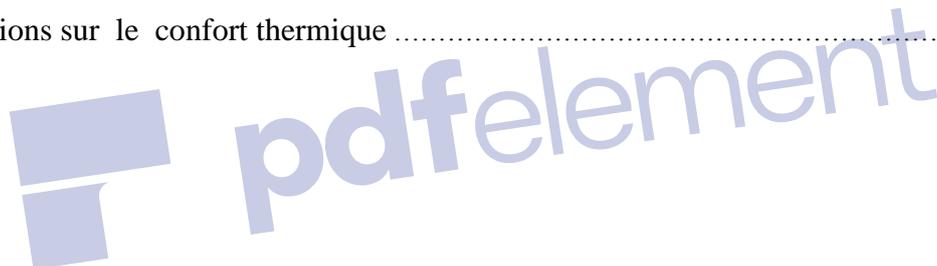
Tableau II.2 : Principales sources de pollution intérieure, et polluants émis par celle-ci52

Tableau II.3 : Taux de ventilation minimum recommandés pour certains espaces selon les normes ASHREA 201056

Tableau II.4 : Catégories et niveaux recommandables de qualité d'air intérieur selon la concentration de CO₂57

Chapitre III :

Tableau III.1 : Tableau explicatif montrant les résultats de l'impact des différentes configurations sur le confort thermique61



Introduction Générale :

Problématique, Hypothèses.....

Objectifs, et Méthodologie de Recherche



Introduction :

L'exigence de base pour un bâtiment est de fournir un abri contre l'environnement et les intempéries. Un bâtiment est constitué d'une forme de base contenant, des murs, des ouvertures et un toit, y compris des portes pour permettre l'accès des occupants, et les fenêtres pour permettre l'accès par des éléments environnementaux tels que la lumière et l'air. Bien que les bâtiments ne sont pas seulement des structures, ils abritent des occupants qui doivent être à l'aise et en bonne santé dans l'environnement prévu. Le travailleur de bureau urbain moyen dans la société moderne passe moins d'une heure par jour à l'extérieur (Cooke 2000) [John Ashley, 2001] Cette conception de bâtiment moderne repose sur plusieurs paramètres pour obtenir un confort adéquat des occupants.

De ce fait, le confort des occupants d'un bâtiment est la raison pour laquelle la structure a été conçue à l'origine. Dans cette optique, parmi les solutions architecturales adoptées dans les bâtiments modernes, fut l'intégration de l'atrium, en particulier dans les régions à climat tempéré. Cette forme architecturale est généralement définie comme un grand espace largement vitré ouvert dans un bâtiment à plusieurs niveaux. Conçu comme étant un espace ouvert communiquant avec les espaces adjacents, il sert d'un lieu convivial, d'échange et de communication au sein du bâtiment, offrant ainsi plusieurs commodités design urbaines fonctionnelles et sociales entre les occupants. De même, il permet d'apporter l'agrément des conditions extérieures pour lui-même et pour les espaces qui l'entourent, tout en conservant les effets désirables tels que l'énergie solaire notamment en hiver, la lumière du jour, la qualité de l'air, la ventilation naturelle à l'intérieure...etc. Il s'agit d'un autre, d'un filtre contre les effets indésirables des facteurs extérieurs environnementaux tels que la pluie, la neige, les vents et les vents de sable.

Malgré cela, les grandes surfaces vitrées peuvent entraîner un gain excessif de chaleur solaire en été, et à la perte de chaleur et hiver, ainsi que la stratification de l'air, particulièrement en période estivale, ce qui peut affecter le confort des usagers du bâtiment ainsi que la performance énergétique.[Shafaqat Hussain, 2012]. Néanmoins, ce mode de construction commence à se propager dans les régions à basses latitudes caractérisées par un climat chaud et aride, tel que celui de la ville de Laghouat, où l'on trouve un bon nombre des nouvelles constructions comportant des atriums à différentes configurations, aspects architecturaux et hauteurs. Son introduction dans les bâtiments vient par l'intérêt que portent les architectes de concevoir et d'incorporer un élément esthétique dans le bâtiment, et le besoin d'un environnement intérieur attractif approprié pour l'eau et la végétation, ou même de se protéger

contre les environnements bruyants pollués, et pour fournir un volume tampon qui protège le reste des espaces occupés du bâtiment contre l'impact total des conditions climatiques extérieures. Tous ces éléments ont contribué à l'usage de cet élément architectural.

En dépit de ses avantages, et vu le climat rude qui caractérise la ville de Laghouat, la pénétration solaire est sensé à s'accroître à travers le toit et les surfaces vitrées de l'atrium, ce qui peut engendrer un gain excessif de chaleur solaire à l'intérieur (effet de serre), souvent accompagné de la stratification de l'air notamment en été, et à la perte de chaleur en hiver, en affectant le confort des usagers.

Toutefois, une bonne compréhension du modèle des atriiums pourrait améliorer le confort du bâtiment et même de servir de référence appropriée pour l'adaptation bioclimatique des constructions contemporaines dans les régions à climat chaud et aride, car à notre sens, pour que l'environnement climatique intérieur d'atrium soit maîtrisé, une bonne conception doit être faite par les architectes. Ces derniers portent souvent attention à l'esthétique de la forme au détriment d'autres paramètres dans la conception qui peuvent affecter l'environnement intérieur de l'atrium, tels que l'orientation ; propriétés de l'enveloppe ; les attributs des espaces adjacents ; la forme et type d'atrium ; la hauteur, ouverture et pourcentage de vitrage, protections solaires, taux de renouvellement de l'air, ventilation....etc. C'est pour cette raison que nous remarquons une diversité dans les configurations d'atrium construits dans ces régions sans aucune connaissance des conséquences qui peuvent être ajoutées aux problèmes liés à l'introduction de l'atrium dans les bâtiments.

En revanche, parmi toutes les études sur la performance énergétique du bâtiment et l'environnement intérieur de l'atrium, seules quelques tentatives ont porté sur les effets des caractéristiques géométriques de l'atrium, qui sont déterminés par les architectes tout au début des conceptions.[Wang Lan et al, 2017]. De ce fait, l'impact de la géométrie de l'atrium sur l'environnement thermique doit être étudié afin d'éviter l'inconfort des occupants.

Sur ce, la question clé qui sera abordée dans cette recherche est la suivante :

- **Quel sera le comportement thermique dans l'atrium et les espaces adjacents, sous notre climat chaud et aride ? Et quel sera l'impact des paramètres géométriques sur le confort thermique des usagers à l'intérieur de l'atrium ?**
- **Peut-on établir une optimisation basée sur la géométrie de l'atrium, pour un climat chaud et aride ?**

- **Compte tenu des exigences de ventilation et de qualité de l'air à l'intérieur des espaces d'atrium, dans quelle mesure, le renouvellement de l'air contribuera à la qualité de l'air et par conséquent au confort respiratoire des usagers ?**

Hypothèses:

A la lumière de ce qu'a été énoncé ci-dessus, une conception bien étudiée peut améliorer l'environnement intérieur de l'atrium sous un climat chaud et aride. De ce fait nous avons dégagé les hypothèses suivantes :

Il semble que :

- ✓ **L'atrium, comme espace intérieur avec ses variations géométriques, affecte le confort thermique des usagers sous un climat chaud et aride.**
- ✓ **Une optimisation basée sur des paramètres de conception géométrique, améliore le confort thermique intérieur.**
- ✓ **Un renouvellement de l'air suffisant à l'intérieur de l'espace de l'atrium, maintient un niveau de confort respiratoire pour les occupants en améliorant la qualité de l'air intérieur.**

Objectifs:

Il est évident que l'atrium comme élément architectural intégré dans le bâtiment est devenu une réalité. Dans une zone à climat chaud et aride, l'intégration d'un tel élément peut avoir des effets sur le confort thermique. L'objectif principal de la présente recherche vise à mesurer l'impact de certaines configurations géométriques de l'espace atrium sur le confort thermique intérieur des occupants, afin de voir l'effet des changements de la conception de l'atrium sur le comportement thermique, ainsi que, de proposer une configuration optimale basée sur les paramètres de conception les plus agissants sur l'amélioration du confort thermique des occupants à l'intérieur de l'atrium sous un climat chaud et sec. En outre, l'atrium peut assurer un confort respiratoire aux occupants de l'espace par un renouvellement d'air suffisant.

Méthodologie de la recherche :

Dans le but d'atteindre les objectifs assignés au préalable, et de vérifier les hypothèses émises, la méthodologie adoptée repose sur deux outils de recherche à savoir :

L'investigation : à travers les mesures in-situ et à l'aide d'instruments de mesure, elle se déroule autour de deux périodes représentatives de la saison, estivale et hivernale. Dans cette partie, nous examinons le comportement thermique de l'atrium du cas d'étude pour le climat considéré.

La simulation numérique : à l'aide d'un logiciel informatique, une série de vérifications numériques sera effectuée afin de vérifier le comportement thermique de l'atrium, suivi d'une validation des résultats d'investigation in-situ. Ce qui nous permet par la suite de trouver des propositions d'amélioration pour le cas d'étude, et d'examiner d'une manière plus simplifiée, l'effet du renouvellement de l'air sur l'abaissement du niveau des polluants émis à l'intérieur de l'atrium.

Structure du mémoire:

Selon la méthodologie exposée ci-dessus, notre recherche s'articule autour de deux volets principaux:

A. Partie théorique:

Dédiée aux repères théoriques, c'est une synthèse des connaissances issues d'une analyse bibliographique et documentaire. Elle se compose de l'introduction qui comprend la problématique, les hypothèses et les objectifs de la recherche ainsi que les trois premiers chapitres contenant les différents concepts tirés des références bibliographiques et des recherches précédentes sur lesquelles sera basé notre travail. Nous tenons à expliquer brièvement le contenu de chaque chapitre comme suit:

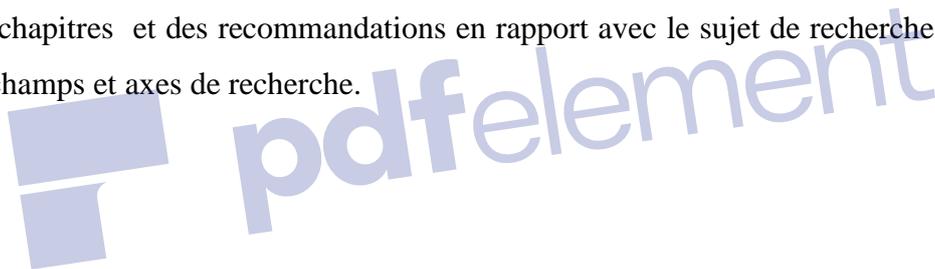
- **Chapitre I** : Consacrée à l'aspect architectural et historique de l'atrium, il présente les différentes caractéristiques typo- morphologiques et environnementaux des atriums, ainsi que les aspects fonctionnels et formels.
- **Chapitre II** : A pour objet de fournir un maximum d'informations concernant l'influence des différents paramètres géométriques et architecturaux sur l'environnement thermique intérieur des atriums, ainsi que les aspects liées aux mouvements d'air qui constitue un paramètre essentiel pour le confort respiratoire de l'occupant.
- **Chapitre III** : Présente un état de l'art (littérature review) sur des études et des recherches analytiques et expérimentales récentes réalisées par des chercheurs et spécialistes du domaine, et qui traite le sujet en question, en faisant appel à plusieurs paramètres relatifs à ce dispositif. Les résultats, nous tiendra lieu de référence pour accomplir les phases suivantes de notre travail de recherche.

B. Partie pratique :

C'est la Partie la plus importante du mémoire, elle se compose principalement de deux chapitres :

- **Chapitre IV :** dédié à la présentation du cas d'étude, en abordant une étude de l'environnement climatique et microclimatique de la ville de Laghouat, ainsi que de la méthodologie de travail d'investigation, et de l'analyse des résultats de la campagne de mesure qui sera basée sur deux campagnes de mesure pour les deux périodes, estivale et hivernale afin d'évaluer le confort thermique intérieur de l'atrium et ses espaces adjacents vis-à-vis des conditions climatiques extérieures et les paramètres physiques de l'espace de l'atrium.
- **Chapitre V:** Consacré à la simulation numérique par le logiciel Edsl Tas, afin d'analyser et valider les résultats d'investigation in-situ, et de proposer des solutions d'amélioration.

Enfin, la conclusion générale inclut à son tour les conclusions pertinentes recueillies lors des différents chapitres et des recommandations en rapport avec le sujet de recherche, en proposant quelques champs et axes de recherche.



Chapitre I :

Atrium, Concepts.....

Et Typologies.



Introduction :

Le phénomène des grands bâtiments à atrium est devenu une caractéristique commune à l'architecture moderne, Aujourd'hui ce genre d'espace fait appel beaucoup d'architectes dans leurs conceptions, non seulement pour des raisons d'innovation ou /et pour ses multiples avantages , mais aussi dans l'intérêt de revivre le passé étant donné que l'atrium est en lui-même une très vieille idée qui prend ses racines dans l'architecture romaine classique comme un grand espace d'entrée, une cour focale et un espace semi-public protégé, cependant l'atrium moderne d'aujourd'hui se distingue par son «intériorité», il ne reste plus ouvert vers l'extérieur, comme dans la maison romaine, mais conserve toujours une certaine manière de connexion extérieure (portes, fenêtres, puits de lumière) et avec de multiples configurations et typologies.

La diversification dans son développement a laissé un peu d'ambiguïté quant à sa définition, Par exemple, Le Dictionnaire « Penguin de l' Architecture » définit encore l'atrium tout simplement comme:

"Architecture domestique romaine, une cour intérieure à ciel ouvert et entouré par les parois"

Ou :

"Une première architecture chrétienne et médiévale, une cour ouverte devant une église, généralement un quadrilatère à colonnades"[Barry Smith Jr,2008].

En outre,NFPA 92B, la norme actuelle pour le contrôle de la fumée dans les grands espaces définit l'atrium comme un grand espace de volume créé par une ouverture de plancher ou d'une série d'ouvertures de plancher reliant deux ou plusieurs niveaux qui est couvert en haut de la série d'ouvertures et utilisés à des fins autres qu'un escalier fermé; ou tout autre service mécanique et utilitaire au bâtiment [Ayşe Miray Gemi, 2006].

Autrement dit, le concept de l'atrium moderne est une synthèse des trois. Il se compose de grands espaces ouverts à plusieurs étages avec une connexion visuelle et parfois directement à l'extérieur, tels que les fenêtres, les lucarnes et les portes. Et l'atrium moderne est un volume interne qui sert de lieu de destination spatiale, l'orientation et l'organisation du bâtiment. Néanmoins, l'atrium est un élément de design architectural changeant et évolutif. Comme la conception de l'atrium progresse à l'architecture contemporaine, ce terme est maintenant utilisé pour se référer à une utilisation, la forme et l'apparence variable pour englober une variété d'espaces. Une grande partie de l'ambiguïté et l'écart est le résultat de l'évolution au cours du temps. [Barry Smith Jr,2008]

A cet égard, et pour avoir une meilleure compréhension de développement de l'atrium il est important de s'attarder dans ce chapitre sur les points suivants :

- ✓ l'évolution et l'apparition de l'espace atrium à travers l'histoire en illustrant quelques périodes depuis l'antiquité jusqu'à la nouvelle connotation afin de comprendre ses origines et ses conditions d'émergence.
- ✓ les données analysées sur les caractéristiques physiques des atriums existants, et leurs configurations géométriques en classifiant l'ensemble des typologies d'atriums existants.
- ✓ Les différents aspects architecturaux et environnementaux caractérisant l'atrium, notamment sur le plan fonctionnel.

I.1 Evolution de l'espace atrium à travers l'histoire :

Le bâtiment de l'atrium comme un type spatial n'a pas vraiment émergé jusqu'au XIXe siècle. Cependant ses prédécesseurs historiques peuvent être trouvés dans l'architecture depuis le début de l'histoire.

I.1.1 Origine de l'atrium classique :

Notre seule fenêtre dans la plupart de l'architecture du passé est à travers l'exploration archéologique. Le premier exemple trouvé d'une maison de cour était à Ur sur le fleuve Euphrate en Mésopotamie, datant du troisième millénaire avant Jésus-Christ. Dans cette disposition toutes les chambres sont organisées autour d'une cour placée au centre, chaque chambre donnant sur elle. Ceci est le précurseur le plus ancien connu à l'atrium intérieur (Figure I.1).

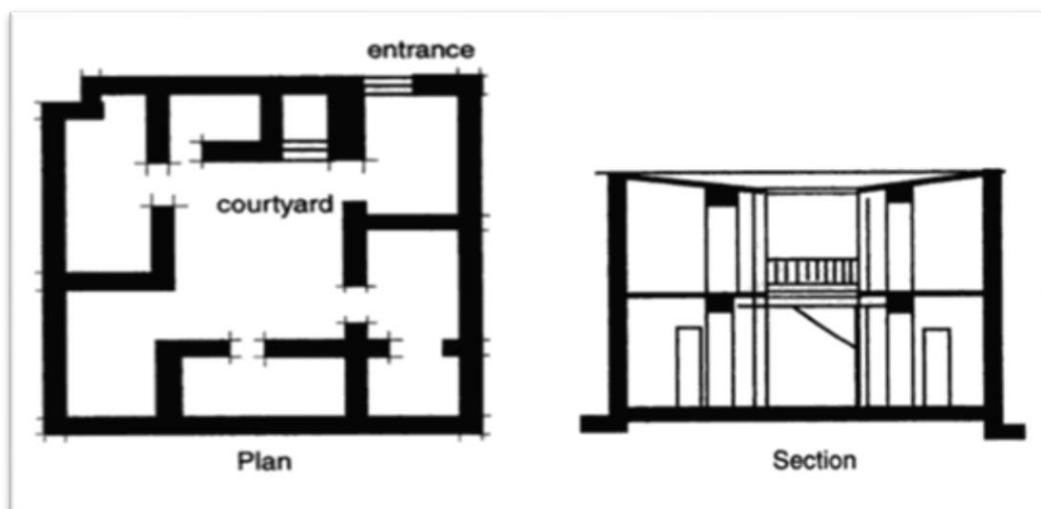


Figure I.1 : plan et coupe d'une maison de Ur, Mésopotamien

[Source : Hamdan, Rasdi, 2000].

Le prochain développement important est accrédité aux Grecs. Au cinquième siècle, ils ont commencé à agrandir et à développer la maison à cour. Ici, la cour était entourée de colonnes formant un péristyle. Voir la figure I.2 pour un plan de l'ancienne maison grecque. Le péristyle a formalisé la cour tout en formant une zone de circulation autour de la cour. Par conséquent, les pièces de la maison se rapportent à la cour d'une façon indirecte en raison de la circulation intervenante.



Figure I.2 : plan d'une ancienne maison Grecque (2: un atrium)

[Source :Barry Smith Jr,2008]

Le véritable concept classique du meilleur atrium vient des Romains, qui remonte au troisième siècle AV. [Barry Smith Jr,2008]. Il a été composé par un grand espace d'entrée, une cour focale et un espace semi-public protégé [W.Y.Hung and W.K.Chow , 2011], l'Atrium a servi non seulement comme un modificateur de climat, mais aussi comme un espace de socialisation des habitants du bâtiment. Dans les zones chaudes, les cours sont couramment utilisées pour remplir les deux fonctions [Leila Moosavi, et al, 2014].

Au début, le centre de l'atrium a tenu un foyer cuisinant, très probablement pour évacuer l'air de la cuisine et le feu de cuisson. Après le 2ème siècle av. J.-C, lorsque le foyer a été placé ailleurs, le centre de l'atrium a tenu un réservoir (impluvium) pour recevoir l'eau de pluie tombant à travers l'ouverture, pour le refroidissement, le lavage, ou autres usages domestiques. L'espace de l'atrium a été considéré avant tout comme un élément pragmatique, utilisé pour épouser, la lumière et l'eau de capture. Selon l'échelle et la disposition générale de la résidence, l'atrium est également souvent utilisé comme une salle de réception semi-publique pour recevoir les invités (Figure I.3)[Barry Smith Jr,2008]



Figure I.3 : Maison romaine à atrium parmi les ruines de Pompéi

[Source : Barry Smith Jr,2008]

I.1.2 Evolution de la forme classique et les premiers signes de l'atrium moderne:

L'espace atrium et la génération des bâtiments qui ont commencé au cours de la révolution industrielle avec la disponibilité du verre et les éléments de structure minces de fer et de l'acier. Le Crystal Palace de Joseph Paxton, où l'échelle de l'espace clos et l'utilisation novatrice des techniques de préfabrication a été une importante avancée sur les simples serres de l'époque, elle a été un catalyseur dans le développement de l'atrium clos en Europe et en Amérique du Nord. Bednar (1986) suggère que l'effondrement, soudain et spectaculaire de quelques structures en acier et de verre dans les incendies urbains en Europe a conduit à des atriums dans les États-Unis étant enveloppés d'une peau de maçonnerie conventionnelle. Un excellent exemple d'utilisation de l'atrium à la fin du XIXe siècle dans les États-Unis est le bâtiment de Pension, Washington par General Montgomery Meigs (Figure I.4)



Figure I.4: Le bâtiment de Pension, à Washington, 1887

[Source : WWW.SHENCIVILWAR.ORG WWW.PRESERVATIONSCIENCE.COM; 2016]

La conception a été basée sur le Palazzo Farnese et le Palazzo Cancellaria à Rome. L'atrium a été utilisé comme une place civique. Un espace social pour le personnel et le grand public. Le grand espace a été délibérément conçu pour maximiser la ventilation et la lumière du jour, cette dernière atteint l'espace à travers les fenêtres dans les pignons et lanterneaux (Figure I-5). Toutefois, la forme de l'atrium n'était pas populaire au cours de la première partie de ce siècle. Ceci est en partie à cause du risque d'incendie perçu. Et sans doute parce que les tendances du design du Mouvement Moderne en architecture étaient vers l'expression technologique dans les bâtiments de type pavillon. Les conséquences économiques ont également été soulevées. Il est rapporté par Bednar (1986) que plus tard les hôtels à atrium ont été conçus dans une plus petite échelle pour être compétitif ainsi que rentable en termes de construction et de coût d'exploitation.



Figure I.5: Une vue intérieure de l'atrium de Palazzo Cancellaria à Rome

[source : WWW.ITALIE-DECOUVERTE.COM; 2016]

La forme de l'atrium moderne est apparu à la fin des années 1950 et au début des années 60. Les premiers bâtiments influents les bâtiments à atrium dans cette nouvelle période étaient l'Hôtel Hyatt Regency, Atlanta par Edwards et Portman et le siège de la Fondation Ford, New York, par Roche et Dinkeloo. Le Hyatt Regency dispose d'un atrium interne sur toute la hauteur de l'immeuble éclairé par un puits de lumière et fenêtres vitrés (Figure I.6). L'atrium est caractérisé par un vaste espace paysager avec de l'eau, des plantations et des oiseaux reflétant la nature, avec des galeries des chambres de l'hôtel donnant sur l'atrium. L'euphorie spatiale de l'Hôtel Hyatt Regency de Portman est un exemple qui est devenu un succès instantané. Il a révolutionné et influencé la conception des hôtels plus tard. Le concept de l'atrium dans l'hôtel a fourni une occasion de créer un intérieur cloîtré avec des vues stimulantes et dynamiques. Le succès de cet hôtel atrium est devenu plus tard la norme du prestige pour tous les hôtels de luxe (Bednar 1986)[Hamdan, Rasdi, 2000].



Figure I.6: L'atrium à l'Hôtel Hyatt Regency Atlanta, en Géorgie

[Source : WWW.FLICKR.COM ; 2016]

Il est important de noter que, contrairement à l'intérêt environnemental des atriums traditionnels, la relance du nouvel atrium est maintenant favorisée principalement pour ses qualités d'ordonnement de l'espace et ces expressions dynamiques. Ainsi, il mène Bednar(1986) à une définition de nouvel atrium comme un centroidal de l'espace intérieur, à éclairage naturel qui organise un bâtiment. Les avantages environnementaux de l'atrium ont été seulement considérés dans son utilisation dans des climats tempérés pendant les années 70 et le début des années 80 comme réponse à la crise pétrolière à l'utilisation de haute énergie dans les bâtiments.

La question environnementale et la conservation d'énergie est devenue un enjeu important dans la conception des bâtiments. Ainsi, l'avantage environnemental de l'atrium a été favorisé de nouveau comme une conception caractérisée par une économie d'énergie. Le concept des atriums dépendant à la haute technologie ont été désormais remplacés par les atriums à plus passifs et basse énergie. Les fonctions traditionnelles de l'atrium d'éclairage naturel, de chauffage et de refroidissement passif sont exploitées avec sa qualité de son organisation spatiale. Le bénéfice de l'énergie des atriumsest assumé dans une certaine mesure pour réduire automatiquement l'utilisation totale d'énergie dans les bâtiments, mais cela est faux, si l'atrium n'est pas correctement conçu et compris (Baker, 1988) [Hamdan, Rasdi, 2000].

I.1.3 Identification de l'Atrium d'aujourd'hui :

L'atrium d'aujourd'hui n'a pas dévié loin de sa renaissance des années 1960; il a seulement élargi dans la définition. L'atrium aujourd'hui peut être considéré comme une place intérieur des bâtiments modernes (espace public), parfois un vaste espace intérieur, à plusieurs

étages qui maintient une certaine connexion avec l'extérieur. L'atrium est généralement utilisé comme un élément architectural clé dans les entrées principales, des zones de circulation publique, ou comme une destination spéciale dans un bâtiment - souvent une zone à fort trafic. Une qualité typique de la conception de l'atrium implique des puits de lumière et des zones de vitrage généreuses qui fournissent une pénétration de la lumière naturelle, ce qui le rend une zone de construction importante bien adaptée pour remplir les fonctions cérémonielles et sociales. Pour les aménagements d'atrium, comprennent souvent des espaces d'assise, de réunion ou d'attente et offrent des menées principales à des pièces ou à des couloirs importants pour le reste du bâtiment. En outre, certains atriums sont remplis avec des plantes, des arbres et des jeux d'eau qui prospèrent sur la lumière du soleil entrante, en créant des espaces méditatifs tranquilles. Bien que les bienfaits des atriums sur la santé dans les bâtiments tels que les hôpitaux, sont devenus un sujet d'étude.

De même, des grandes intentions pour l'atrium s'ajoutent à sa complexité: plus grand, plus large, la gestion de l'éclairage naturel, la gestion de température, la circulation verticale, et la circulation horizontale sont quelques-unes des nombreuses possibilités. Les conceptions qu'utilisent les atriums comme principales stratégies de conception d'économie d'énergie, ajoutent des complexités techniques supplémentaires à l'atrium et à son rôle. L'édifice Mountain Equipment Co-op à Montréal et l'édifice des sciences informatiques de l'Université York (Figure I.7) à Toronto sont des exemples de conception de conservation énergétique, où les multiples aspects de l'atrium, agissent non seulement socialement et esthétiquement, mais travaillent aussi pratiquement pour l'économie d'énergie de l'environnement intérieure de la construction [Barry Smith Jr, 2008].

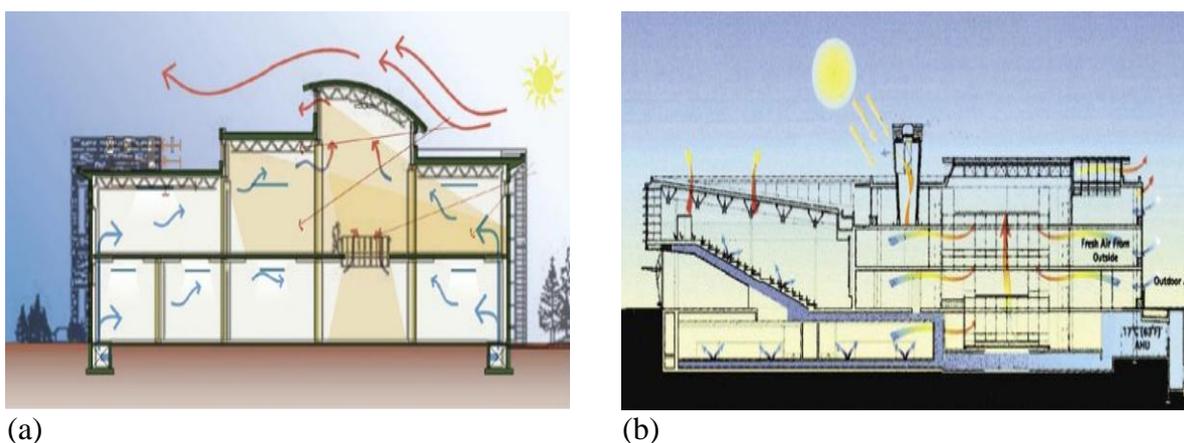


Figure I.7: (a) Vue en coupe du bâtiment Mountain Equipment Co-op à Montréal montrant le mouvement de l'air passif accompli avec l'espace central d'atrium - (b) vue en coupe du bâtiment des sciences informatiques de l'Université York montrant la stratégie d'air passif accompli dans le bâtiment. [Source : Barry Smith Jr, 2008].

I.2 Typologies des atriums:

La forme et la géométrie d'un atrium est à la fois le produit et le motif pour les parties occupées adjacentes du bâtiment. Habité par les employés, les résidents, ou pour d'autres utilisations, ces espaces sont touchés fortement par la configuration de l'espace de l'atrium. Les configurations peuvent se référer à la forme en deux ou trois dimensions, l'échelle ou la disposition des espaces environnants et comment ils sont reliés à l'atrium [www.wbdg.org/design/env_atria.php].

Etant donnée le nombre illimité des formes et configurations de l'atrium, différents académiciens ont classifié par fois les mêmes formes mais avec des différentes appellations, cette classification a été initialement rédigé par « Richard Saxon » dans « Atrium buildings : Développement and Design » et « Bednar » dans le « New atrium », ainsi que par d'autres auteurs tels que : « Yashino », « Hasting » et « Baker ».

Dans ce qui suit on va présenter tout un catalogue des formes et typologies des atriums dans leurs différentes conceptions et emplacements qui peuvent être existé, du plus simple au plus complexe.

I.2.1 Types de Hasting :

Selon Hasting, il y a cinq types de base des atriums selon leurs configurations :

- **Atrium central:** Le type d'atrium classique offrant une cour vitrée dans le centre du bâtiment entouré par des espaces adjacents sur tous les côtés. L'enveloppe externe de l'atrium est limitée à la zone du toit vitrée (Figure I.8-a).
- **Atrium intégré:** Un atrium intégré est un espace vitré qui est positionné dans le bâtiment de telle sorte qu'un seul côté est en face à l'extérieur. Il peut, comme il ne peut pas avoir un toit vitré (Figure I.8-b).
- **Atrium linéaire:** L'atrium linéaire couvre un espace ouvert entre deux blocs de bâtiments parallèles terminant par des pignons vitrés des deux côtés (Figure I.8-c).
- **Atrium attaché:** L'atrium attaché est un espace vitré ajouté à la paroi externe de l'enveloppe du bâtiment (Figure I.8-d).
- **Atrium d'enveloppe:** L'atrium d'enveloppe se caractérise par un bâtiment entièrement clos couvert par le verre représentant un concept (house in- house). Le Vitrage de l'enveloppe externe peut comprendre une façade du bâtiment (Figure I.8-e) [Ayşe Miray Gemi, 2006]

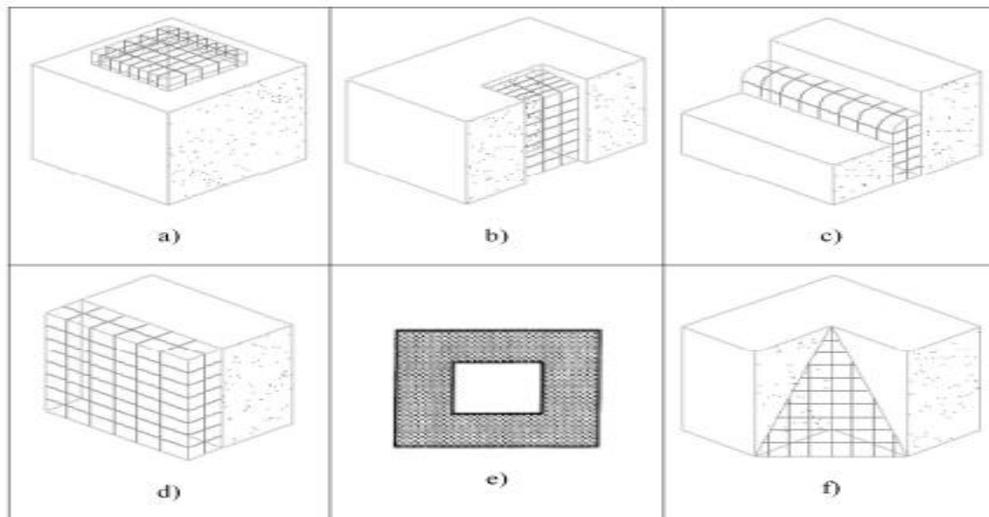


Figure I.8: Différents types et configurations d'atrium

[Source : AyşeMirayGemi, 2006]

I.2.2 Types de Saxon :

Au cours des dernières années, le concept de l'atrium a été adapté à de nouveaux rôles et à étendus, de nouveaux types, grâce aux nouvelles technologies de construction, des grandes intentions pour l'atrium viennent s'ajouter à sa complexité. C'est pourquoi Saxon a classifié d'autres types de formes complexes présentées comme suit :

- a. **Bridging Atrium:** Un atrium placé entre deux ou plusieurs bâtiments pour relier l'ensemble, créant un espace urbain intérieur et unifiant le bloc (Figure I.9-a)
- b. **Podium Atrium:** Un atrium situé à la base d'un bâtiment ou d'une tour qui organise spatialement seulement une partie du bâtiment (Figure I.9-b).
- c. **Atriums Latéraux Multiples:** Plus qu'un seul atrium dans un bâtiment, chacun est disposé latéralement et organisant spatialement une partie du bâtiment (Figure I.9-c).
- d. **Atriums Verticaux Multiples:** Plus d'un atrium dans un bâtiment, chacun est empilé verticalement et organisant spatialement une partie du bâtiment, chacun portant un nombre défini d'étages construction (Figure I.9-d) [Barry Smith Jr,2008].

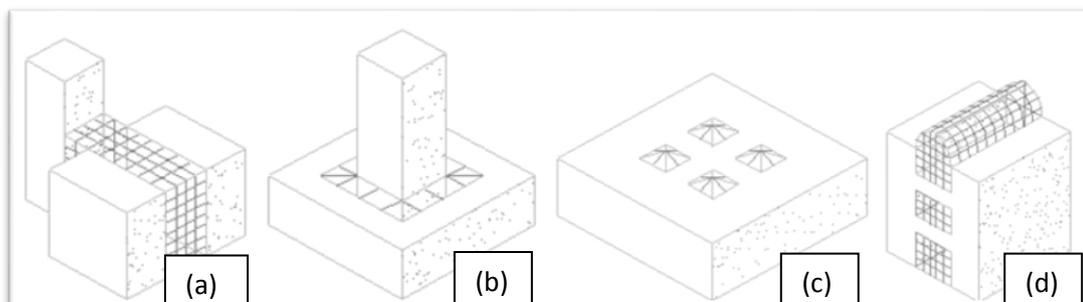


Figure I.9 Types complexes d'atrium selon la classification de Saxon

[Source : Ayşe Miray Gemi, 2006]

Une autre classification **exposée** par Yoshino est comme suit :

- Type Tour avec haut plafond (Figure I.10-a).
- Grand volume avec une large surface de plancher (Figure I.10-b).
- Petit volume avec plafond bas (Figure I.10-c).
- Type de serre avec une vaste surface vitrée (Figure I.10-d) [Ayşe Miray Gemi, 2006].

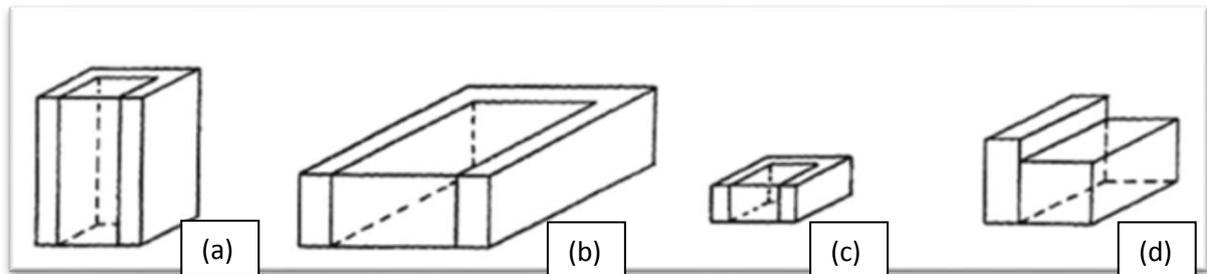


Figure I.10 ((a),(b),(c),(d)): Types d'atrium selon la classification de Yoshino.

[Source :Ayşe Miray Gemi, 2006].

I.2.3 Types classés selon les paramètres dimensionnels :

Les principaux paramètres géométriques des atriums sont les relations entre la longueur, la largeur et la hauteur. Par conséquent, il pourrait être bénéfique de quantifier ces paramètres géométriques dans un seul nombre. « Bednar » a utilisé (Sectional aspect ratio « SAR »)et (Plan aspect ratio « PAR »), tandis que « Baker » a utilisé : (Well index « WI »), (room index), et(aspect ratio) afin de caractériser la géométrie des atriums.Celles-ci sont définies comme suit:

- Sectional aspect ratio(SAR) = hauteur / largeur,
- Plan aspect ratio(PAR) = largeur / longueur
- Well Indice (WI) = hauteur (largeur + longueur) / (2-Longueur-Largeur)
- **Room index** (RI) = (longueur-largeur) / hauteur (longueur + largeur)
- **Aspect ratio**(AR)= Longueur-Largeur / taille²

Note : Le AR est utilisé pour comparer les atriums avec la lumière du jour en admettant des zones de la même taille mais des hauteurs différentes. [Ayşe Miray Gemi, 2006]

Sur la base de SAR et PAR, les espaces d'atrium pourraient être classés comme indiqué dans le tableau I-1 :

Classification d'atrium	SAR	PAR
Lineaire	/	PAR < 0.4
Rectangulaire		0.4 < PAR < 0.9
Carré	/	0.9 < PAR = 1
Peu profond	SAR < 1	/
Haut (ou grand)	SAR > 2	/

Tableau I-1: Types d'atriums classés selon les rapports dimensionnels

[Source : Ayşe Miray Gemi, 2006 réadapté par auteur].

I.2.4 Types classés selon la disposition spatiale :

Les configurations peuvent être également classées selon la disposition spatiale des espaces adjacents et comment sont-ils reliés à l'atrium, comme c'est indiqué dans la Fig I-11

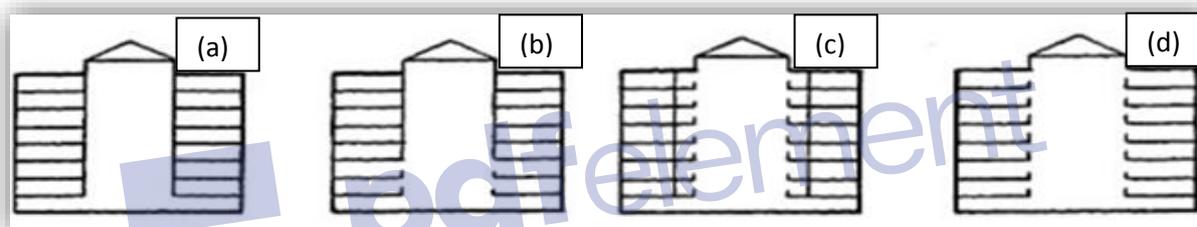


Figure I.11: Types d'atrium basés sur le rapport spatial aux espaces adjacents ; (a) Totalement séparé, (b) ouvert seulement à l'étage inférieur (c) ouvert aux couloirs (d) totalement ouvert [Source : Ayşe Miray Gemi, 2006]

Par ailleurs, cette presque même classification est expliquée par le laboratoire ABC, tout en distinguant le volume par le terme d'« atrium lisse ». Il arrive aussi que l'atrium soit conçu pour desservir les étages par l'intermédiaire de coursives qui font partie du volume et qui longent les espaces adjacents. Dans ce cas, l'atrium peut être qualifié d'« alvéolaire » puisque les planchers des coursives divisent partiellement le volume en plusieurs zones ou alvéoles (Figure I-12). Un atrium sera d'autant plus alvéolaire que le nombre des coursives sera élevé et que sa largeur sera grande. Dans des travaux menés par le laboratoire ABC sur le sujet des atriums, ils ont tenté d'établir un degré d'alvéolarité qui serait exprimé à travers un coefficient défini comme étant le rapport entre le linéaire des parois horizontales et l'aire de la section transversale de l'atrium. Ce coefficient s'écrit donc de la manière suivante :

Coefficient d'alvéolarité $Ca = \Sigma.Lh/Sa$.

$\Sigma.Lh$ étant le cumul des longueurs des parois horizontales autres que la couverture et le sol de l'atrium et Sa la section de l'atrium en m^2 [Belmaaziz(2003), cité par Rahal Samira, 2011].

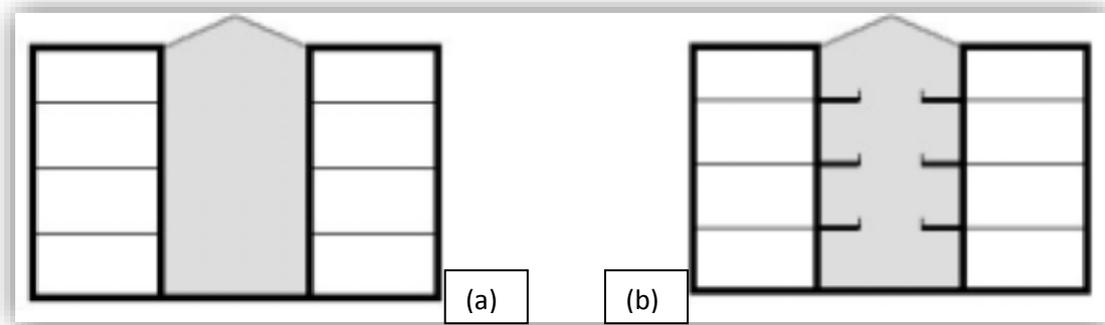


Figure I.12 : Autre classification d'atrium basée sur la disposition spatiale ; (a) un atrium lisse, (b) un atrium alvéolaire

[Source : Belmaaziz (2003), cité par Rahal Samira, 2011].

I.3 Concepts alternatifs des conceptions de l'atrium:

Deux grands concepts des bâtiments à atrium ont été mis en avant par Saxon (1986) dans son livre « Atrium Buildings- Development and Design ». Figure I.13 illustre ces concepts et les approches qui peuvent être classées en vertu de ces concepts. Sa description d'un "carnivore approach" de la conception de l'atrium est très "orientée vers le progrès", qui est associé à la haute technologie, des attitudes futuristes et des solutions optimistes mégastructure. Le concept alternatif de Saxon, « herbivore approach » est plus en accord avec la conception d'énergie consciente, interculturelle, historique et à travers des gestes urbains sensibles. Par conséquent, l'approche herbivore est plus réceptive au climat local, à la culture et aux traditions [Hamdan, Rasdi, 2000]

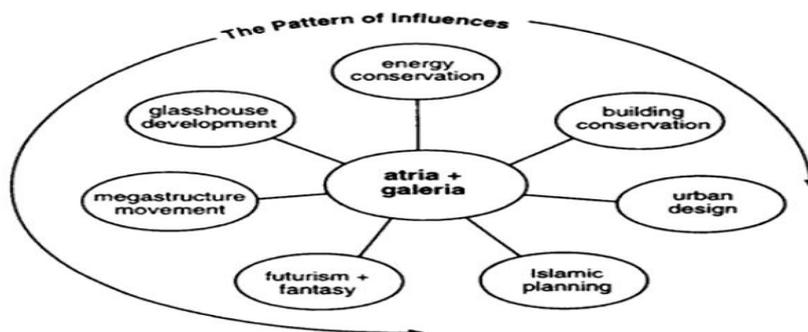


Figure I.13 : Approche de la conception pour la construction à atrium et l'évolution des influences [Source : Hamdan, Rasdi, 2000].

I.4 Effet de la configuration d'atrium dans l'environnement thermique interieur :

Nous distinguons maintenant plusieurs typologies d'atrium ,néanmoins cette diversité de formes et de configurations possèdent des caractéristiques environnementales propres, en fonction de leur position dans le bâtiment, qu'elle soit centrale ou périphérique, ainsi que de leur degré d'ouverture latérale ou zénitale.

La conception d'un atrium repose généralement sur des conditions climatiques, des expériences architecturales, le niveau attendu du confort thermique et les fonctions du bâtiment. L'emplacement de l'atrium dans le bâtiment est le principal facteur qui détermine les avantages environnementaux potentiels des atriums dans le bâtiment. Comme principale catégorie des formes d'atrium, il existe quatre formes différentes de l'atrium, qui ont été cités ci-dessus dans la littérature basée sur l'emplacement de l'atrium dans le bâtiment, Chaque forme d'atrium a un avantage environnemental particulier qui est choisi en fonction des conditions de sa température ambiante, la ventilation et la performance attendue de la lumière du jour. Par exemple :

- pour les climats tempérés, afin d'avoir plus de gain de chaleur solaire en hiver et des vues plus attrayantes au cours des différentes saisons, l'atrium est attaché au bâtiment comme une façade vitrée.
- Pour les climats chauds et humides, parmi les quatre types génériques, l'atrium central et linéaire sont les types les plus efficaces pour minimiser les fluctuations de température pendant les saisons chaudes et modérées. En outre, la performance de la température globale de ces types d'atrium est le plus proche de températures neutres. Par conséquent, ces atriums centralisés et linéaires sont des formes génériques les plus courants utilisés dans les régions chaudes [Leila Moosaviet al, 2014].

I.5 Les aspects environnementaux de l'atrium:

Un atrium est un agréable espace de rassemblement offrant un abri contre les conditions climatiques plus extrêmes à l'extérieur. L'atrium reproduit un environnement extérieur souhaitable en fournissant les aspects bienveillants de l'environnement extérieur; lumière naturelle, des températures modérées tout en nous protégeant contre les éléments les plus durs de températures extrêmes, la pluie et les vents. [www.wbdg.org/design/env_atria.php].

la qualité spatiale et l'atmosphère relaxante ne sont pas tout dans un atrium. Le confort thermique, qualité de l'air et l'éclairage naturel sont, d'autre part, les facteurs les plus influents pour cette question [W .Y.Hung et W.K.Chow , 2011] (Figure I-14). A cet égard l'atrium offre de nombreux avantages quand peut les resumer dans ces 4 points :

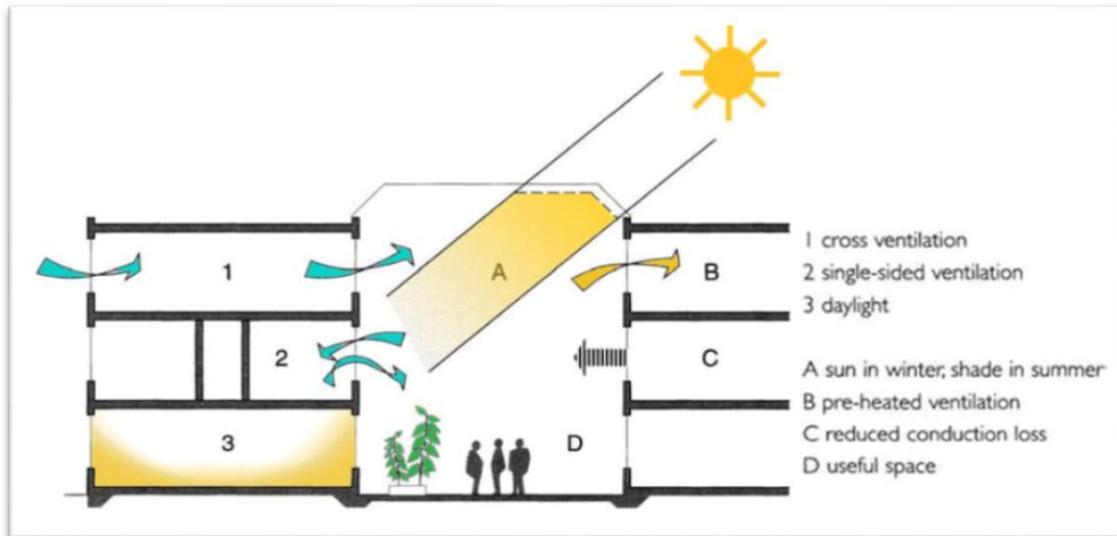


Figure I .14: Les avantages environnementaux d'un atrium (Baker et Steemers 2005)

[Source : W .Y.Hung et W.K.Chow , 2011]

I.5.1 Le contrôle lumineux :

L'importance de la lumière du jour dans une performance environnementale d'atrium, en particulier sa capacité à réduire l'éclairage électrique et les charges thermiques associés, a donné lieu à plusieurs enquêtes de la lumière naturelle dans les atriums et leurs espaces adjacents... Ces atriums vitrés permettent aux espaces adjacents d'avoir de plus grandes fenêtres pour admettre la lumière du jour sans les pertes considérables de chaleur ou les gains de chaleur, fournissant ainsi des opportunités pour la lumière du jour d'entrer dans le cœur d'un bâtiment et potentiellement d'augmenter la quantité d'espace occupé qui peut être naturellement éclairé . Par conséquent, la lumière naturelle est l'un des principaux avantages de la forme d'atrium, car il remplace l'éclairage artificiel et ses charges de refroidissement associés [SwinalSamant,2011].

ces atriums fournissent des environnements de travail plus souhaitables en offrant plus d'espace avec une connexion à la lumière naturelle et l'environnement extérieur. Beaucoup pensent que l'accès à l'éclairage naturel du spectre complet crée un environnement plus sain et plus productif. Il y a eu plusieurs études qui appuient ce point de vue.

I.5.2 Le contrôle thermique :

Au-delà des avantages qu'offrent les atriums pour l'éclairage naturel, ceux-ci peuvent aussi constituer une excellente stratégie de contrôle thermique des espaces adjacents. L'atrium, selon sa géométrie et ses gains internes et solaires, peut induire un effet de cheminée permettant de ventiler naturellement les espaces adjacents [ClaudeMH Demers et André Potvin, 2005]. La performance de l'atrium change dans différents climats et saisons. Il joue le rôle d'un espace tampon car en hiver, la température de l'air intérieur est généralement plus élevée que la température extérieure en raison du gain de chaleur solaire, même dans les atriums non chauffés. Le principal avantage de cette augmentation de la température est la réduction de la perte de chaleur à travers les murs des espaces adjacents et de fournir une ventilation préchauffée [Ahmed Qadir Ahmed, 2013].

I.5.3 Le Control de ventilation et de mouvement de l'air:

Une bonne circulation de l'air est d'une importance cruciale pour le confort et le bien-être des occupants dans l'environnement intérieur. Une approche conversationnelle au mouvement de l'air dans les bâtiments implique de se servir des espaces d'atrium pour déplacer passivement de l'air à travers le bâtiment. Le mouvement de l'air, sans la nécessité d'une force mécanique et l'utilisation de l'énergie est considérée comme passive. Les stratégies passives pour le mouvement de l'air peuvent être utiles dans l'une des deux façons:

- Les mouvements passifs d'air peuvent aider à fournir la ventilation qui maintient la qualité de l'air intérieur et compense l'utilisation de l'électricité, utilisé par les unités de traitement d'air (AHU), pour pomper l'air dans le bâtiment;
- De même, ils peuvent aider à refroidir le bâtiment, compensant les charges de refroidissement et la demande d'électricité nécessaire pour faire fonctionner les unités de réfrigération de l'air. [Barry Smith Jr, 2008].

Les deux utilisations du mouvement de l'air sont bénéfiques dans le maintien de l'environnement intérieur du bâtiment pour exiger moins d'énergie externe pour son fonctionnement et entretien.

I.5.4 Le Control énergétique :

La conception d'atrium est l'une des stratégies pour obtenir un meilleur confort en utilisant moins d'énergie. Par exemple, l'effet de réchauffement et l'utilisation d'un toit vitré pour l'éclairage naturel réduiraient la consommation d'énergie. Cependant, il faut prendre soin en été pour le refroidissement des zones occupées de l'atrium. En outre, l'effet de tirage induit par la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment donnerait une force motrice

pour la ventilation naturelle pour réduire la charge de refroidissement [W .Y.HungetW.K.Chow , 2011].

I.6 Les aspects architecturaux de l'atrium:

Les atriums ont été largement intégré dans une gamme de types de constructions en raison de leur capacité à contribuer à plusieurs aspects d'un bâtiment: ils provoquent l'ordre social, fonctionnelle et spatiale et la cohérence dans les bâtiments et de créer une identité forte et la valeur commerciale de l'immeuble (Bednar, 1986)[Swinal Samant, 2011].

Ce qui est évident,est que les gens sont attiréspar l'atrium en raison de ses caractéristiques attrayantes et élégantes,Par conséquent, l'atrium, est en mesure d'exercer un plus grand impact, les sous-sections suivantes décrivent les principaux rôles des atriums contemporains :

I.6.1 Un connecteur urbain :

Saxon (1994) note « espace public extérieur et intérieur, défini par la forme bâtie, c'est le fondement de la bonne conception urbaine ». L'Atrium permettre la transition entre le domaine public et privé et il est souvent utilisé pour connecter des bâtiments à leur contexte (le tissu urbain, les infrastructures et la ville) et de créer des parcours et des masses de construction conviviales.

Une caractéristique notable de l'atrium du Bullring à Birmingham est qu'il se fonde sur les schémahistoriques existants des rues la ville pour créer des rues internes vivantes éclairées qui font maintenant partie du réseau plus large des espaces publics de cette ville (Figure I.15) [Swinal Samant , 2011].

D'une manière générale, à l'heure actuelle l'atrium est un élémentdynamiqueattachant l'ensemble de la ville et d'agir comme un centre focal.étant le point clé de la structure de la ville, étant le chemin entre deux destinations importantes, en attirant les gens et enrichissant leurs mouvements à l'intérieur,ainsi qu'en améliorantla qualité de l'espace public urbain.



Figure I.15: Vue intérieure de l'atrium du bâtiment Bullring à Birmingham par l'architecte Benoy Chapman Taylor

[Source : WWW.FACADEDS.COM/PORTFOLIO-ITEMS/BULLRING-BIRMINGHAM]

I.6.2 Élément symbolique et d'esthétique :

Un atrium peut être un espace puissant symbolique qui donne une identité forte et une présence architecturale à un bâtiment. L'essor d'espaces d'atrium prêle un sentiment de joie et d'excitation à l'édifice en s'étendant sur plusieurs niveaux avec son environnement. Les atriums sont souvent animés par les différents usages, et la circulation verticale et horizontale qu'ils peuvent englober. Ils sont souvent incorporés dans les hôtels, les bureaux et les bâtiments de loisirs comme une expression de la richesse, l'extravagance, la puissance et la grandeur. Cet effet est souvent obtenu par l'utilisation des matériaux riches, des couleurs et d'autres caractéristiques telles que les installations d'art, plantation, des cascades, des sculptures et de l'éclairage.

Des bâtiments d'entreprise peuvent utiliser un atrium pour refléter la philosophie d'organisation et de l'identité. La tour Deutsche Post AG Bonn, en Allemagne (Figure I.16) par Murphy & Jahn, ont employé avec succès un atrium pour exprimer la transparence et la durabilité au sein de leurs sièges sociaux [Swinal Samant, 2011].



Figure I.16: Vue intérieure de l'atrium de la Tour Deutsche Post AG Bonn, en Allemagne par Murphy & Jahn, 2002, exprimant la transparence et la durabilité.

[Source : [HTTP://WWW.ARCHDAILY.COM/564959/DEUTSCHE-POST-TOWERS-WINS-CTBUH-10-YEAR-AWARD,2016](http://www.archdaily.com/564959/DEUTSCHE-POST-TOWERS-WINS-CTBUH-10-YEAR-AWARD,2016)]

I.6.3 Un centre culturel et social :

Un atrium peut agir comme un mécanisme d'invitation pour attirer les gens dans le bâtiment, L'interaction humaine peut donc être fortement stimulée, en offrant un espace de rassemblement, qui peut faciliter aux gens de recueillir et d'échanger des informations et de connaissances pour créer un environnement social et humaniste.

Il peut aussi agir comme un centre culturel en organisant des activités telles que des concerts musicaux, des spectacles, et des expositions. L'espace ouvert offre non seulement une qualité spatiale, mais aussi la connexion visuelle à toutes les activités qui se déroulent autour de l'atrium[W.Y. Hung, 2003].

I.6.4 Élément conservateur et renovateur :

Certains sites irréguliers pourraient être traités facilement en insérant l'atrium comme toute forme de création pourrait être générée par un atrium. l'atrium peut également être utilisé comme un outil pour revitaliser les édifices historiques en le fixant sur les anciens locaux. En mettant un toit sur plusieurs bâtiments adjacents, l'unification peut être atteinte. La démolition

est donc pas la seule moyenne de gérer ce genre de structure. Une autre idée novatrice est de construire un atrium dans une zone nécessitant un réaménagement[W.Y. Hung, 2003].

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons constaté en premier lieu que le concept de l'atrium existe depuis les premières civilisations comme un espace ordonnateur et organisateur dans les demeures comme dans les édifices publics, nous avons cependant identifié l'origine de l'atrium et comprendre son évolution depuis son apparition jusqu'aujourd'hui comme étant un espace plus complexe agissant non seulement esthétiquement ou socialement mais comme une conception de conservation énergétique.

En deuxième lieu, et à travers une recherche bibliographique sur le concept d'atrium, ce chapitre a permis de mettre en évidence ses différentes formes et typologies qui peuvent être existées, et à la lumière de ces différentes configurations que toute une classification a été attribuée, parfois relatives aux académiciens eux-mêmes, et parfois aux paramètres dimensionnels et spatiaux. En conséquence de cela, chaque type affecte la performance thermique de l'atrium en terme d'interaction avec les conditions climatiques, et les exigences thermiques et architecturales. A cet effet, au chapitre suivant le comportement thermique des différentes classifications sera expliqué.

Chapitre II :

L'espace Atrium ;

Entre Confort Thermique, et Respiratoire



Introduction :

L'atrium comme espace vitré est fortement affecté par les conditions du climat extérieur tels que, l'ensoleillement, la température, et le vent, de même, il forme un espace tampon entre l'environnement intérieur et extérieur en réduisant les pertes de chaleur en hiver, comme il assure une ventilation naturelle suite au renouvellement d'air assuré par l'effet de cheminée. Néanmoins, La grande surface vitrée de l'atrium peut facilement causer une surchauffe en été en affectant le confort d'occupant, comme Il y a également une possibilité d'un grand gradient de température vertical dans l'atrium. Par la conception correcte de l'atrium, le bâtiment peut être capable de créer un environnement intérieur confortable et sain pour l', car un atrium mal conçu, peut conduire à une augmentation considérable des gains de chaleur, et par conséquent entraîne des températures diurnes inconfortables et une mauvaise circulation et qualité d'air.

Au cours du développement du chapitre précédent, Il a été clairement expliqué qu'il existe plusieurs formes et configurations géométriques d'atrium, ces derniers affectent l'environnement thermique intérieur en termes d'interaction avec le climat. Par conséquent, il est nécessaire de s'intéresser à l'influence de ces différents paramètres géométriques et architecturaux sur la température intérieure. Dans cette optique, et dans ce chapitre, nous vison, en premier lieu, à décrire les fondamentaux du comportement thermique d'atrium en montrant certains critères de conception, et leurs impact sur la stratification de la température, certains de ces critères seront par la suite utilisés pour l'analyse des résultats obtenus, en dernier lieu, il est important de s'intéresser aux aspects liée aux mouvements d'air qui constitue un paramètre essentiel pour le confort respiratoire de l'occupant, afin de déterminer l'efficacité des stratégies ou systèmes de ventilation naturelle en termes de qualité de l'air intérieur.

II.1 Les différentes conceptions thermiques d'atrium

Les types de conception thermique d'un atrium dépendent de l'environnement extérieur. Selon Saxon, basé sur la stratégie thermique, il y a essentiellement trois types de constructions d'atrium, qui sont comme suit:

II.1.1 Atrium réchauffant (Warming atrium) :

Cet atrium permet les rayons solaires d'entrer librement dans l'espace de l'atrium, et il convient pour les pays ayant un hiver rigoureux, des printemps et automnes frais, et un court été [Nicholas Mak, 1991].

II.1.2 Atrium rafraichissant (cooling atrium):

Cet atrium agit comme un dispositif d'ombrage et stocke l'air froid. Il convient pour les pays ayant des températures d'air élevées, une humidité élevée et un fort ensoleillement [Nicholas Mak, 1991].

II.1.3 Atrium convertible :

L'atrium convertible doit être conçu adaptable aux conditions de chaleur en été, et aux conditions de froid en hiver [Ayşe Miray Gemi, 2006]. Cela fonctionne comme un atrium réchauffant en hiver, mais empêche la surchauffe en été. Il convient pour les pays ayant un hiver froid et un été chaud [Nicholas Mak, 1991]. Tel est le cas même lorsque le plein confort n'est pas recherché dans l'atrium lui-même, étant donné que l'impact solaire sur l'intérieur de l'atrium conduira à l'accumulation de chaleur dans l'espace occupé, et un taux de ventilation impraticable dans l'atrium. Le besoin essentiel est pour l'ombrage extérieur au vitrage de l'atrium. Cela peut être fixé pour admettre le soleil à faible angle en hiver, mais pour exclure le soleil à angle élevé en été, ou il peut être amovible [Ayşe Miray Gemi, 2006].

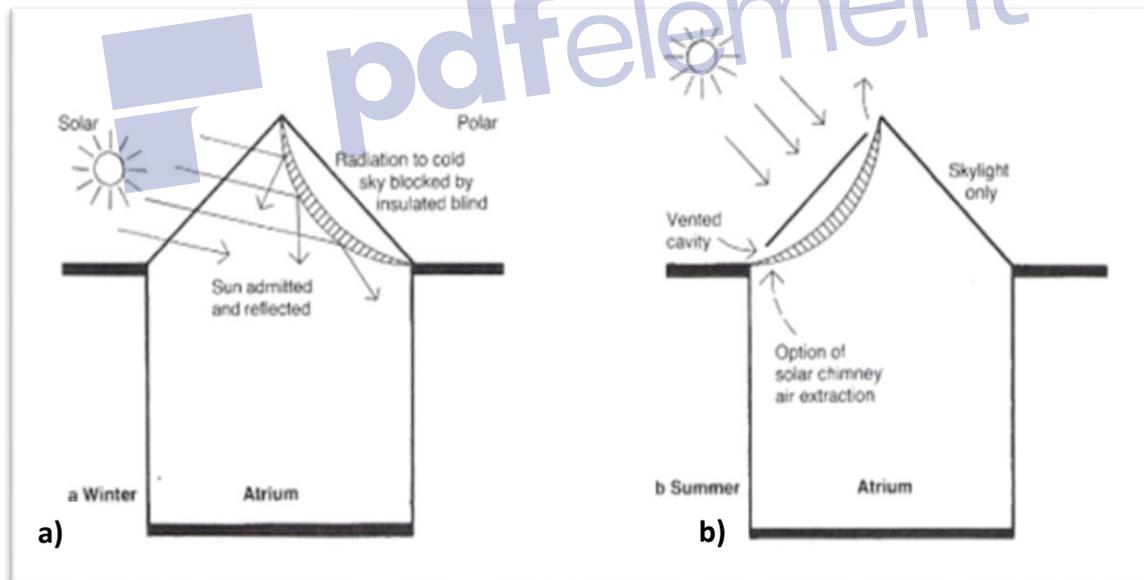


Figure II .1 : L'atrium convertible ; a) un dispositif passif, un rideau aveugle isolé à partir du sommet de l'atrium. En hiver, il se substitue à double vitrage et agit comme un réflecteur solaire ; b) en été, il est déplacé vers le côté solaire et exclut le soleil direct.

[Source : Ayşe Miray Gemi, 2006].

II.2 Les types d'échange thermique dans l'atrium :

Un atrium est un espace qui se compose de grand vitrage de parois et de toit; par conséquent, l'environnement thermique intérieur est fortement influencé par les conditions extérieures. S'il n'y a pas de système de conditionnement d'air.

Comme il est difficile de prédire le comportement thermique d'un atrium au début du processus de la conception du projet. Cependant, certains paramètres peuvent avoir un impact sur l'environnement intérieur. Ces paramètres sont des considérations architecturales en fonction de la connaissance de l'architecte [Ayşe Miray Gemi, 2006].

Le comportement thermique de l'atrium, implique les trois échanges thermiques suivants:

II.2.1 les échanges radiatifs :

Le transfert de chaleur par conduction et convection à travers la surface vitrée de l'atrium est très dépendant du gradient de température et de pression (en raison de l'effet de cheminée et le vent) entre l'intérieur et l'extérieur. En dehors de cela, une surface vitrée permettra également de grandes quantités de transfert de chaleur radiatif.

Un toit vitré est également une caractéristique différente significative des bâtiments à atrium, en raison des vastes surfaces exposées au rayonnement solaire. Un grand toit vitré admettra le rayonnement solaire pendant la journée et permettra une perte de chaleur rayonnante pendant la nuit [Ayşe Miray Gemi 2006].

a) Transfert de chaleur à travers le vitrage (effet de serre) :

Le rayonnement à courte longueur d'onde (CLO) du soleil passe à travers le vitrage pour réchauffer les surfaces intérieures. La chaleur réémise sous forme de rayonnement de grande longueur d'onde (GLO) n'est pas en mesure de passer de retour à travers le verre. Cet effet est appelé effet de serre dans l'atrium, et c'est un avantage en hiver et inerte en été.

L'effet de serre peut être obtenu par les possibilités de conception appropriée. Le coefficient de transmission thermique, l'orientation, l'inclinaison et la transmission du rayonnement solaire du vitrage extérieur de l'atrium influencent considérablement cet effet. La proportion de la surface extérieure vitrée à la zone de paroi adjacente est également très importante et elle dépend de la configuration et le type d'atrium [Ayşe Miray Gemi, 2006].

b) Facteurs affectants les échanges radiatives :

L'angle d'incidence solaire est élevé en été et faible en hiver. L'intensité de transmission du rayonnement solaire reçu sur une surface est en fonction de l'angle d'incidence. La Transmission solaire sera en maximum, lorsque l'angle d'incidence est de 90^0 . Par conséquent, lors de la conception du toit des atriums, l'inclinaison et l'orientation doivent être pris en considération afin de tirer le meilleur parti du rayonnement solaire en hiver et refuser le gain solaire indésirable en été. Ceci pourrait être réalisé en concevant la pente et l'orientation des toits de telle sorte que la surface vitrée est proche de 90^0 avec l'angle d'incidence solaire.

Il y a quelques facteurs qui assurent l'utilisation efficace de l'effet de serre dans les espaces adjacents:

- Le rapport de la surface du vitrage extérieur de l'atrium à la surface de la paroi des espaces adjacents qui est protégé par l'atrium.
- Le coefficient de transmission thermique de la paroi de séparation entre l'atrium et les espaces adjacents. Ceci sera normalement dominé par la quantité de vitrage dans la paroi.

La proportion d'enveloppe extérieure vitrée aux enveloppes intermédiaires d'espace d'atrium dépend de la configuration et les types d'atriums [Ayşe Miray Gemi, 2006].

c) Distribution des flux solaires (CLO) à l'intérieur de l'atrium :

Les gains solaires nets reçus par une paroi intérieure sont la somme des flux solaires directs, des flux diffus provenant de la voûte céleste et des flux réfléchis par les parois environnantes.

Pour évaluer les échanges radiatifs de courtes longueurs d'onde (CLO), il est important de discrétiser le plus finement possible les parois de l'atrium. En premier lieu, cette discrétisation sert à déterminer quelles parties de ces parois sont au soleil ou à l'ombre. Cela revient donc à décrire les contours de la tache solaire et évaluer les flux solaires directs reçus par les parois. Cet aspect est important à prendre en compte car la tache solaire a une grande influence à la fois sur les températures de surface des parois et les températures et les mouvements d'air (Groleau et al. 1994). Les deux composantes des flux direct et diffus reçues qui pénètrent à travers le vitrage et qui arrivent sur les parois sont en partie absorbées par celle-ci. La partie restante est réfléchié suivant un coefficient de réflexion (ou albédo) qui dépend de la couleur du matériau de chaque paroi. Dans le cas d'un atrium, certaines parois internes sont vitrées car elles servent à l'éclairage

des locaux adjacents. Il est impératif que la transparence du vitrage interne soit intégrée dans les calculs. Ainsi une partie des flux arrivants sur le vitrage interne est retransmise aux locaux avoisinants. De même, il est nécessaire de prendre en compte la transparence de la toiture car une partie des flux est réfléchi par les parois internes et traverse le vitrage zénithal (Wall 1996, Voeltzel et al. 2001). La figure suivante illustre le principe de distribution des flux CLO dans l'atrium.

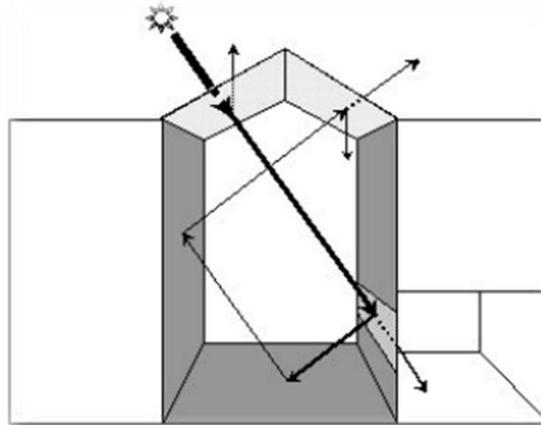


Figure II.2: distribution des flux solaires sur les parois internes de l'atrium

[Source: Rahal Samira, 2011].

Le flux réfléchi d'une paroi à une autre subit un processus de multi-réflexions qui dépend du facteur de forme d'une paroi par rapport à une autre. Finalement, après le processus de multi-réflexions, les flux CLO nets traversant la toiture vitrée sont absorbés par les différentes parois selon le coefficient d'absorption de chacune [Rahal Samira, 2011].

d) le rayonnement thermique (GLO):

Les différentes surfaces internes chauffées par les flux solaires absorbés durant la journée, échangent entre elles un rayonnement thermique grand longueur d'onde. Il y a transfert de chaleur par rayonnement électromagnétique entre deux corps qui ne sont pas en contact i et j , de surface S_i et S_j et de coefficient d'émission ϵ_1 et ϵ_2 lorsque leurs températures respectives sont différentes. La densité de flux net radiatif de grande longueur d'onde GLO est définie par la loi de Stefan-Boltzmann:

$$\Phi_{GLO} = \frac{\sigma (T_i^4 + T_j^4)}{\frac{1-\epsilon_i}{\epsilon_i} + \frac{1-\epsilon_j S_i}{F_{i,j} + \frac{\epsilon_j S_j}{\epsilon_i}}} \dots \dots \dots (1)$$

σ est la constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$) et F_{ij} le facteur de forme entre la surface i et la surface j .

Les flux radiatifs GLO échangés entre les parois internes de l'atrium sont évalués en utilisant le même principe de multi-réflexions que pour les flux CLO [Rahal Samira, 2011].

e) Facteur de forme:

Ce paramètre sans dimension, compris entre 0 et 1, traduit le rapport entre la quantité d'énergie qui quitte une paroi et qui atteint une autre et la quantité d'énergie totale qui quitte la surface. Ce quotient peut s'écrire :

$$F_{dA_i dA_j} = \frac{\text{Energie qui atteint } dA_j \text{ depuis } dA_i}{\text{Energie totale quittant } dA_i \text{ dans toutes les directions}}$$

Le facteur de forme obéit uniquement aux relations géométriques entre deux éléments qui se traduisent par l'angle solide sous lequel une surface émettrice voit une surface réceptrice. En d'autres termes, cela dépend de la distance qui les sépare l'un de l'autre et de leurs orientations relatives.

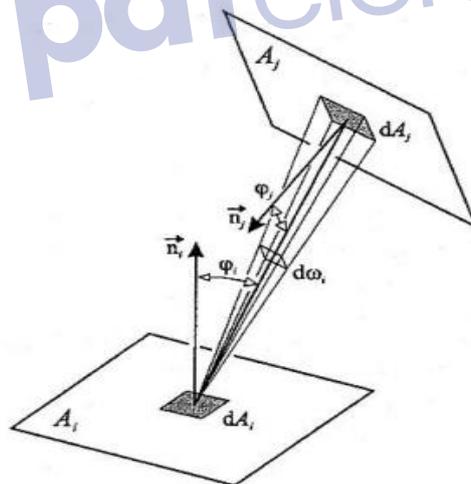


Figure II.3 : Géométrie des facteurs de forme entre deux éléments de surfaces élémentaires.

[Source: Rahal Samira, 2011].

Le facteur de forme peut s'écrire de la manière suivante :

$$F_{A_i A_j} = \frac{1}{A_i} \int_{A_i} \int_{A_j} \frac{\cos \theta_i \cos \theta_j}{\pi r^2} dA_i dA_j \dots \dots \dots (2)$$

Il est possible de déterminer ce paramètre à partir d'abaques pour des cas bien précis. Il existe d'autres techniques plus adaptées et optimisées pour les calculs numériques telles que les méthodes analytiques et les méthodes numériques [Miguet 2000]. Dans le contexte de la thermique des atriums où la géométrie est souvent compliquée, il est indispensable que les facteurs de forme entre les éléments qui composent l'enveloppe soient calculés le plus précisément possible. D'eux dépend en grande partie le processus des multi-réflexions (GLO ou CLO). Des méthodes comme celles basées sur l'analogie de Nusselt [Groleau et al. 1992] ou une méthode par intégration de contour [Miguet 2000] semblent suffisamment adaptées aux problèmes traités dans l'étude des champs radiatifs. En effet, ces problèmes contrastent avec ceux rencontrés en imagerie lorsqu'il s'agit de produire des images réalistes nécessitant des procédures plus élaborées [Rahal Samira, 2011].

II.2.2 les échanges convectifs :

L'échange de chaleur dans un atrium peut s'effectuer également par la convection.

Cette dernière est un phénomène qui résulte généralement lors d'une différence de densité entre l'air froid et chaud créant une différence de pression, ce qui entraîne la flottabilité. Cela se traduit par un échange de chaleur entre l'air et la surface et est connue comme la convection naturelle. Toutefois, si le mouvement de l'air est dû à des forces externes (comme le vent ou des ventilateurs mécaniques), il est connu comme la convection forcée. Ces deux processus peuvent se produire simultanément [mnre.gov.in/solar-energy/ch4, 2016].

Le taux de transfert de chaleur ($\varphi_{convection}$) par convection à partir d'une surface de la zone S, peut s'écrire comme suit :

$$\varphi_{conv} = h_c S (T_{paroi} - T_{air}) \dots \dots \dots (3)$$

Avec :

h_c : coefficient d'échange convectif, S : surface de la paroi,

T_{air} : Température de l'air,

T_{paroi} : Température superficielle de la paroi

La valeur numérique du coefficient d'échange convectif dépend de la nature du flux de chaleur, la vitesse des fluides (l'air), des propriétés physiques du fluide (l'air) et l'orientation de la surface [Rahal Samira, 2011].

Ces échanges convectifs à l'intérieur d'atrium peuvent entraîner deux importants phénomènes naturels, le premier est connu sous l'effet de cheminée, pourvu qu'il y ait des ouvertures à la partie inférieure et la partie supérieure dans l'espace d'atrium. Le deuxième est la stratification de la température de l'air, cette dernière sera expliquée séparément en détail dans un autre titre.

- **L'effet de cheminée:**

Chaque fois qu'il y a une différence de température, et donc une différence de densité entre l'air intérieur et l'air extérieur, il produit un déséquilibre dans le gradient de la pression des masses d'air internes et externes. Cela peut provoquer un échange d'air si les ouvertures de ventilation sont situées à des niveaux différents. Le flux d'air induit par ces différences de pression est similaire au tirage (courant d'air) associé à une cheminée, ce qui explique pourquoi ce processus est souvent désigné comme effet de cheminée [Rafik Bensalem, 1991]. Le mouvement du vent sur les ouvertures permettra d'améliorer l'effet d'aspiration [Ayşe Miray Gemi, 2006]. Comme il a été démontré aussi que l'effet de cheminée peut être utilisé pour fournir une ventilation et un refroidissement passif dans les atriums [Simmonds, 1993].

Par conséquent, un bâtiment avec des ouvertures supérieures et inférieures et une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur auront les gradients de pression suivants:

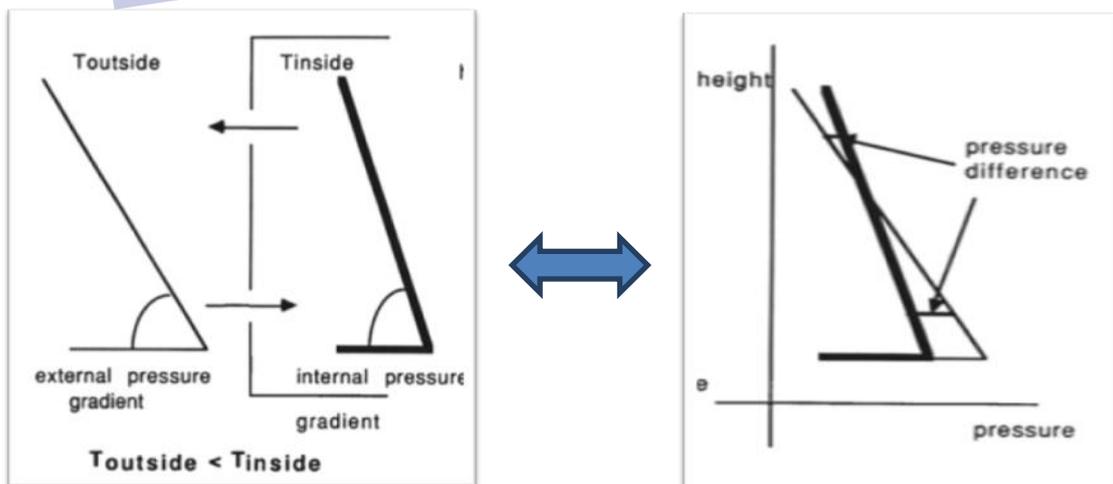


Figure II.4 :Pression de tirage induite entre deux ouvertures verticalement placées

[Source : Nicholas Mak, 1991]

Comme on peut le voir sur la Figure II-4, la pression diminue à mesure que la hauteur augmente à la fois extérieur et intérieur, mais le gradient de pression extérieure est plus raide en raison de la température plus basse. Ceci provoque une différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur au niveau des ouvertures (Figure II. 4,b)).

Un mouvement d'air se produit lorsque la température de l'air interne est supérieure à la température extérieure (comme c'est représenté sur la figure II. 4,a)), l'air pénètre par l'ouverture inférieure (depuis $P_{\text{intérieure}} < P_{\text{extérieure}}$) et sort par l'ouverture supérieure (depuis $P_{\text{intérieure}} > P_{\text{extérieure}}$).

La direction de l'écoulement d'air est inversé lorsque la température de l'air interne est inférieure à la température de l'air extérieur, soit $T_I < T_E$

Il est clair que la pression de tirage dépend de la température intérieure du bâtiment. Il peut être démontré que l'effet de cheminée est réduit lorsque la stratification thermique dans un bâtiment est considérée par rapport à la supposition d'une répartition uniforme de la température. Par conséquent, les concepteurs doivent tenir compte de la réduction de la pression disponible pour le contrôle du flux de ventilation lors du dimensionnement des ouvertures de ventilation [Nicholas Mak, 1991].

II.2.3 Les échanges par conduction :

Les parois extérieurs délimitant l'atrium ou mêmes intérieures qui sont directement ou indirectement soumis aux flux solaires, assistent aux échanges par conduction, par lesquels, la chaleur est transférée de la surface de la paroi vers sa masse pour être stockée en premier lieu, puis transférée par convection et rayonnement de la surface intérieure de la paroi au bâtiment.

A cet effet, le rayonnement solaire recueilli doit être stocké dans la masse intérieure des éléments de construction exposés directement au soleil en hiver. La masse thermique permet le stockage de l'énergie solaire entrante dans le bâtiment. Elle réduit ainsi les fluctuations de la température pendant l'hiver, alors que pendant l'été, elle contribue à retarder le transfert de la température de l'extérieur vers l'intérieur. Les matériaux de la façade de l'atrium jouent un rôle de l'inertie thermique du bâtiment. Ce fait, conduit à un retard de temps de transfert de chaleur à l'intérieur d'atrium. Le flux de chaleur à travers l'enveloppe de l'atrium est particulièrement exploité dans l'espace de l'atrium ou dans la masse importante des espaces adjacents à des fins de chauffage ou de refroidissement [Ayşe Miray Gemi, 2006].

Dans l'atrium, la masse thermique est efficace seulement si elle peut être refroidie par refroidissement nocturne. En d'autres termes, la ventilation naturelle de nuit ne convient que dans les bâtiments avec une masse thermique accessible suffisante (75-100 kg / m²). En règle générale, IEA Annexe 28 (1997) et Van Paassen et al. (1998) recommandent un maximum de 20-30 W gains de chaleur / m² dans les constructions lourdes. La masse thermique stocke la chaleur du soleil en hiver et modère les températures estivales afin de réduire les charges maximales sur le bâtiment. Puisque le refroidissement de la masse thermique dépend de l'effet de cheminée, la hauteur de l'atrium est un avantage dans la mise en place d'une forte flottabilité [Ayşe Miray Gemi, 2006].

II.3 La stratification de la température d'air :

La stratification thermique a été initialement étudiée dans des secteurs environnementaux tels que les lacs et l'atmosphère, où le fluide semble être verticalement segmenté en couches selon son gradient de température. Elle est maintenant de plus en plus étudiée dans des secteurs tels que le volume d'air interne des bâtiments à haut plafond.

Le problème principal avec l'environnement thermique dans les puits d'atrium est la hauteur verticale sur laquelle l'air est distribué. La stratification thermique résulte d'une variation de température par rapport à la hauteur dans le fluide. Ceci donne également lieu à une variation non-uniforme de densité au sein du fluide (Juluria 1980).

Expérimentalement, la stratification thermique est définie comme étant la différence entre la température maximale (au niveau le plus élevé) et la température minimale (au niveau le plus bas) (Jones 1991).

$$\text{Stratification thermique} = \Delta T = T_{\max} - T_{\min} \text{ [John Ashley ,2001]}$$

Cependant, il existe trois types de stratification: adiabatique, instable et stable. Si la température augmente avec la hauteur ou diminue à un taux inférieur au taux adiabatique, donc il résulte une stratification stable (Figure II.5)

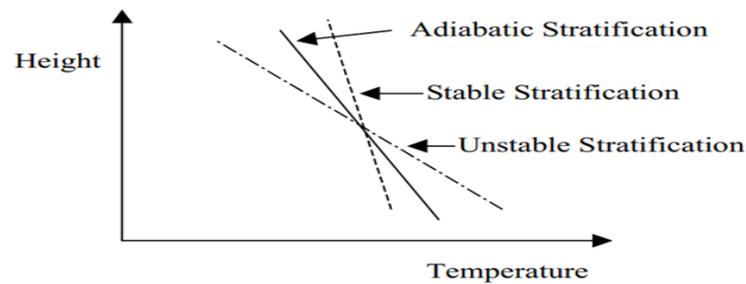


Figure II.5 : Les conditions limites de la stratification

[Source : Juluria, 1980]

La stratification adiabatique se produit lorsque le milieu est en équilibre neutre et qu'il n'y a pas de changement de température par rapport à la hauteur dans un fluide idéal. L'augmentation de la densité due à la diminution de la température est équilibrée par la diminution due à la diminution de la pression par rapport à la hauteur. S'il n'y a pas de stratification, le volume d'air circule jusqu'à ce qu'une température d'équilibre soit atteinte.

La stratification instable se produit lorsqu'un fluide plus chaud et plus léger se trouve au-dessous d'un fluide plus froid et plus lourd. Le fluide plus léger se déplace verticalement, donnant lieu à un mouvement de fluide par convection.

La stratification stable se produit quand le fluide plus chaud et plus léger se trouve au-dessus du fluide plus froid et plus lourd. La densité (ρ) du fluide doit diminuer verticalement (x), $\partial\rho / \partial x < 0$, aussi bien que la diminution comme la température (T) augmente $\partial T / \partial \rho < 0$, ce qui est vrai pour la plupart des fluides. Ceci a comme conséquence le rapport de la température (T) augmentant verticalement (x), $\partial T / \partial x > 0$. (Juluria 198) [John Ashley, 2001].

Dans le cas d'un atrium où la chaleur rayonne dans l'espace à partir du faisceau solaire direct, la chaleur est absorbée par les parois internes et réémise dans l'espace clos, en créant des variations de températures entre les parties inférieures et supérieures de l'atrium. Cependant, la hauteur importante d'un atrium ainsi que les apports d'énergie localisés tels que les flux solaires accentuent les variations verticales des températures d'air au point que celles-ci risquent de compromettre en été les conditions du confort selon l'endroit où l'en se trouve.

II.3.1 Différentes distributions de la température dans l'atrium :

Selon la situation thermique, on peut définir quatre principales distributions de la température dans les grands volumes (Figure II. 6).

1. Constante dans la hauteur.
2. Augmentation linéaire.
3. pas de profil linéaire, augmentant rapidement dans la partie supérieure.
4. pas de profil linéaire, augmentant rapidement dans la partie inférieure.

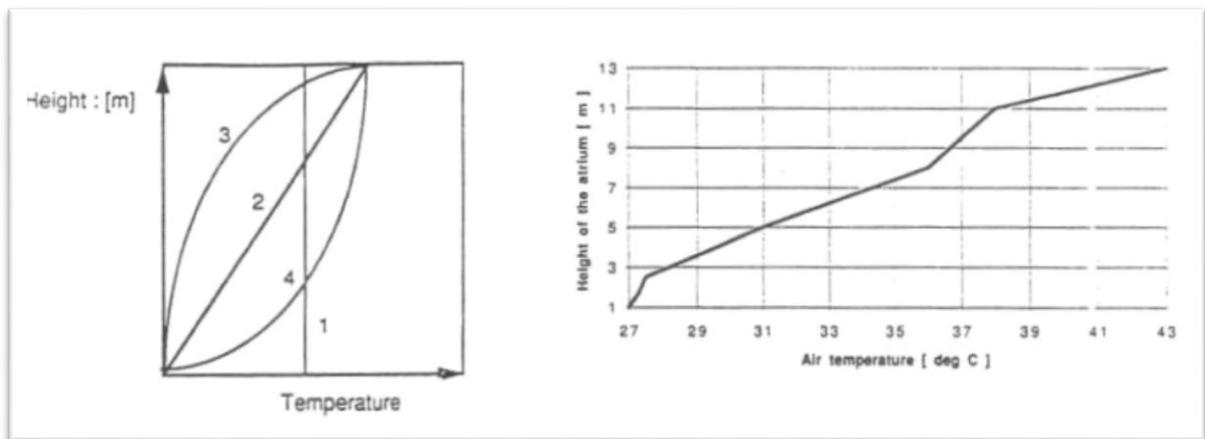


Figure II.6 : Profils verticaux typiques de température.

[Source : AyşeMirayGemi, 2006]

- **Profil 1** : Correspond au gradient vertical quand la température du volume est uniforme. Dans ce cas il n'y a pas de stratification [Rahal Samira, 2011].
- **Profil 2** : Est typique dans les atriums où les sources de chaleur sont uniformément réparties dans l'espace et ses surfaces.
- **Profil 3** : Représente le cas fréquent si la source de chaleur centrale ou la source génère une colonne d'air chaud qui monte rapidement au toit avant de se mélanger et tend à mettre en commun au niveau supérieur, où les sources de chaleur sont distribuées uniquement dans la partie supérieure (Protection solaire interne sous le toit par exemple).
- **Profil 4** : Représente le cas où les sources de chaleur sont à proximité du niveau du sol.

Une caractéristique importante des grands espaces vitrés tels que l'atrium, est que la température de l'air n'est pas toujours homogène mais peut augmenter avec la hauteur des atriums. Ce phénomène est appelé la stratification de la température. L'air chaud a tendance à monter et l'air froid à tomber. Si l'écoulement d'air est dominé par le processus naturel de convection, la stratification thermique peut être établie. Cependant, cette stratification thermique peut être détruite partiellement ou totalement par d'autres courants d'écoulement

d'air, y compris un fort débit d'air d'alimentation mécanique ou d'une ventilation transversale en raison des vents. La stratification de la température dépend de l'état thermique, la hauteur de l'espace clos et en particulier de la distribution des gains solaires internes. Les mouvements de l'air dans l'atrium et entre les zones extérieures ou adjacentes, ont également une influence significative sur la stratification [Ayşe Miray Gemi, 2006].

II.3.2 Conditions de la stratification de la température d'air:

La stratification de la température a une influence considérable sur le confort thermique et La consommation d'énergie, pour la condition d'été et d'hiver d'une manière différente.

En hiver, la stratification de la température est un inconvénient parce que l'atrium nécessitera plus de chaleur afin d'obtenir des conditions de confort au niveau du sol. Toutefois, en raison des grands gradients de température, l'air chaud au sommet augmente la perte de chaleur par le toit. Par conséquent, il est conseillé de faire recirculer l'air chaud recueilli dans la partie supérieure vers le bas avec l'aide des ventilateurs. Pendant l'été, la stratification de la température peut être considéré comme positive pour le confort de la zone occupée au niveau du sol, mais peut aussi conduire à des problèmes de surchauffe, si la partie supérieure est occupée ou dans les espaces adjacents. La stratification de la température en été n'est pas très souvent suffisante pour fournir des conditions de confort au niveau du sol, et la ventilation naturelle doit être utilisée. La stratification est alors réduite.

La stratification de la température dans les atriums est appropriée lorsque les conditions suivantes sont remplies:

- La hauteur du volume est importante. Dans la configuration de l'atrium d'une petite hauteur aucune stratification importante n'a lieu, particulièrement lorsque les ouvertures d'aération sont ouvertes et l'espace est naturellement ventilé.
- Le transfert de chaleur à l'air à partir de la source de chaleur dans la partie supérieure ou linéairement distribuée par la hauteur du volume.
- Les ouvertures d'aération pour la ventilation naturelle ouverts ou fermés (ou partiellement) et le système de ventilation de l'atrium a un effet significatif.
- Volume avec de petits mouvements d'air est important.
- Les dispositifs d'ombrage internes auront tendance à créer une certaine stratification.

Certaines études expérimentales et numériques, prouvent que, les variables les plus significatives affectant la stratification sont : la température de l'air extérieur, la position du soleil, et le rayonnement global, tandis que la vitesse du vent est moins importante comparée aux autres variables. La stratification de la température augmente à mesure que, la température de l'air extérieur, la hauteur et le rayonnement solaire augmentent. Cependant, pour des conditions extérieures similaires, elle est plus importante dans les atriums, avec un SAR plus élevé. De plus, combiné avec la flottabilité de l'air réchauffé par l'effet de serre, il y aura une forte stratification de l'air par la température dans un atrium fermé et également un fort tirage (courant d'air) vers le haut lorsque les ouvertures sont faites [Ayşe Miray Gemi, 2006].

II.3.3 L'impact de la configuration géométrique d'atrium sur la stratification thermique:

L'analyse de la façon dont le changement de la géométrie de l'atrium effectue la stratification thermique dans un bâtiment a été étudiée par (Jones et Luther 1991, 1993). Ils concluent que, les atriums hauts, et étroits ont une zone d'impact solaire directe plus localisée, moins de mélange d'air et moins de rayonnement émis, et donc plus de stratification comparés à des atriums plus courtes et plus larges (Figure II.7) [John Ashley, 2001].

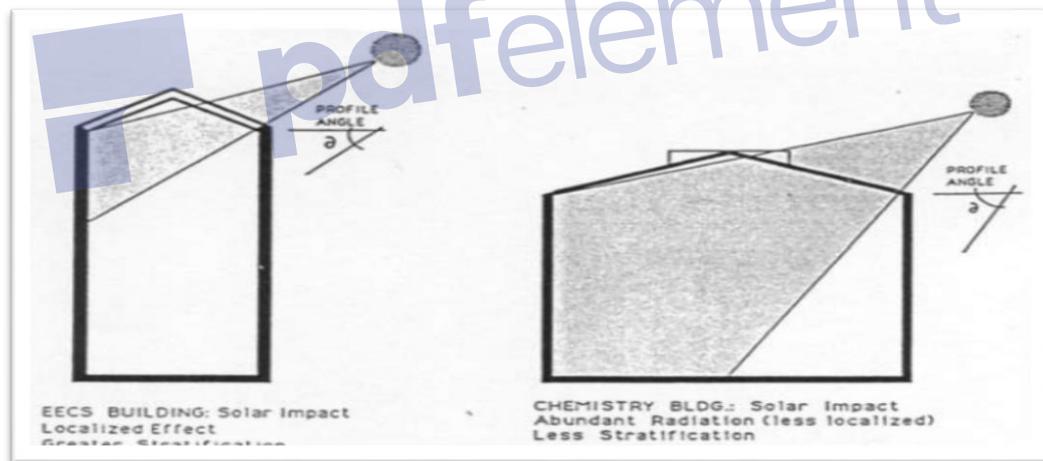


Figure II.7 :Effet du rapport géométrique du bâtiment sur la stratification thermique

[Source :John Ashley ,2001].

a) Effet de la hauteur:

Une étude traitant de ce problème a été entreprise par Crozet [Crozet 1981], il s'agissait d'atriums de hauteurs inégales mais les configurations étudiées sont différentes de par leurs géométries. Dans le cadre de sa thèse, celui-ci s'est intéressé aux effets de la variation de la

hauteur, pour une largeur constante, sur la stratification thermique. Des simulations ont été effectuées sur une galerie couverte en faisant varier la hauteur sous toiture à 13 h durant une journée d'hiver. Ces variations, qui vont de 3 à 12 m, montrent que les températures en bas de la galerie ont tendance à diminuer quand la hauteur augmente. Les températures en haut restent sensiblement les mêmes dans toutes les situations. Elle est même légèrement inférieure dans le cas le plus haut. L'auteur définit une hauteur optimale à laquelle la température maximale est atteinte. Celle-ci est de l'ordre de 4 m [Crozet(1981), cité par Rahal Samira, 2011].

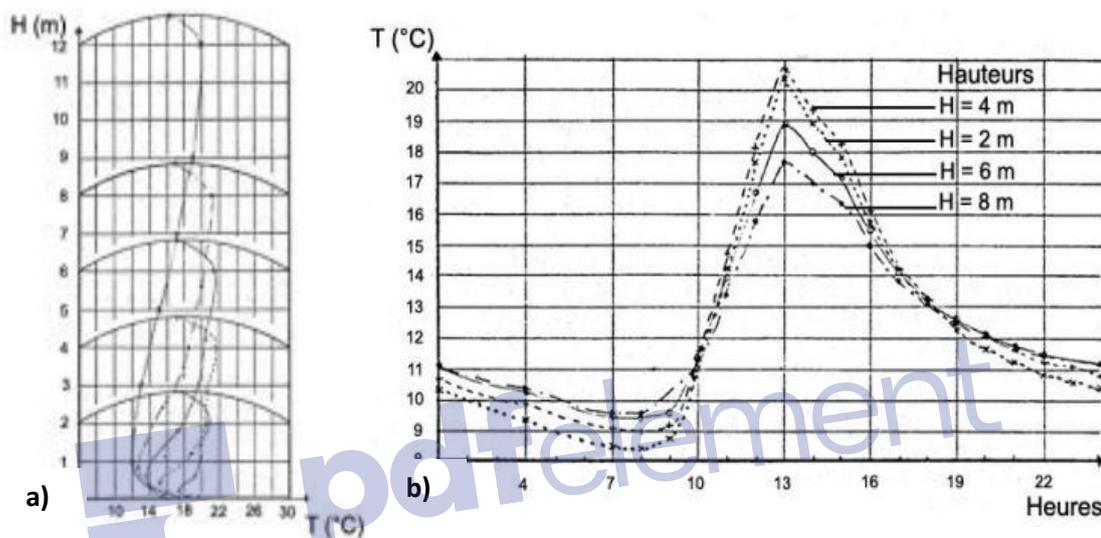


Figure II.8: a) Gradients verticaux montrant l'effet de la variation de la hauteur pour une largeur constante de l'atrium sur la stratification thermique ; b) variation des températures en fonction de la hauteur

[Source: Crozet(1981) Rahal Samira, 2011]

Comme il est important aussi de voir l'effet de la hauteur sur la stratification pour les conditions d'été et d'hiver, à cet effet nous présentons l'étude menée au Japon [Yoshino et al. 1995], cette dernière compare les gradients thermiques mesurés de quatorze atriums de nuit comme de jour pendant l'été et l'hiver. Signalons ici que les exemples traités ont des hauteurs pouvant dépasser parfois les 100 mètres sous verrière pour le cas des grands immeubles. Les différentes configurations étudiées sont illustrées par la figure II.9.

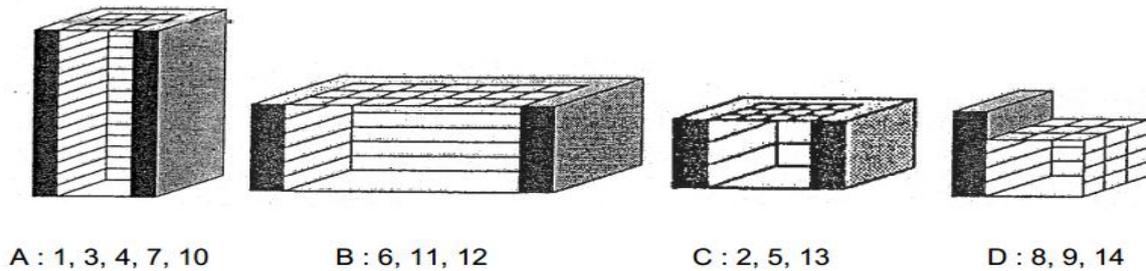


Figure II. 9: configurations des atriums étudiées par Yoshino pour la stratification thermique

[Source : Yoshino et al. (1995) cité par Rahal Samira, 2011]

- **Cas d'été :**

L'auteur a analysé pendant la saison estivale les gradients des différentes configurations à une heure critique de la journée à laquelle les flux solaires sont importants (13 h) et pendant la nuit (Figure I.10). Durant le jour il fait remarquer qu'en général les températures d'air les plus importantes sont enregistrées près de la toiture. Dans certains cas, elles dépassent les 50 °C. Même si les gradients répondent à des tendances identiques se rapprochant du profil concave (profil 2) ou bien à une stratification linéaire (profil 3), les écarts entre les températures en bas et en haut varient sensiblement. Ainsi, contrairement à ce que l'on pourrait croire, les gradients verticaux des cas 1, 3, 7 et 10 (atriums à grandes hauteurs) sont les gradients les plus faibles. La raison avancée par l'auteur est que les flux solaires restent concentrés en haut près de la toiture et n'atteignent pas les niveaux inférieurs de l'atrium. Il avance aussi le fait que l'atrium soit entouré d'espaces climatisés. C'est le cas aussi des configurations 5 et 12 qui sont, elles aussi, faiblement stratifiés à cause de la climatisation imposée aux espaces adjacents. Au sujet des atriums de grandes hauteurs, il est intéressant d'indiquer qu'une autre étude sur un atrium existant montre que la stratification dans ce genre de configuration est faible. En effet, en été dans un atrium d'environ 130 m de hauteur la différence de température verticale atteint à peine 6 à 7 °C [Kato et al. 1995] ce qui est très faible pour un atrium d'une telle hauteur.

Les cas dans lesquels à la fois le volume et la surface du sol sont importantes (cas 6 et 11) se caractérisent par des gradients de températures modérés alors que les atriums accolés (cas 8, 9 et 14) qui sont soumis à un fort ensoleillement se distinguent par des gradients très importants. L'auteur fait remarquer que le cas 2 correspondant à une configuration de faible hauteur qui est étudiée à part car l'évaluation du gradient en conditions normales est faussée par la climatisation du premier niveau de l'atrium. Dans

cette situation, à l'exception du niveau bas, les autres niveaux sont caractérisés par un gradient assez élevé.

Durant la nuit, dans la majorité des cas, les différences de températures entre le haut et le bas sont relativement faibles. Les cas 9 et 12 se caractérisent tout de même par des gradients un peu plus prononcés que dans les autres volumes. Dans le premier cas il s'agit d'un atrium accolé. Sa configuration lui permet d'être soumis dès le début de la journée (à 7 h du matin) aux sollicitations solaires ce qui induit une hausse immédiate des températures d'air. Dans le second cas (cas 12), l'auteur précise que la présence du gradient est due au fait que les couches d'air supérieures demeurent assez chaudes à minuit au moment où ont été réalisées les mesures [Yoshino et al. (1995) cité par Rahal Samira, 2011].

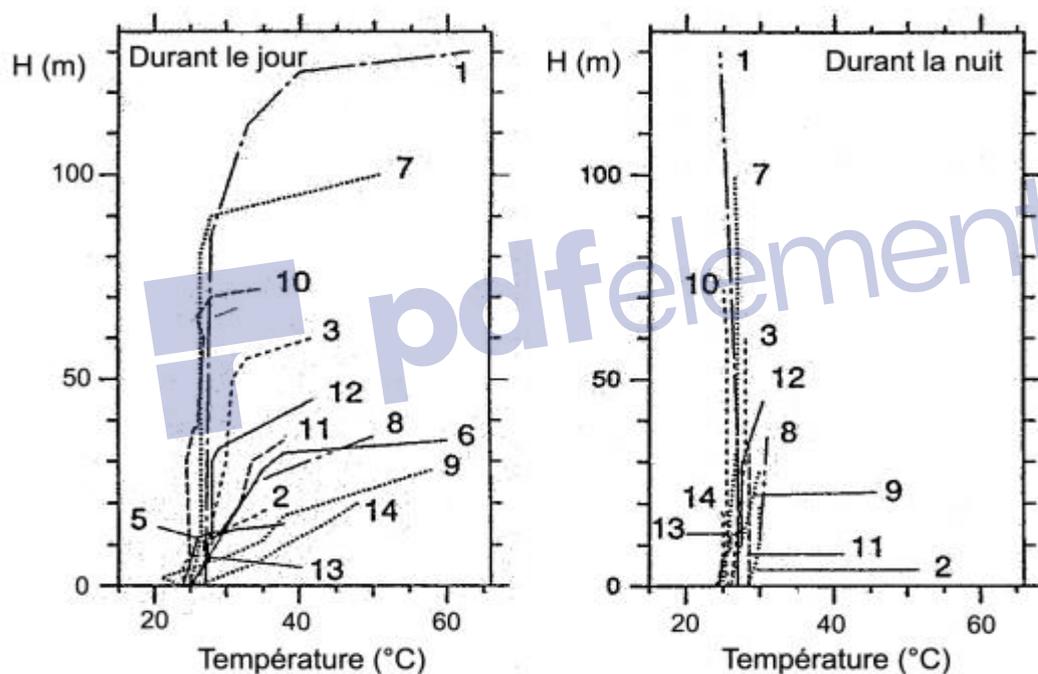


Figure II.10: Gradients verticaux des températures d'air pendant l'été

[Source : Yoshino et al. (1995) cité par Rahal Samira, 2011]

- **Cas d'hiver :**

Bien qu'il soit établi que les surchauffes et particulièrement la stratification sont des phénomènes que les concepteurs craignent plus l'été que l'hiver, nous allons tout de même brièvement aborder la question de la distribution verticale des températures durant l'hiver. Toujours en nous appuyant sur l'étude précédente, l'auteur montre que les gradients

verticaux durant une journée d'hiver sont manifestement moins importants que ceux d'une journée d'été (Voir Fig II.11). Durant la nuit les tendances s'inversent par rapport aux gradients diurnes.

En effet, les températures d'air n'augmentent pas mais diminuent légèrement en gagnant de la hauteur. Ceci traduit bien les effets des vitrages zénithaux froids qui ont tendance à être des parois à fortes déperditions thermiques [Source : Yoshino et al. (1995) cité par Rahal Samira, 2011]

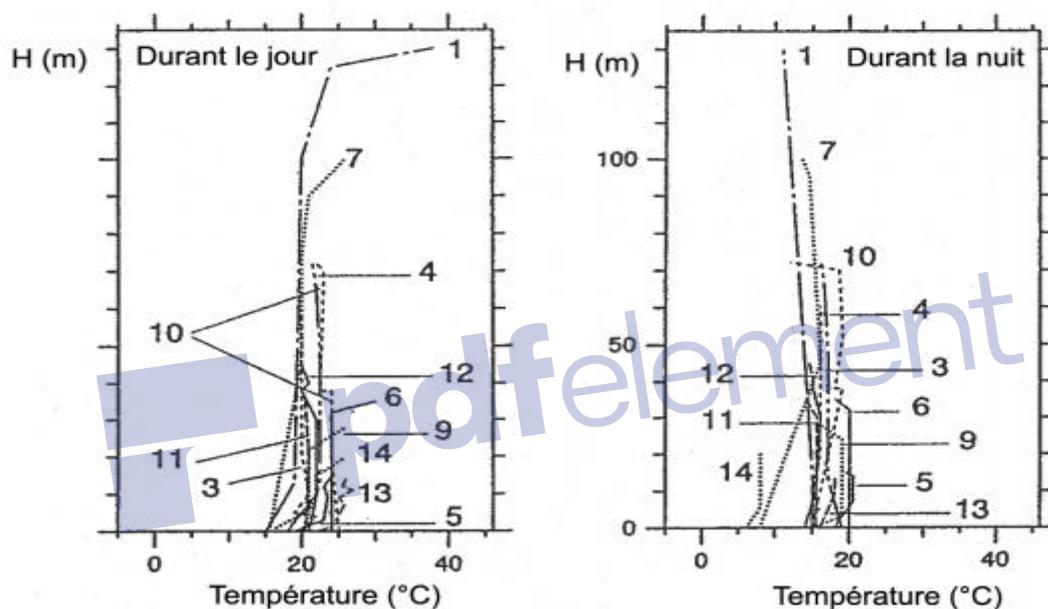


Figure II. 11 : gradients verticaux des températures d'air pendant l'hiver

[Source : Yoshino et al. (1995) cité par Rahal Samira, 2011]

Effet de la largeur:

Pour montrer les effets de la largeur sur la stratification nous nous appuyerons sur une étude menée dans deux atriums de volumes presque similaires (de l'ordre de 18000 m³) mais de largeurs différentes (9 m pour le premier contre 28 m pour le second). Des corrélations ont été établies à partir de mesures effectuées dans les deux atriums. Elles ont permis de prédire les différences de températures entre le haut et le bas de chaque configuration. Ces corrélations font intervenir quatre paramètres : la température de l'air extérieur, la hauteur du soleil, le rayonnement solaire global et la vitesse du vent [Jones et al. 1993].

A travers les résultats obtenus, les auteurs font remarquer que la différence de température entre le haut et le bas augmente à la fois lorsque la température extérieure et le rayonnement solaire augmentent. Quand le rayonnement solaire est nul (indice 0 sur la légende du graphe) et que la température extérieure est basse, le gradient est souvent négatif (Figure II.12), c'est à dire qu'il fait plus froid près de la verrière. A l'opposé, le gradient devient positif dès que les températures extérieures et le rayonnement solaire augmentent.

De la comparaison entre les résultats des simulations effectuées sur les deux configurations, il ressort que l'atrium étroit est caractérisé par une importante stratification par rapport à l'atrium large. Lorsqu'il y a un fort ensoleillement (indice 280), la stratification dans l'atrium étroit est plus importante de 12 °C par rapport à l'atrium large. Pour expliquer cela, les auteurs avancent le fait que l'atrium étroit serait, de par ses proportions, soumis au rayonnement solaire uniquement dans sa partie haute. C'est tout le contraire pour l'atrium large où les pénétrations solaires sont bien plus importantes et les zones chauffées sont réparties sur toute la hauteur (Figure II.12).

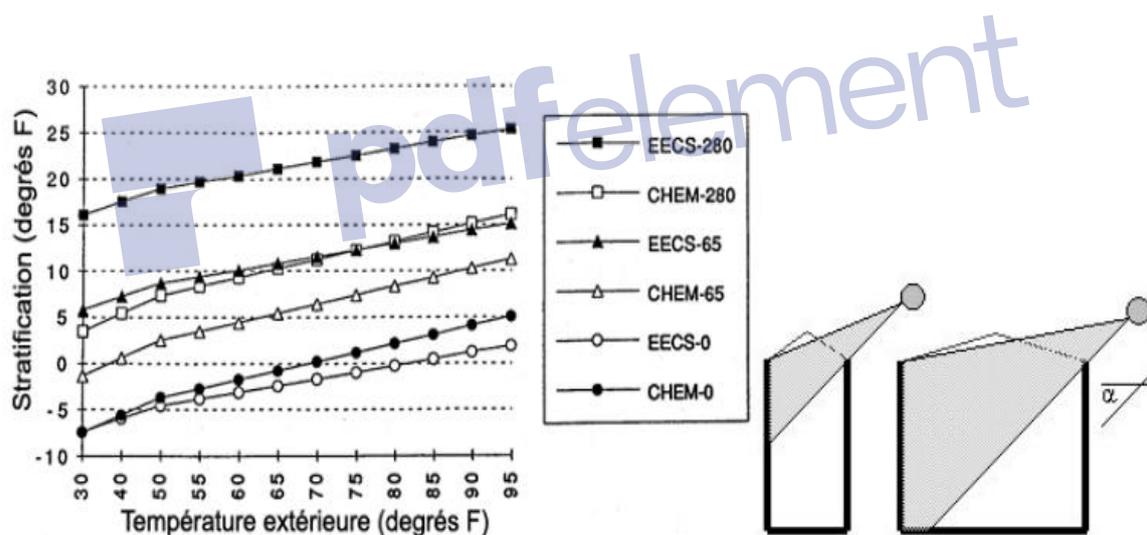


Figure II. 12: à gauche, la comparaison des gradients thermiques en fonction de la température extérieure et du rayonnement solaire. A droite, les pénétrations solaires dans les deux atriums

[Jone et al (1993) cité par Rahal Samira, 2011]

Les valeurs des gradients thermiques horaires ont eux aussi fait l'objet d'une analyse. Quelle que soit la saison, cette dernière fait ressortir que les gradients de l'atrium étroit sont toujours supérieurs à l'atrium large. Par ailleurs, d'autres corrélations dérivées des

premières ont permis d'établir cette fois-ci les changements de la température moyenne de l'atrium pour diverses hauteurs. Cela revient à calculer les variations des températures en fonction de la hauteur, à la différence des gradients précédents qui représentent une différence de température entre deux points (bas et haut) ce qui ne permet pas de donner l'allure des gradients. La figure suivante présente les résultats obtenus. Nous pouvons constater un changement de l'allure du gradient à partir d'une hauteur de 14,6 m dans le cas de l'atrium étroit. Jusqu'à cette hauteur nous assistons à une progression linéaire de température. Au-delà, le gradient est plus prononcé puisque c'est dans cette partie que la tache solaire est localisée. Dans le cas de l'atrium large, ce point de transition dans le comportement n'est pas aussi marqué. La stratification se fait graduellement avec la hauteur car (voir Fig II.13), d'après les auteurs, une large répartition de la tache solaire ainsi qu'un bon mixage de l'air favorisent probablement un tel comportement [Jone et al (1993) cité par Rahal Samira, 2011].

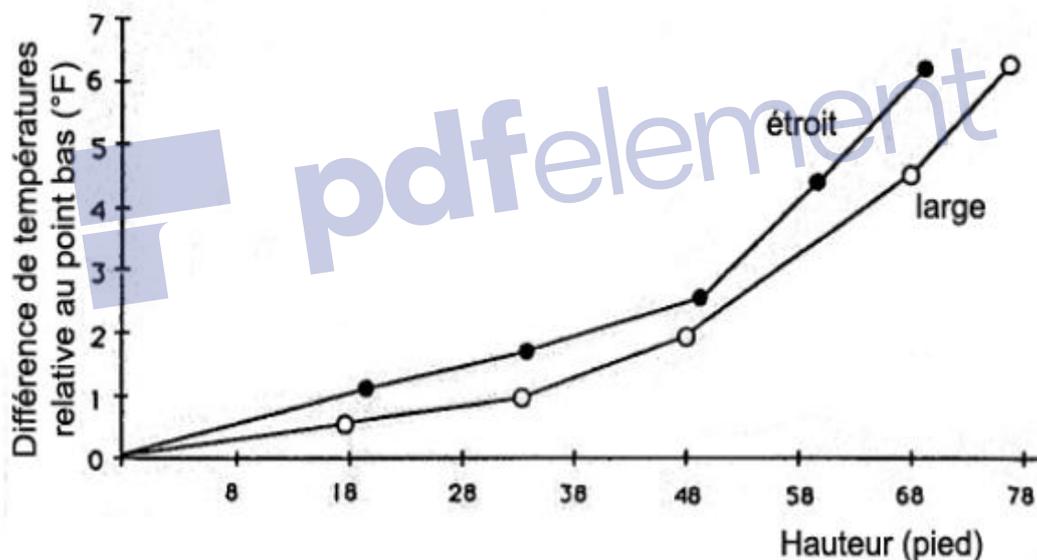


Figure II. 13: Gradients thermiques verticaux dans les deux atriums

[Jone et al (1993) cité par Rahal Samira, 2011].

II.3.4 L'impact de l'orientation:

Généralement dans les études de recherche sur le comportement thermique d'atrium que nous avons pu rencontrer, les auteurs examinent l'atrium sous une seule orientation. Bien que le gain d'énergie généré par la radiation solaire dépend aussi de l'orientation de l'atrium et de ses parois verticales et horizontales. Aussi le nombre d'heures durant lesquelles les parois de l'atrium reçoivent l'intensité de chaleur, produit une influence sur la température de surface et de

l'air. De même l'orientation de l'atrium est un point important à prendre en considération pour éviter les phénomènes de surchauffe en confort d'été.

II.3.5 l'impact de l'organisation interne:

La seule étude qui a été trouvée qui traite de cet aspect est une analyse comparative effectuée par le laboratoire ABC (Belmaaziz, 2003) cité par Rahal Samira, 2011. Ce travail consistait à comparer les résultats de mesures effectuées dans trois atriums situés en France. Il s'agit des deux atriums partiellement alvéolaires des Ecoles d'Architecture de Marseille et de Lyon (notés EAML et EAL) et celui de l'Hôtel du département à Marseille (noté Hôtel 13), qui est quant à lui, totalement lisse. Les journées pendant lesquelles les mesures ont eu lieu sont des journées ensoleillées et présentent les températures moyennes extérieures suivantes : pour l'atrium de l'EAML les températures mesurées étaient de 19 et 22 °C. Pour le cas de l'EAL et de l'Hôtel 13 elles étaient de 24,5 et 26 °C. Le tableau II.1 résume la comparaison entre les gradients totaux et unitaires correspondants à chaque atrium en fonction de la température extérieure. Le gradient unitaire est obtenu simplement en divisant le gradient total sur la hauteur entre le point le plus bas pour monter l'intensité des variations.

Atrium	T extérieures moyennes (°C)	Gradient vertical (°C)	
		Total	Unitaire
EAML	19	3.25	0.31
EAL	19	1.8	0.35
EAML	22	2.9	0.28
EAL	22	1.35	0.46
Hôtel 13	24.5	1.8	0.08
EAL	24.5	6.29	0.5
Hôtel 13	26	1.5	0.07
EAL	26	5	0.47

Tableau II.1 : comparaison entre les gradients verticaux des trois atriums étudiés

[Belmaaziz (2011) cité par Rahal Samira, 2011]

L'analyse des gradients thermiques des atriums de l'EAML et de l'EAL montre que les gradients unitaires sont presque du même ordre (0,3 à 0,5 °C/m) avec des gradients unitaires un peu plus élevés pour le cas de l'EAL. Au contraire, le gradient vertical total est toujours plus important que celui de EAL. Les auteurs tentent d'expliquer cela en mettant en avant le fait que

la configuration de l'atrium de EAML soit plus alvéolaire que l'autre. L'atrium de l'EAML compte effectivement deux coursives qui découpent le volume en trois alvéoles alors que celui de l'EAL ne comporte qu'une coursive qui découpe le volume en deux parties seulement.

Pour appuyer leurs propos, à savoir que le caractère alvéolaire d'un volume favorise la stratification, les auteurs ont comparé les résultats de deux atriums de configurations différentes. L'un est alvéolaire (EAL), l'autre est lisse (Hôtel 13). Dans ce cas, les écarts entre les gradients sont manifestes. Les gradients verticaux unitaires sont dans un rapport d'environ 1 à 6 et les gradients totaux dans un rapport de 1 à 3,5 au profit de ceux de l'atrium de EAL. La comparaison entre le comportement de deux configurations a le mérite de montrer les variations verticales des températures en fonction de la configuration interne du volume. Cependant, si les deux premiers atriums alvéolaires ont une taille comparable, il n'en est pas de même pour l'atrium de l'Hôtel 13 qui lui est un atrium lisse quatre fois plus large et deux fois plus haut que les atriums de l'EAML et l'EAL. Même si les résultats tendent à montrer que l'alvéolarité a une influence sur le gradient, la comparaison est difficile à établir entre des volumes de tailles sensiblement différentes.

Constatant que l'approche par la mesure ne permettait d'apporter qu'une réponse partielle aux aspects liés à l'alvéolarité, vu les problèmes de taille correspondants aux atriums mesurés, les auteurs ont entrepris une analyse plus large par la simulation numérique visant en partie à éclaircir la relation qui lie l'organisation interne et le comportement thermique

Une série de simulation a été menée avec un outil performant mais lourd en utilisation. Il s'agit du code de mécanique des fluides FLUENT. Les auteurs ont simulé les températures et les vitesses d'air dans des atriums de tailles similaires, l'un étant lisse, l'autre étant alvéolaire. L'analyse des résultats fait ressortir des différences clairement identifiables entre les deux configurations. En effet, à 13 h (heure solaire) en pleine saison estivale, pour un atrium en béton dont la toiture est totalement vitrée, le gradient thermique pour le cas lisse est de 2,6 °C contre 3,6 °C pour l'alvéolaire. Lorsque les parois sont en verre, le gradient est plus important puisqu'il est de 5,2 °C pour le cas alvéolaire alors qu'il est de seulement de 0,6 °C pour l'atrium lisse. Notons que les résultats que nous présentons ont été obtenus avec un taux de renouvellement d'air faible de l'ordre de 0,5 Vol/h.

Enfin, si ces simulations tentent d'éclaircir l'influence de l'alvéolarité sur la stratification thermique, elles sont cependant contestables sur au moins deux points : d'une part, ces simulations ont été menées en 2D en supposant que les atriums simulés étaient des

configurations linéaires. Autrement dit, les auteurs ont considéré que le comportement thermo-aéraulique se réduisait à une section de l'atrium ce qui implique que les effets des mouvements d'air transversaux ne sont pas pris en compte. Certes cela peut être admis lorsque nous avons affaire à des taux de renouvellement faibles mais dès que les débits sont importants cette hypothèse du calcul en 2D devient incertaine. D'autre part, il est impératif dans le cas d'un atrium de tenir compte, comme nous l'avons déjà vu, de la répartition de la tache solaire sur les parois internes. Or, il semblerait que les simulations ont été conduites en considérant les flux solaires comme répartis de manière homogène sur toutes les parois. Cela a sans doute une influence sur la pertinence des résultats obtenus. Pour ces deux raisons essentielles, l'influence de l'alvéolarité mérite donc d'être un peu plus approfondie en utilisant des moyens plus adaptés.

II.3.6 L'impact de la surface vitrée:

Pour un climat froid, dans le cas d'une faible inertie thermique, la réduction de la surface du vitrage zénithal de 50 % abaisse l'amplitude de température dans l'atrium de 6,1 °C pour le climat d'Ottawa. Dans le cas d'une forte inertie thermique, la même réduction de la surface du vitrage réduit l'amplitude de température de 2,2 °C et ne réduit la température maximale que de 1,6 °C. La réduction de la surface vitrée zénithale a aussi pour conséquence de diminuer les apports de chaleur entre l'atrium et les locaux adjacents. Ils sont de 60 % pour le cas de la faible inertie et de 40 % pour la forte inertie. Dans le cas d'un climat chaud, les profils des températures d'air dans l'atrium sont relativement similaires à ceux obtenus pour Ottawa sauf que les températures d'air sont plus élevées. Cela est dû à des températures extérieures et à des apports solaires plus significatifs en été. Lorsque l'inertie des parois est faible, la réduction de la surface vitrée de 50 % abaisse l'amplitude de 9,4 °C, la température maximale pendant la journée de 10 °C et les apports de chaleur de 40 % [Rahal Samira, 2011].

II.3.7 Impact de la ventilation naturelle sur la stratification thermique:

Le rafraîchissement par voie naturelle durant une journée extrême d'été dépend en partie, comme nous venons de le voir, de la surface des ouvrants requise pour l'admission de l'air extérieur nécessaire pour évacuer les surchauffés et la pollution à l'intérieur du volume. Dans le cas d'un atrium, la ventilation naturelle a pour rôle d'atténuer la stratification thermique. Cependant, dans quelle mesure les taux de renouvellement d'air sont capables de réduire la stratification thermique? Une étude visant à examiner le

potentiel de la ventilation naturelle par tirage thermique à améliorer le confort durant l'été apporte une réponse partielle à cette question

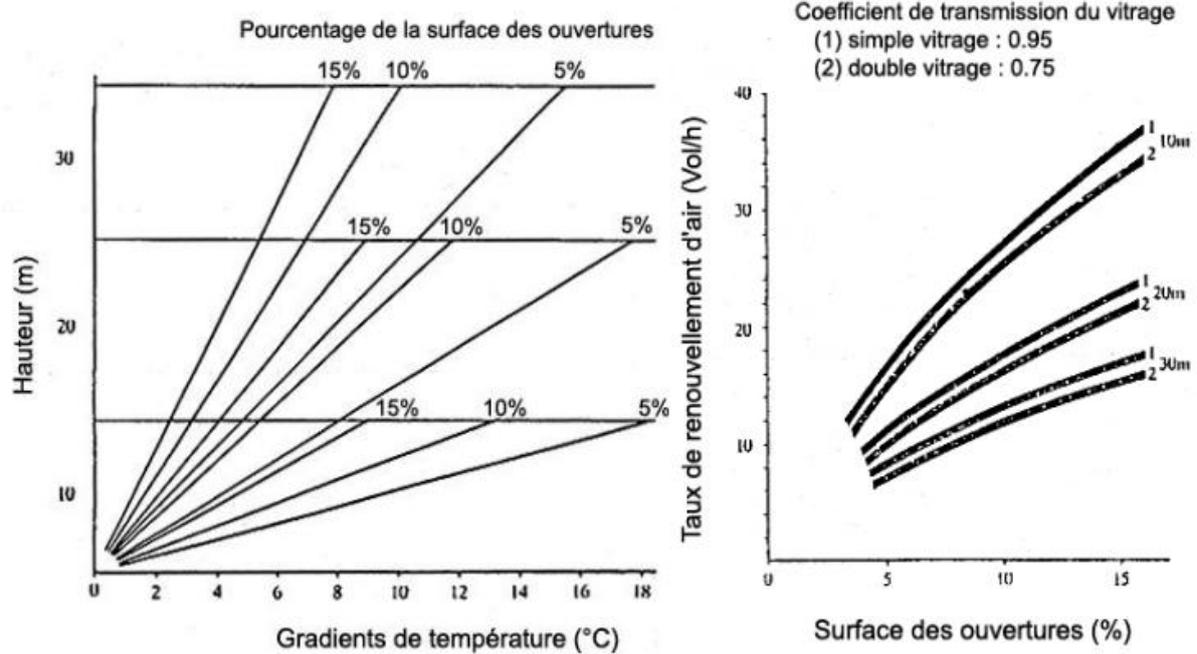


Figure II. 14: à gauche, gradients thermiques verticaux pour les trois atriums en fonction du pourcentage d'ouverture. A droite, taux de renouvellement d'air pour deux vitrages différents

[Owens et al. (1987), cité par Rahal Samira].

En utilisant des simulations comme moyen d'investigation, les auteurs ont entrepris une étude paramétrique en comparant trois configurations d'atriums de hauteurs différentes 10, 20 et 30 m. Parmi les paramètres testés figurent la surface des ouvertures. Les simulations ont été effectuées avec trois surfaces différentes. Celles-ci correspondent à 5, 10 et 15 % de surface du plancher de l'atrium. Les caractéristiques du vitrage de la toiture ont à leur tour fait l'objet de variations en adoptant le simple et le double vitrage pour la couverture. Les résultats obtenus ont permis de comparer les gradients thermiques correspondants aux différentes variantes étudiées (Figure II.11). Il est cependant important de noter que les simulations entreprises prennent en compte les conditions d'un climat tempéré durant une journée d'été. La température d'air maximale et la moyenne journalière sont respectivement de 25 et 20 °C.

L'analyse des résultats obtenus fait d'une part ressortir que les taux de renouvellement d'air sont un peu plus importants dans le cas où le coefficient de transmission du vitrage est le plus élevé (0,95). Cela paraît évident lorsque l'on sait que les gains solaires dans ce cas accentuent le tirage thermique et par conséquent le potentiel de ventilation. Celui-ci atteint à peu près 35 Vol/h pour un atrium dont la hauteur est de 10 m contre à peine 16,8 Vol/h pour un atrium de 30 m de hauteur. D'autre part, en comparant les gradients, nous pouvons nettement apercevoir l'effet de l'augmentation de la surface des ouvrants sur le gradient thermique vertical. En triplant cette surface, celui-ci est atténué d'environ 10 °C dans le cas d'un atrium fortement stratifié.

Même si l'effet bénéfique de l'augmentation des débits sur la stratification paraît évident, cette étude n'apporte pas de détails sur la manière qui a été adoptée pour conduire les simulations. Les gradients nous semblent en effet assez exagérés [Owens et al. (1987), cité par Rahal Samira].

II.3.8 Impact de la ventilation nocturne:

Pendant la nuit, la chaleur retenue par les éléments massifs dans l'atrium provoquera une grande différence de température entre l'atrium et l'air frais de la nuit et elle améliore l'effet de cheminée affectant l'atrium. A cet égard, la ventilation naturelle peut être utilisée par le tirage d'effet de cheminée ou du vent pour fournir un atrium rafraîchi en nuit.

La ventilation nocturne est une des techniques de refroidissements passives intéressantes et favorables. Elle refroidit la structure exposée du bâtiment qui est chauffée tout au long de la journée par le rayonnement solaire et les températures élevées de l'air. En conséquence, la chaleur peut s'accumuler le jour suivant et les pics de température seront donc réduits et reportés. En outre, le refroidissement par convection nocturne de la structure de la masse du bâtiment peut être réalisé par une ventilation transversale, avec le passage de l'air à partir de l'air ambiant à travers les espaces adjacents et via l'atrium. Il peut être possible que pour atteindre l'état de confort durant la matinée, après la ventilation pendant la nuit lorsque la température de l'air est inférieure à la moyenne quotidienne [Ayşe Miray Gemi, 2006].

Pour montrer l'impact de la ventilation nocturne sur la stratification nous nous appuyerons sur une étude faite par « Ayşe Miray Gemi, 2006 » dans un bâtiment à atrium, par deux stratégies de nuit différentes :

- **Nuit1** : Ventilation nocturne continue entre 21: 00 jusqu'à 05: 00h quel que soit les conditions climatiques de l'intérieur et l'extérieur.
- **Nuit2** : Ventilation contrôlée en fonction des températures intérieure et extérieure

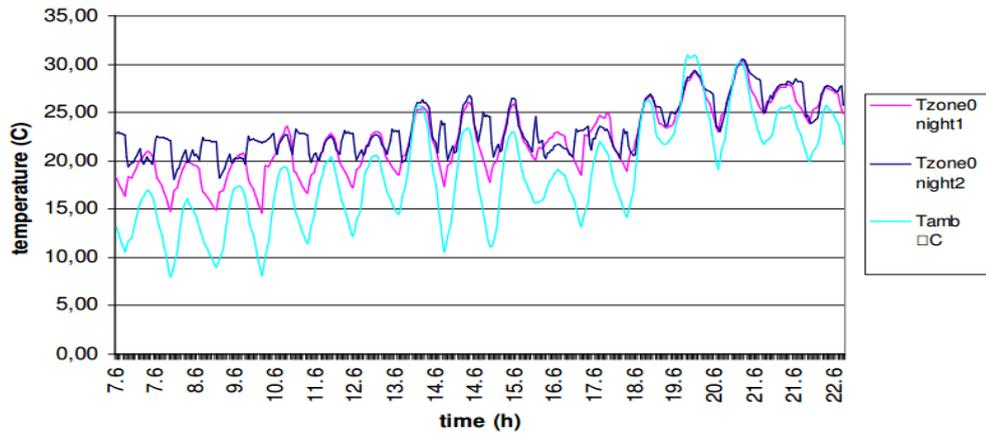


Figure II.15 : Température de l'air extérieur et intérieur de la zone 0 pour 7-22 Juin avec les stratégies de ventilation de nuit différente

[Source :AyşeMirayGemi, 2006].

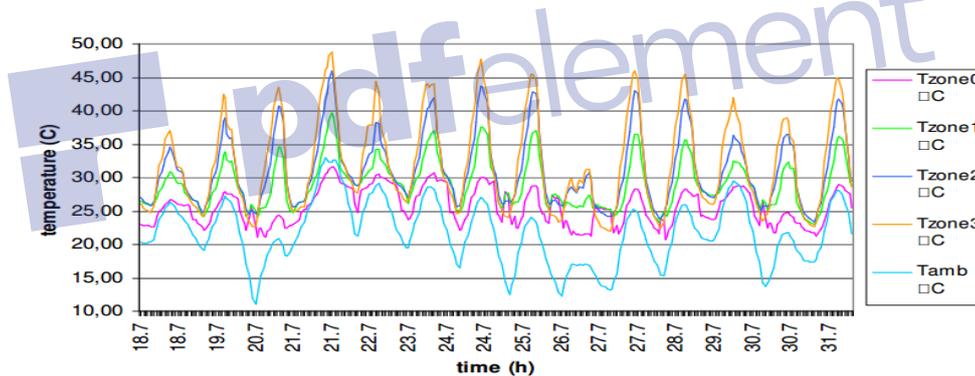


Figure II.16 : Température de l'air extérieure et intérieure des zones thermiques d'atrium par ventilation automatisée de nuit (le 18 juillet Le 31 juillet)

[Source :AyşeMirayGemi, 2006].

L'effet de deux stratégies de nuit différentes est surveillée pendant deux semaines spéciales, en jours doux, et en jours chauds, afin de voir les performances de deux stratégies dans des conditions diverses possibles pendant la période d'été.

D'après une vérification des heures des températures dans les heures de pic de chaleur il a été constaté, qu'il n'y avait pas de différence entre les deux cas.

Toutefois, le premier cas "Nuit1" atteint dans les nuits froides, des températures très basses, en raison de l'exploitation permanente de refroidissement libre pendant la nuit. Elle réduit également les températures matinales au-dessous de condition de confort. En outre, dans des jours doux où la température de l'air intérieure se balance entre 18-22C, deuxième cas donne de meilleurs résultats. Dans la figure II.13, on peut voir les températures intérieures pour chaque zone par le fonctionnement de "Nuit2"...Cependant, il est toujours pas suffisant; il est donc nécessaire des stratégies de contrôle plus passives comme masse thermique et l'ombrage[Ayşe Miray Gemi, 2006].(Comme il a été mentionné précédemment, que la ventilation nocturne naturelle ne peut réussir, qu'avec une masse thermique suffisante).

II.4 La ventilation et le confort respiratoire:

II.4.1 La notion du confort respiratoire :

Le confort respiratoire est un facteur d'ambiance directement lié à la thermique de l'espace, la purification de l'air implique son renouvellement par un processus de ventilation naturelle ou mécanique pour obtenir une qualité d'air escomptée. Cette qualité de l'air est importante pour les processus métaboliques et pour l'hygiène de chacun. Elle doit préserver l'individu des risques de contamination et de pollution dus aux diverses substances en présence : germes pathogènes, molécules organiques, matières odorantes, gaz carbonique, poussières, fumées de tabac et particules radioactives. Portant dans la consommation énergétique d'un bâtiment »[E.Gratia, André De Herde, 2006].

II.4.2 Sources des polluants de l'air intérieur :

La pollution de l'air intérieur a des origines multiples :

- L'air extérieur qui est insufflé dans le bâtiment par le système de ventilation et les Infiltrations. Il consiste en des polluants chimiques et des particules, émis par les véhicules, Les industries, et l'air extrait des bâtiments voisins.
- Les sources intérieures : les occupants, les matériaux de construction du bâtiment, le meuble, la literie, les appareils électroniques etc.
- Les infiltrations par le sol : radon, méthane etc.

Les principaux polluants présents dans l'air intérieur ainsi que leurs sources sont présentés dans le Tableau II.2. Il s'agit principalement des odeurs, du dioxyde de carbone (CO₂), des composés Organiques volatiles (COV), de la fumée de tabac, de l'ozone (O₃), du radon, des oxydes d'azote (Nox) et des aérosols [Axel Cablé, 2014]

Sources	Composants émis par la source
Air	Particules, SO ₂ , CO, CO ₂ , O ₃ , NO _x , pollens
Terre	Radon, COV
Eau	COV
Homme et ses activités	
Homme (et animaux domestiques)	Vapeur d'eau, CO ₂ , bactéries, odeurs
Production d'énergie (combustion)	Vapeur d'eau, COV, particules, CO, CO ₂
Activités industrielles	Plomb, toluène, styrène...
Fumée de tabac	Idem production d'énergie + Nicotine, SO ₂ , NO ₂ , Arsenic, Nphtaline
Appareils d'impression	COV
Produits ménagers	COV
Pesticides	Chlordane
Matériaux	
Matériaux de construction, rénovation	COV (dont HCNO), fongicides, amiante et autres fibres, radon
Fourniture (moquette, contre-plaqué)	COV (dont HCNO)

Tableau II.2 : Principales sources de pollution intérieure, et polluants émis par celle-ci

[Source : Axel Cablé, 2014]

II.4.3 Symptômes de santé liés à la qualité de l'air intérieur :

Une personne passe en moyenne 80% à 90% de son temps en environnement intérieur (logement, transport, lieu de travail...). Or, l'air intérieur est plus pollué que l'air extérieur. Une exposition à un air de mauvaise qualité a une conséquence néfaste sur les occupants, non seulement en termes de confort (odeurs désagréables), mais aussi en termes d'effets immédiats et à long terme sur la santé (problèmes oculaires et respiratoires, allergies, léthargie, cancers...). De plus, plusieurs études ont montré qu'il existe un lien direct entre la QAI et la productivité. [Axel Cablé, 2014]. Maintenir une bonne QAI est donc essentiel

II.4.4 La nécessité d'aération et de ventilation dans les bâtiments publics:

Chaque jour, les gens consomment 10 fois plus d'air que de nourriture ou d'eau (en volume), ce qui rend le besoin d'air frais assez important. Une dose renouvelée d'air frais et oxygéné est cruciale pour les besoins environnementaux de la vie humaine. Dans les espaces des bâtiments, l'oxygène dans l'air est partiellement remplacé par le dioxyde de carbone à travers la respiration répétée des occupants. De plus, l'air peut accumuler des bactéries et des virus et absorber les odeurs de la transpiration, du tabagisme, de la cuisson, des toilettes et d'autres processus.

Le rôle de la ventilation dans les bâtiments est d'assurer l'hygiène, le confort et la préservation de la structure de la construction. L'absence de ventilation entraîne le confinement du lieu de vie, qui peut avoir des conséquences sur la qualité de l'environnement intérieur et du bâtiment lui-même. En effet, l'aération influe sur la **qualité de l'air** et donc la santé des

occupants, en limitant l'accumulation des polluants, des fumées, la gêne provoquée par les odeurs ou encore la raréfaction de l'oxygène.

Cependant pour être efficace, la ventilation ne doit pas être elle-même une source de polluants ou permettre l'introduction de pollution extérieure. De même, elle ne doit pas être une source d'odeurs désagréables, de bruit ou d'inconfort thermique notamment par courant d'air. Enfin, les contraintes énergétiques imposées par la réglementation thermique, ne doivent pas être faites au détriment de la qualité de l'air.[Adrien Dhalluin, 2013]

II.4.5 Stratégies de ventilation pour la qualité d'air intérieur dans les atriums :

La ventilation est essentielle pour maintenir la qualité de l'air intérieur. Historiquement, cet aspect a été résolu de manière naturelle, au moyen de la maîtrise des conditions climatiques du lieu et les ouvertures du bâtiment. Cependant, durant les années 1930 le développement de la technologie des moteurs électriques, ventilateurs et conduits a permis le contrôle mécanique de la ventilation, reléguant au second plan les stratégies passives de ventilation naturelle [Esteban Emilio, 2011].

De ce fait deux Stratégies de ventilation sont recommandées pour maintenir une qualité d'air dans les espaces d'atrium, nous distinguons :

a) Stratégie passive pour le mouvement de l'air (ventilation naturelle):

Une bonne circulation d'air est d'une importance cruciale pour le confort et le bien-être des occupants dans l'environnement intérieur. L'utilisation des espaces d'atrium aide à déplacer passivement l'air à travers le bâtiment sans besoin de force mécanique (Voir Fig II.17). Le mouvement passif par convection à commande thermique est basé sur l'effet de cheminée dans les atriums. Les grandes hauteurs dans les oreillettes stratifient naturellement l'air de différentes températures, et donc les densités, créant un différentiel de pression vertical. L'air chaud monte au sommet de l'atrium qui veut s'échapper et aspire l'air des espaces environnants pour remplir le vide et ainsi mettre en place des écoulements convectifs, le mouvement passif est alors utile pour garder l'air circulant à travers le bâtiment et fournir les échanges d'air nécessaires pour maintenir la qualité de l'air intérieur (QAI).

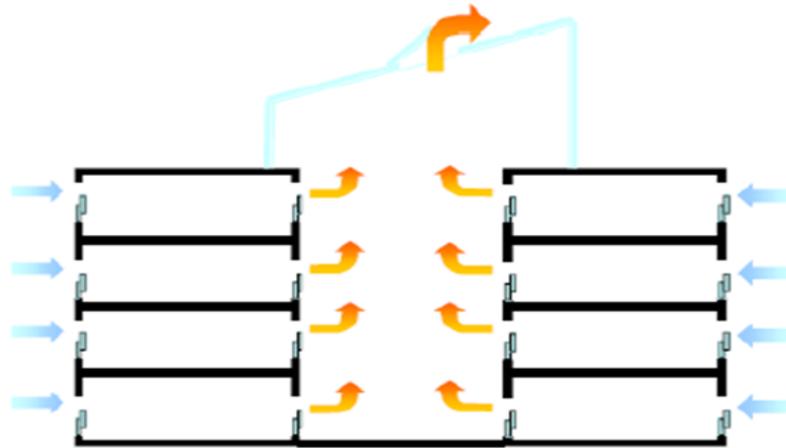


Figure II.17 Stratégie passive favorisant la ventilation naturelle dans l'espace atrium

[Source : Adrien Dhalluin, 2013]

D'autres techniques peuvent se prêter à l'efficacité de l'atrium dans l'air en mouvement passif. Avec l'ajout de cheminées solaires ou un système de collecte du gain solaire, les forces de stratification de l'air peuvent être accentuées en créant des flux par convection plus forts. Ou bien, simplement en utilisant le vent pour induire des courants convectifs, l'air se déplace et refroidit le bâtiment. L'air entrant dans le côté au vent d'un bâtiment est redirigé pour sortir par le haut de l'atrium. Le vent qui coule au-dessus d'un bâtiment crée un différentiel de pression qui aspire naturellement l'air des événements d'évacuation. Une pression négative est créée sur le côté sous le vent du bâtiment, aspirant l'air dans et hors de l'atrium. Ces méthodes augmentent le taux d'échange d'air.

b) Stratégie active pour le mouvement de l'air (ventilation mécanique):

Il devient clair que le besoin de ventilation est très important dans la conception du bâtiment. Nous savons que le mouvement de l'air dans un bâtiment doit se produire à un rythme continu et constant afin d'assurer qu'aucun contaminant de l'air ne s'accumule.

La norme 62.1 d'ASHRAE (2010) exige maintenant que la plupart des bâtiments conçus pour répondre aux exigences de ventilation naturelle comprennent un système de ventilation mécanique conçu pour répondre aux exigences de QAI; le fonctionnement du système mécanique doit être activé chaque fois que les conditions empêchent le fonctionnement du système de ventilation naturelle (par exemple, en raison du confort thermique, du bruit, de la sécurité ou d'autres problèmes) [ASHRAE Standard 62.1-2010]

De ce fait, la ventilation mécanique consiste à forcer l'apport et/ou l'extraction de l'air de façon régulière et éventuellement modulable à l'aide d'un ou plusieurs ventilateurs, afin d'assurer un renouvellement d'air suffisant et maîtrisé [AdrienDhalluin, 2013]. Bien que la quantité de ventilation nécessaire pour assurer une QAI acceptable dépend de la quantité et de la nature de la source de pollution dominante dans un espace. La détermination du taux de ventilation correct peut être une tâche complexe, car il existe de nombreux polluants potentiellement préoccupants, chacun ayant des taux d'émission mal caractérisés et des niveaux d'exposition acceptables mal définis. [Barry Smith Jr, 2008]

c) Stratégie hybride pour le mouvement de l'air :

La ventilation hybride est un système de ventilation naturelle assistée mécaniquement afin de compenser le manque de tirage thermique pour atteindre les débits de ventilation nécessaires. Il est possible d'adapter une solution de ventilation naturelle assistée mécaniquement dans le cas de l'atrium. En équipant les sorties d'air de ventilateurs extracteurs, il est possible de forcer la ventilation les jours où le débit naturel n'est pas suffisant, tels que les jours de grande chaleur.

Lorsque la ventilation naturelle est utilisée en saison de chauffage, il est indispensable de prévoir des modules automatiques de régulation des débits pour que ce mode de ventilation n'engendre pas de déperditions excessives. Une solution consiste à associer dans le même bâtiment deux modes de ventilation : une ventilation mécanique automatisée pendant la saison de chauffage et une ventilation naturelle hors saison de chauffage. [guides bio-tech]

II.4.6 Taux de ventilation recommandés :

Le taux de renouvellement d'air doit être suffisant pour fournir suffisamment d'air neuf afin d'assurer la santé et le confort des occupants. Ceci est généralement le critère de dimensionnement retenu pour l'hiver. Cependant, pendant l'été, le taux de renouvellement d'air doit être suffisant pour permettre l'évacuation des gains de chaleur internes et maintenir des conditions de confort acceptables. Donc les taux de ventilation d'été doivent en général être d'un ordre de grandeur supérieur à ceux nécessaires en hiver.

En pratique, les taux de ventilation sont souvent mesurés par les taux de renouvellement de l'air définis comme le nombre de changements de volume complets subis par un espace dû à la ventilation chaque heure. Voir la formule 4.

$$ACH = \frac{\text{cfm} \times 60\text{min/hr}}{\text{volume of space ventilated (cf)}} \dots\dots\dots(4)$$

$$ACH = \frac{\ell/s \times 3600 \text{ sec/hr}}{\text{volume of space ventilated (m}^3\text{)}}$$

Les taux recommandés de ventilation peuvent être trouvés dans le tableau II.3 pour quelques bâtiments non résidentiels. [Barry Smith Jr, 2008]

Occupancy Category	People Outdoor Air Rate R_p		Area Outdoor Air Rate R_a		Notes	Default Values		Air Class	
	cfm/person	L/s-person	cfm/ft ²	L/s-m ²		Occupant Density (see Note 4)	Combined Outdoor Air Rate (see Note 5)		
						#/1000 ft ² or #/100 m ²	cfm/person L/s-person		
Correctional Facilities									
Cell	5	2.5	0.12	0.6		25	10	4.9	2
Dayroom	5	2.5	0.06	0.3		30	7	3.5	1
Guard stations	5	2.5	0.06	0.3		15	9	4.5	1
Booking/waiting	7.5	3.8	0.06	0.3		50	9	4.4	2
Educational Facilities									
Daycare (through age 4)	10	5	0.18	0.9		25	17	8.6	2
Daycare sickroom	10	5	0.18	0.9		25	17	8.6	3
Classrooms (ages 5–8)	10	5	0.12	0.6		25	15	7.4	1
Classrooms (age 9 plus)	10	5	0.12	0.6		35	13	6.7	1
Lecture classroom	7.5	3.8	0.06	0.3		65	8	4.3	1
Lecture hall (fixed seats)	7.5	3.8	0.06	0.3		150	8	4.0	1
Art classroom	10	5	0.18	0.9		20	19	9.5	2
Science laboratories	10	5	0.18	0.9		25	17	8.6	2
University/college laboratories	10	5	0.18	0.9		25	17	8.6	2
Wood/metal shop	10	5	0.18	0.9		20	19	9.5	2
Computer lab	10	5	0.12	0.6		25	15	7.4	1
Media center	10	5	0.12	0.6	A	25	15	7.4	1
Music/theater/dance	10	5	0.06	0.3		35	12	5.9	1
Multi-use assembly	7.5	3.8	0.06	0.3		100	8	4.1	1
Office Buildings									
Breakrooms	5	2.5	0.12	0.6		50	7	3.5	1
Main entry lobbies	5	2.5	0.06	0.3		10	11	5.5	1
Occupiable storage rooms for dry materials	5	2.5	0.06	0.3		2	35	17.5	1
Office space	5	2.5	0.06	0.3		5	17	8.5	1
Reception areas	5	2.5	0.06	0.3		30	7	3.5	1
Telephone/data entry	5	2.5	0.06	0.3		60	6	3.0	1
Public Assembly Spaces									
Auditorium seating area	5	2.5	0.06	0.3		150	5	2.7	1
Places of religious worship	5	2.5	0.06	0.3		120	6	2.8	1
Courtrooms	5	2.5	0.06	0.3		70	6	2.9	1
Legislative chambers	5	2.5	0.06	0.3		50	6	3.1	1
Libraries	5	2.5	0.12	0.6		10	17	8.5	1
Lobbies	5	2.5	0.06	0.3		150	5	2.7	1
Museums (children's)	7.5	3.8	0.12	0.6		40	11	5.3	1
Museums/galleries	7.5	3.8	0.06	0.3		40	9	4.6	1

Tableau II.3 : Taux de ventilation minimum recommandés pour certains espaces selon les normes ASHRAE 2010

[Source, ASHRAE Standard 62.1-2010]

II.4.7 Standards

Selon le standard 62.1 d'ASHRAE (2010) une qualité d'air acceptable est celle dans laquelle il n'y a pas de contaminants connus à des concentrations nocives telles que déterminées par les autorités compétentes et avec lesquels une majorité substantielle (80% ou plus) des personnes exposées n'expriment pas d'insatisfaction.

Divers standards établissent les paramètres requis pour atteindre cette qualité. L'un des aspects vitaux correspond au débit d'air frais qui est introduit dans l'espace. Normalement, ce débit d'air s'exprime en termes de CFM (Cubic Feet per Minuté) ou l/s (litres par seconde), mais il peut aussi être exprimé par rapport à la surface de l'espace (CFM/ft^2 ou $\text{l/s}/\text{m}^2$) ou par rapport à ses occupants (CFM/p ou $\text{l/s}/\text{p}$), ou encore par rapport aux changements d'air par heure (CAH ou ACH, Air Changes per Hour).

Des normes telles que ASHRAE 62.1 (2004) et prEN 13779 (2003) indiquent des limites pour les concentrations de CO_2 sous la forme d'un rapport entre la concentration extérieure de CO_2 et le niveau à l'intérieur de l'espace. Par exemple, la norme européenne prEn 13779 définit quatre types de qualité d'air intérieur selon la différence entre la concentration de CO_2 intérieure et extérieure. [Esteban Emilio, 2011]. (Voir tableau II.4).

Catégorie	Description	Niveau de CO_2 au dessus du niveau de l'air extérieur (ppm)	
		Valeurs typiques	Valeur par défaut
IDA 1	Haute qualité de l'air intérieur	<400	350 (650 à l'intérieur)
IDA 2	Moyenne	400-600	500 (800 à l'intérieur)
IDA 3	Modérée	600-1 000	800 (1200 à l'intérieur)
IDA 4	Faible	> 1 000	1 200 (1500 à l'intérieur)

Tableau II.4 : Catégories et niveaux recommandables de qualité d'air intérieur selon la concentration de CO_2 . « Une haute qualité de l'air intérieur correspond à 350 ppm au-dessus du niveau de CO_2 à l'extérieur. Si on considère que la concentration extérieure se situe normalement à 300ppm, le niveau intérieur serait 650 ppm »Norme prEN 13779 (2003).

[Source : Esteban Emilio, 2011].

Conclusion:

Dans ce chapitre nous nous sommes penchés sur la compréhension du comportement thermique de l'atrium, il a été clarifié que le climat extérieur est un facteur majeur qui suggère la stratégie thermique appropriée pour l'atrium suivi bien sûr par la configuration du bâtiment elle-même, nous avons cependant identifié les différents types de conception thermique d'atrium. Par ailleurs nous avons mis en exergue les échanges thermiques qui peuvent influencer sur le comportement thermique intérieur de l'atrium.

Comme il ressort de ce chapitre que les conditions de température intérieure dans un bâtiment à atrium peuvent varier assez largement par rapport à certaines configurations. La prise en compte de la configuration géométrique lors de la conception d'atrium, implique de prendre en considérations des différents paramètres, notamment ; des paramètres dimensionnels tels que hauteur, largeur, ou ; spatiaux elle que l'organisation interne, ou la surface vitrée et mêmes d'autres stratégies passives comme la ventilation naturelle (diurne et nocturne).

Par conséquent, il faut savoir, comment certains de ces paramètres affectent le comportement thermique de l'atrium. Cela nous servira plus tard dans la partie pratique où seront analysés les paramètres critiques pour l'atrium en essayant d'obtenir le meilleur résultat.

Chapitre III :

Etat De l'Art



Introduction :

Avant d'entreprendre une analyse sur le comportement thermique de l'atrium dans notre cas étude, il nous a paru utile de présenter une série d'études menées par des chercheurs et spécialistes du domaine, en faisant appel à plusieurs paramètres relatifs à ce dispositif, dans le but d'acquérir la meilleure méthode pour l'approche expérimentale, cependant il était impératif de sélectionner des expériences spécifiques et diversifiés dont l'objectif reste unique.

Des études de cas, des algorithmes et des programmes informatiques ont été utilisés largement par plusieurs chercheurs pour fournir des conseils simples en quantifiant les effets des paramètres de l'atrium sur le comportement et la performance thermique, à titre d'exemple : Lin et Linden, Holford et Hunt, et Wang et al, ont utilisé séparément des analyses théoriques et expérimentales pour évaluer les performances thermiques des atriums avec différents aspects d'ouverture (taille, l'emplacement et le statut). Plus tard, Ji et Cook ont utilisé un modèle numérique pour confirmer les résultats analytiques obtenus à partir de l'étude menée par Holford et Hunt avec leurs données obtenues. Ding et al, Walker et al ont également étudié le même sujet en utilisant une analyse expérimentale et modèle de simulation CFD [Leila Moosaviet al, 2014]. Yoshino à son tour a étudié également le comportement thermique et les stratégies de ventilation dans l'atrium en comparant quatorze bâtiments à atrium en Japon (1995) parmi deux cents atriums en comparant les données mesurées sur les profils verticaux de température dans les atriums afin de traiter finalement la relation entre le gradient de température et le type d'atrium avec différentes méthodes de contrôle de l'environnement.

Dans ce qui suit, nous allons focaliser notre intérêt beaucoup plus sur les études paramétriques car la connaissance des paramètres de conception est utile pour atteindre les résultats voulus, ces résultats nous serviront plus tard quand il s'agira d'entreprendre les travaux de simulation.

III.1 Etudes paramétriques :

Parmi les études dédiées à l'analyse paramétrique nous citons l'exemple des travaux de recherche menés par **A.N Ayoob** et **J.L Izard**, en **1994** où, la ventilation naturelle et certains paramètres de conception qui ont un impact sur le comportement thermique d'un atrium ont été effectués, pour le confort d'été dans le climat tempéré, ainsi que la combinaison de quelques paramètres entre eux ont été simulés dont l'objectif est d'aider dans la première étape d'autoriser une optimisation des paramètres de conception d'un atrium bioclimatique. Mais

dans cette étude nous allons focaliser notre intérêt beaucoup plus sur l'analyse des paramètres qui nous aideront pour notre recherche. Dans cette étude, la simulation thermique dynamique des modèles étudiés a été réalisée à l'aide d'un code-SIMULA pour le calcul des gains solaires et les températures intérieures. Une chaude journée d'été typique pour un climat méditerranéen (latitude de $43^{\circ} 7'$) a été établie.

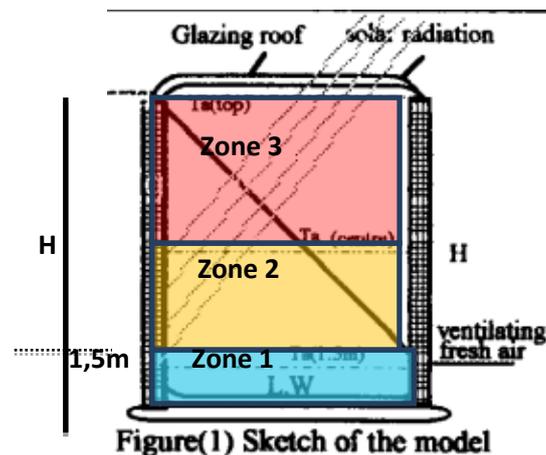


Figure III.1 schéma sur le modèle de l'atrium simulé

[Source : Ayoob, 1994].

En premier lieu l'évolution de la température Intérieure le long de la hauteur a été simulée pour un modèle d'atrium de (10x10x10m) pour une journée de 21/7d'été sous deux taux de ventilations (4v/h, et 20v/h), la température de l'air Intérieure a été observée en trois zones le long de la hauteur d'atrium.

En générale il a été constaté que la température intérieure excède la température ambiante par une quantité qui dépend fortement des gains d'énergie solaire par chaque zone, automatiquement la zone supérieure est exposée au plus haut solaire.

A partir des résultats des simulations, les conclusions avancées sont les suivantes :

- a) Du point de vue de confort thermique :** il a été constaté que la zone inférieure d'atrium est la plus confortable, et que le taux de ventilation peut améliorer le niveau du confort.

b) **Impact du coefficient Cv (Cv = surface du vitrage du toit / volume de l'atrium) et le taux de ventilation sur les températures intérieures :** Les résultats ont confirmé que l'impact du coefficient Cv est assez peu sur la performance avec un taux élevé de ventilation, en revanche cette influence est plus importante avec un petit taux de ventilation, cette dernière a influencé considérablement l'air jusqu'à une certaine limite où l'augmentation du taux de ventilation devient inutile.

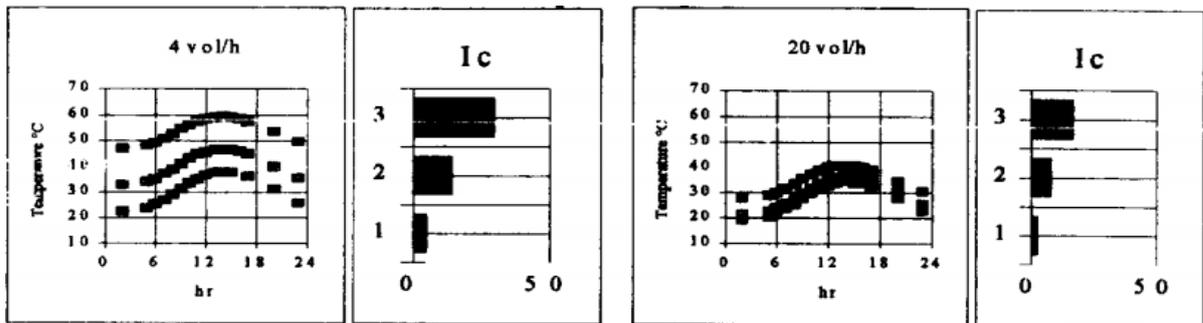


Figure III.2 Evolution de la température dans les différentes zones de l'atrium pour 4 et 20 vol / h et l'indice de confort est représenté par Ic pour les différentes zones de l'atrium (CV= surface du toit vitré/Volume de l'atrium)

[Source : Ayoob, 1994].

c) **Impact des configurations d'atrium sur le comportement thermique :**

Différents modèles d'atrium de 1000 m³ de volume, et 50% et 100 % d'ouvertures de toit solaire vitré en terme de Cv, sont simulés à 1,5m au-dessus du niveau du sol, avec 4 configurations géométriques différentes de rapport ($H^2/L.W$).

Configuration		Résultats (confort thermique)
$H^2 / L.W = 1$	Cv= 0,1	-
	Cv= 0,05	+
$H^2 / L.W = 0.02$	Cv= 0,2	-
	Cv= 0,1	+
$H^2 / L.W = 8$	Cv= 0,05	+
	Cv= 0,025	+
$H^2 / L.W = 3.6$	Cv= 0,06	+
	Cv= 0,03	+

Tableau III.1 tableau explicatif montrant les résultats de l'impact des différentes configurations sur le confort thermique

[Source : Ayoob, 1994 réadapté par auteur].

D'après les résultats, il a été constaté que l'atrium le plus haut a le plus grand confort, ainsi que l'impact de l'ouverture de vitrage d'une toiture solaire est plus important avec l'atrium à hauteur basse. Le tableau III.1 résume les résultats. et quelques résultats qui représentent la température intérieure sont montrés sur la figure (III.3).

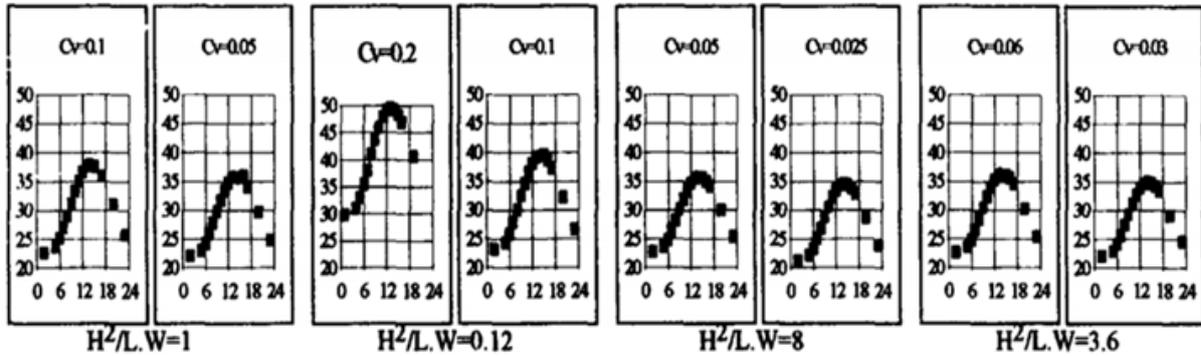


Figure III.3 la température de l'air intérieur à 1,5 m au-dessus du niveau du sol pour différentes configurations

[Source : Ayoob, 1994]

d) Impact de l'inclinaison du vitrage de la toiture:

L'influence de l'inclinaison du toit vitré est examinée pour un atrium de configuration ($H^2/L.W=1$) pour les différents coefficients $C_v= 0,05$ et $0,1$, et pour les différents angles (0° , 30° , 45° , 60°) il a été constaté que tout en augmentant l'angle d'inclinaison, la température de l'air se diminue quel que soit le C_v , donc l'angle supérieur est le meilleur pour le confort thermique.

Cv=0.05					Cv=0.1				
angle α	0	30	45	60	angle α	0	30	45	60
Q (kWH)	371	336	240.	192	Q (kWH)	630	396	360	276.
Tmax °C	40	36.1.	34.7	32.6	Tmax °C	46.7	38.2	36.1	34.1

Figure III.4 Les gains d'énergie solaire journaliers et la température intérieure maximale sous différents angles de toit

[Source : Ayoob, 1994]

L'étude conclut que les résultats des analyses de certains paramètres peuvent aider le concepteur à obtenir dès la première étape de la conception un atrium bioclimatique. L'ouverture de la toiture vitrée solaire, son inclinaison, ainsi que la configuration géométrique auront besoin de certaine amélioration correspondant à la ventilation naturelle nécessaire qui peut être considérée comme un outil bioclimatique important pour contrôler la température intérieure et améliorer le confort aussi bien que les autres facteurs.

D'autres deux études paramétriques vues précédemment au deuxième chapitre, étudient également l'impact des dimensions de l'atrium sur son comportement thermique, mais étant donné le manque de détail sur ces deux études, nous allons essayer de présenter un résumé des résultats. La première correspondant à l'effet de la hauteur sur les températures intérieures, cette dernière a été menée par **Crozet** en **1981** dans le cadre de sa thèse, l'auteur a simulé une galerie à atrium à 13 h durant une journée d'hiver en variant la hauteur de 3m jusqu'à 12m, les résultats ont montré que tout en augmentant la hauteur, les températures de l'air au niveau bas de la galerie diminueront, par contre, les températures au niveau supérieur resteront les mêmes quelle que soit la hauteur, elles sont mêmes légèrement inférieures dans le cas le plus haut. A cet effet l'auteur a déterminé une hauteur de 4 m comme hauteur optimal à laquelle la température maximal est atteinte.

La deuxième étude vise à étudier les effets de la largeur sur la stratification thermique, les auteurs ont simulé deux atriums de volume presque identiques qui est égal à 18000m^3 , mais de largeurs différentes, 9m pour le premier contre 28m pour le second. Cette étude s'appuie sur une approche expérimentale et numérique où des corrélations ont été établies à partir des mesures effectuées dans les atriums en faisant intervenir quatre paramètres à savoir : la température de l'air extérieure, la hauteur du soleil, le rayonnement solaire global et la vitesse du vent. Les résultats des simulations obtenues ont montré une différence dans la stratification de l'air entre les deux configurations, il appert que l'atrium étroit a une stratification importante par rapport à l'atrium large. Ceci a été expliqué par l'enselement, car l'atrium étroit de par ses proportions reçoit le rayonnement solaire uniquement à sa partie haute, inversement à l'atrium large qui est soumis aux pénétrations solaires réparties sur toute sa hauteur. Comme il a été constaté que les gradients thermiques horaires de l'atrium étroit sont toujours supérieurs par rapport à l'atrium large quelle que soit la saison. Par ailleurs d'autres corrélations ont été établies pour étudier les variations des températures moyennes pour des différentes hauteurs, d'après les résultats, les gradients ont montré une progression linéaire de température, néanmoins cette progression devient plus accentuée à partir d'une hauteur de 14,6m, car à ce niveau d'hauteur que la tache

solaire et localisée. Cependant, dans le cas de l'atrium large, la stratification se fait graduellement avec les variations de la hauteur sans aucun changement de comportement, cela a été expliqué d'après les auteurs par la répartition large de la tache solaire ainsi qu'un bon mixage de l'air favorisent probablement un tel comportement.

Une autre étude paramétrique menée par **Hussain Shafqat** en **2012**, a été entreprise dans le but d'examiner numériquement l'environnement thermique intérieur dans des atriums de différentes configurations géométriques pour lesquels des données expérimentales ont été disponibles, et voir leur effet sur la performance du bâtiment, tout en évaluant les paramètres qui peuvent réduire la consommation énergétique et améliorer le confort thermique intérieur pendant l'été. Les investigations numériques ont été prises en utilisant les techniques de CFD. Ces derniers ont été comparés avec les mesures expérimentales disponibles et, en général, un bon accord a été obtenu. Dans ce travail l'un des atriums qui ont été simulés, est situé à l'université Concordia de Montréal, Canada, ce dernier comprend trois étages avec un système de ventilation hybride assisté par un système solaire, l'auteur a évalué les conditions du confort thermique sous les conditions de ventilations hybride. Les résultats ont montré une importante stratification de température de l'air dans cet atrium de trois étages dans le cas où le système de ventilation naturelle était OFF et les stores étaient fermés. Néanmoins cette Stratification a été moins élevée avec le système naturel de ventilation ON, ceci a été expliqué par la forte convection créée dans l'atrium, ce qui entraîne un fort effet de cheminée, créant un flux entrant aux étages inférieurs et donnant lieu à des débits d'air supérieurs aux grilles des étages et dans l'échappement de l'atrium supérieur.

Une autre évaluation a été portée sur un modèle d'un simple bâtiment à atrium de trois étages afin d'étudier l'effet des différentes configurations (A,B ,C, D, E, et F) sur la performance du bâtiment (Voir Fig III.5) . Une série de simulations CFD ont été exécutés pour une chaude journée typique à 13:00 h le 15 Juillet, 2010, et a été supposé être situé et orienté comme le bâtiment à l'Université Concordia, Montréal, Canada.

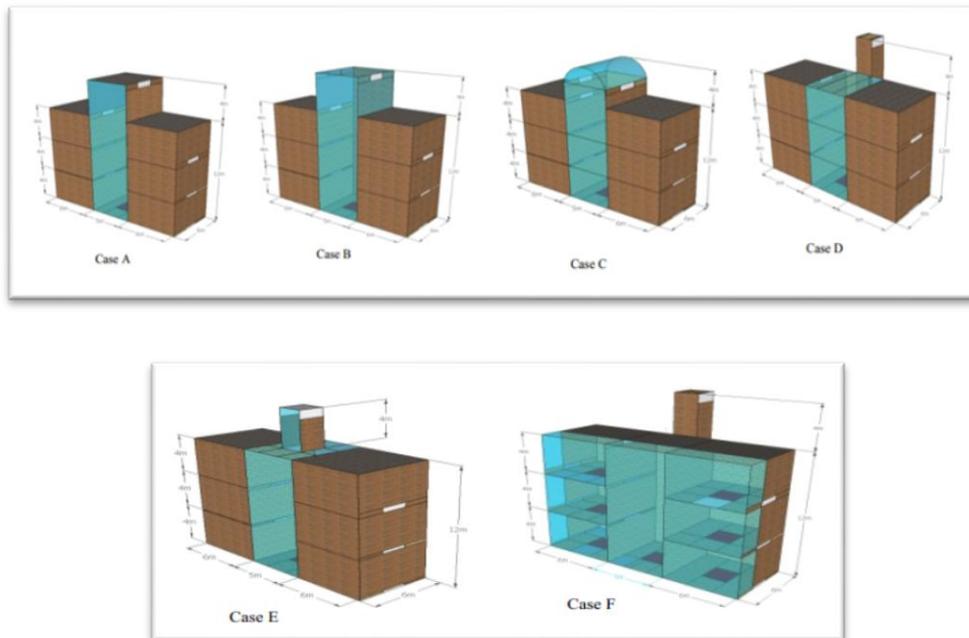


Figure III.5 les différents changements de configuration de l'espace atrium étudié

[Source Hussain Shafqat, 2012]

A partir des résultats obtenus, il a été constaté qu'avec l'augmentation de la surface du vitrage, le débit volumique de ventilation et les valeurs de température augmentent en raison du gain de chaleur solaire accrue (cas B, et F). Cependant, le cas C, qui a un toit en forme de dôme et où l'emplacement des d'échappement sont été abaissé de 2m, le débit de ventilation dans l'étage supérieur a considérablement réduit en raison de la réduction des forces de flottabilité. Ceci a été compensé par une augmentation de la taille d'entrée de l'étage supérieur, pour les cas D, E et F, l'atrium intégré avec une cheminée solaire a été examinée, cette option a affecté aussi le débit de ventilation à l'étage supérieur. En général il a été constaté que toutes les géométries considérées offrent de bonnes performances (Voir Fig III.6).

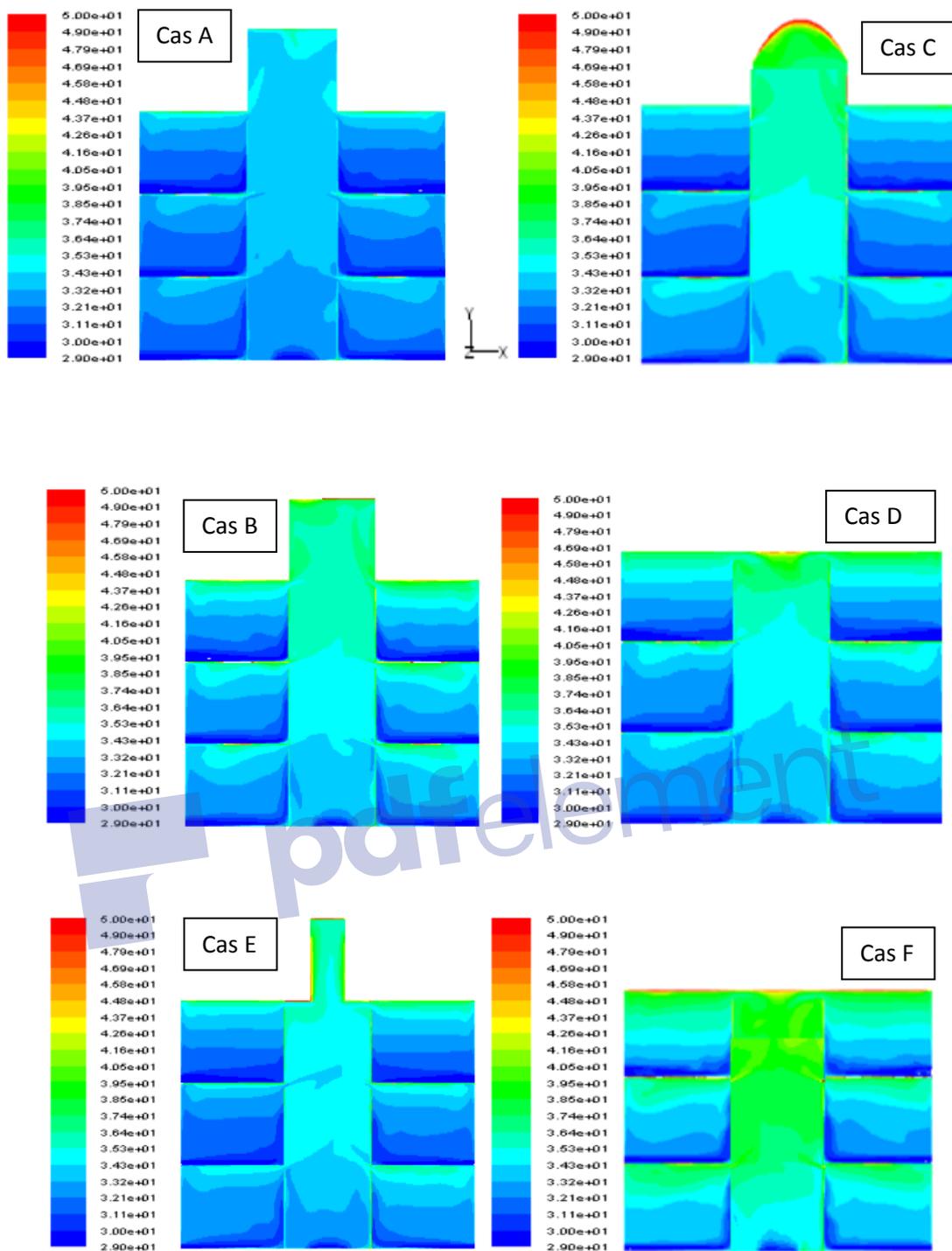


Figure III.6 Résultats des simulations CFD montrant les contours de température sur le plan central de l'immeuble parallèlement à la vitre de la façade pour tous les cas étudiés

[Source : Hussain Shafqat, 2012]

Par la suite Le cas E a été pris pour une étude paramétrique. Pour ce qui est de paramètres géométriques (profondeur, largeur de l'atrium), ces derniers ont été modifiés un par un à l'aide

de trois valeurs pour chaque paramètre, d'après les résultats, il a été observé qu'avec une augmentation de la profondeur de l'atrium de 2 m, le débit volumique augmente de 4%, et une petite augmentation des valeurs de température dans chaque étage. Ainsi que l'augmentation de la largeur de l'atrium de 1 m a provoqué une augmentation de 4% dans le débit volumique avec une légère augmentation de température, un changement qui n'avait pas une influence significatif sur la performance de la ventilation naturelle. Cette étude a compris une analyse exhaustive.

Continuellement dans le lot des études consacrées aux atriums et leur comportement thermique, nous complétons nos recherches par les travaux de **Ayşe Miray Gemi**, en **2006**, dans le cadre de sa thèse. Cette étude vise à analyser et évaluer la performance thermique des bâtiments à atrium à travers une analyse d'une étude de cas d'un bâtiment existant à Esslingen, en Allemagne, afin de parvenir à une véritable conception de l'atrium, en utilisant un programme de simulation dynamique TRNSYS 16, les calculs ont été faites pour les deux périodes, estivale et hivernale, comme il n'a été utilisé aucune stratégie passive sur l'atrium. Pour toute la période estivale (Juin-Juillet- Aout), les résultats ont montré un gradient de température très élevé, la température extérieure a été supérieure à la zone de Rez-de -chaussée et premier étage, tandis que les températures des niveaux supérieurs ont porté des valeurs plus élevées (Voir Fig III.7 et III.8). Dans le cas d'hiver il a été observé que les températures de l'atrium sont toujours au-dessus des températures extérieures en raison des gains internes élevés (Voir Fig III.9 et Fig III.10).

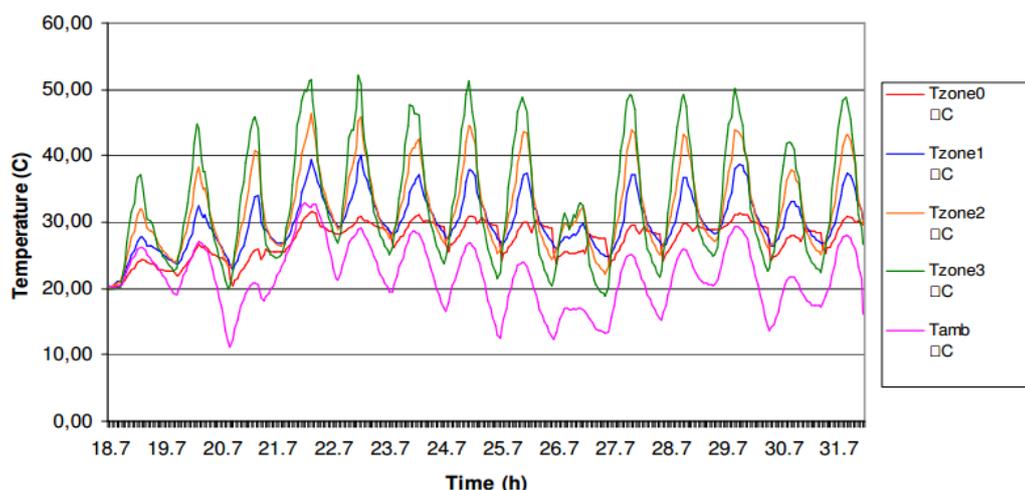


Figure III.7 Température extérieure et intérieure pour les différentes zones d'atrium du cas de base en deux semaines les plus chaudes (18 Juillet-31juillet)

[Source :AyşeMirayGemi,2006]

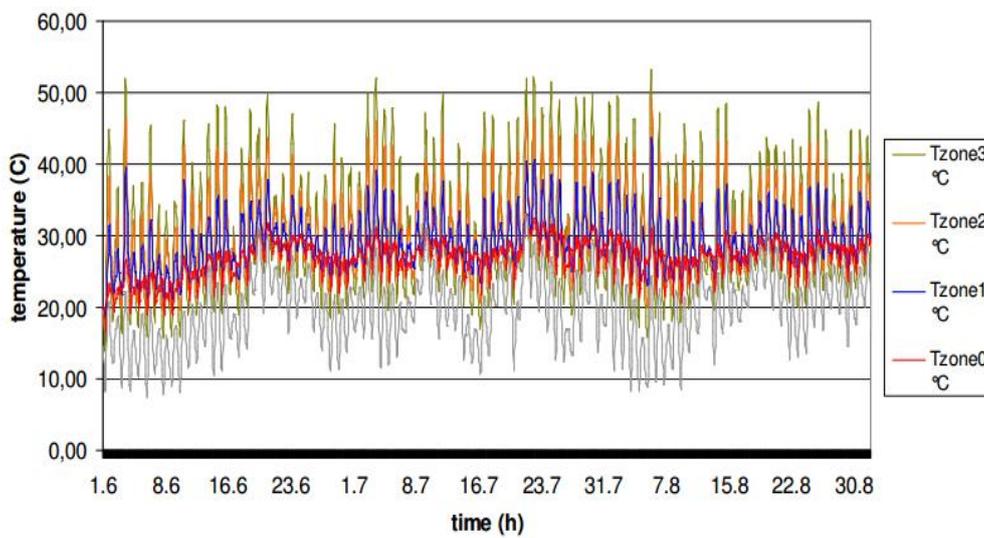


Figure III.8 Température extérieure et intérieure pour les différentes zones d’atrium du cas de base en période estivale (Juin-Juillet-Aout)

[Source :AyşeMirayGemi,2006]

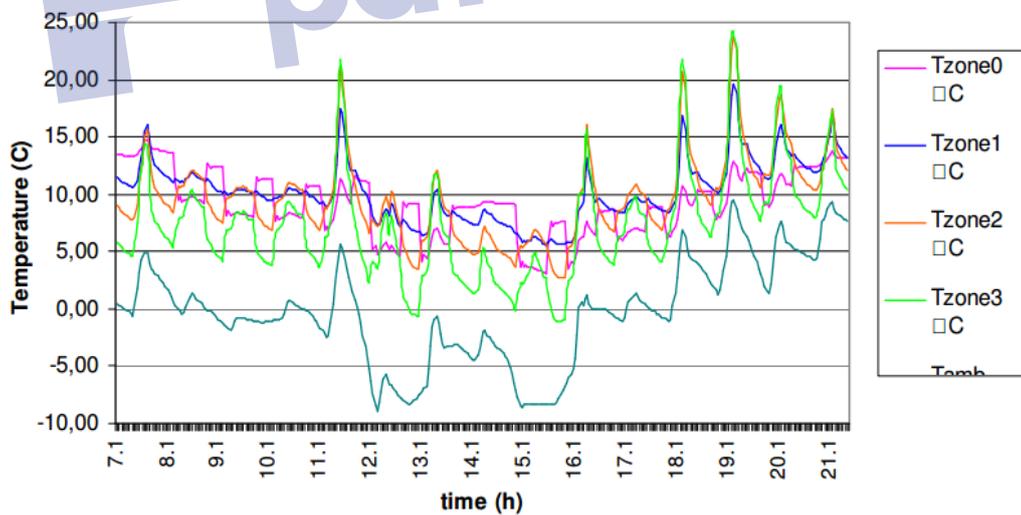


Figure III.9 Température extérieure et intérieure pour les différentes zones d’atrium du cas de base en deux semaines les plus chaudes (7 Janvier-21juillet)

[Source :AyşeMirayGemi,2006]

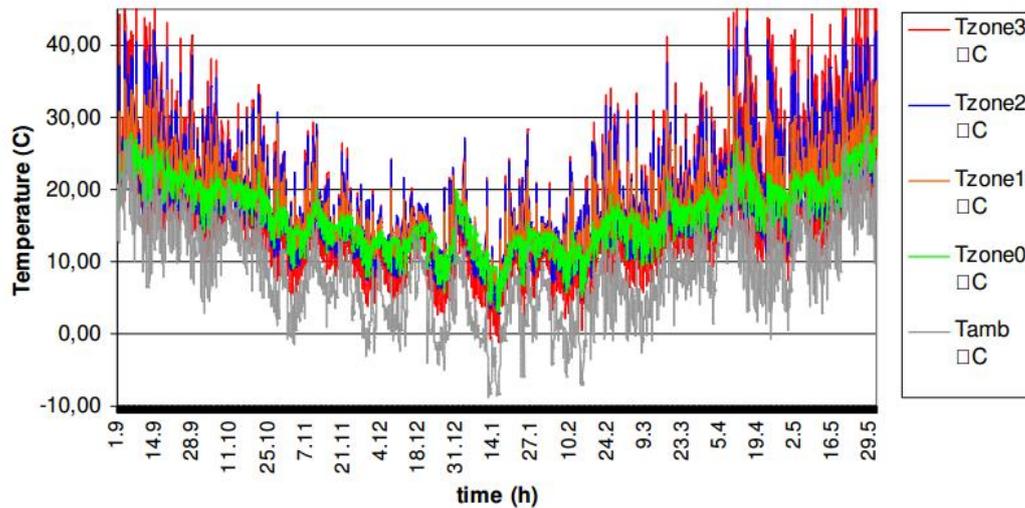


Figure III.10 Température extérieure et intérieure pour les différentes zones d'atrium du cas de base en période hivernale (Sep-Mai)

[Source :AyşeMirayGemi,2006]

Après l'application de la simulation, plusieurs stratégies passives de contrôle ont été appliquées et analysées (ventilation naturelle, refroidissement nocturne et la masse thermique, protection solaire, etc) sur le cas de base pour obtenir la solution optimale. Et afin d'obtenir les meilleures performances, une combinaison des meilleurs résultats obtenus pour chaque stratégie passive a été faite, cette combinaison a montré une meilleure performance notamment pour l'amélioration des conditions du confort thermique d'été et d'hiver ainsi que pour l'économie d'énergie. Après avoir évalué les performances sur l'atrium, l'étude a abordé même l'impact de la performance thermique de l'atrium sur la performance et la charge énergétique des espaces adjacents, et afin de comprendre cet effet, des différents cas ont été menés, en simulant les espaces adjacents une fois sans atrium, une fois avec, et une autre variante avec un atrium optimisé par ses différentes stratégies. Les résultats ont indiqué que l'incorporation de l'atrium dans le bâtiment a réduit considérablement les charges thermiques et énergétiques des espaces adjacents, et en l'optimisant, la réduction est encore plus accentuée. Dans l'ensemble de cette étude, il a été conclu que l'application de l'atrium exige une série de stratégies passives pour une meilleure performance thermique et énergétique, et que l'atrium peut se comporter différemment dans les différentes périodes de l'année, ce qui exige un atrium conçu par des stratégies solaires passives ajustées d'une manière saisonnière, comme il peut être réalisé par des systèmes de gestion des bâtiments intelligents.

Une étude de modélisation a été effectuée par « Kittitach Pichatwatana, et Fan Wang , 213 » afin d'étudier l'impact de la configuration des protections solaires sur la minimisation de la température différentielle entre le niveau le plus bas et le dernier étage, et de prédire l'environnement thermique interne. Dans cette intention, une modélisation d'un bâtiment commercial à atrium dans le Sud de la Chine de climat tropical a été faite pour étudier les effets des deux formes de protection solaire internes; La première configuration de la protection solaire est juste avec le niveau du plafond et la deuxième en dessous du toit incurvé d'atrium, couvrant à la fois les jours couverts et le jour clair en été et en hiver, dont la simulation a été accomplie par le logiciel TAS de simulation thermique dynamique.

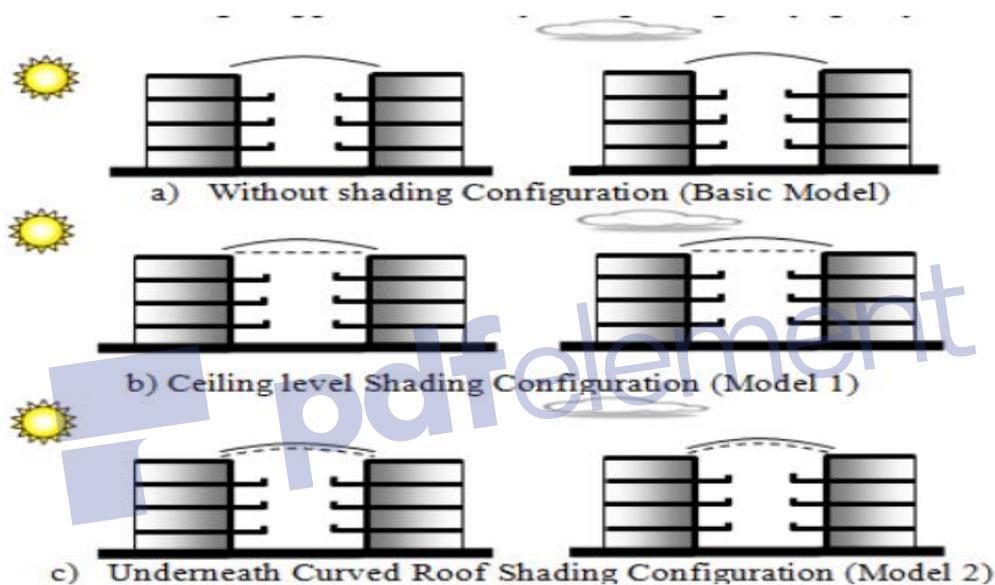


Figure III.11 Les trois conditions de simulation du modèle de protection interne pour les six configurations testés

[Source : Kittitach Pichatwatana, et al, 2013]

Les simulations de Six scénarios ont été effectuées pour étudier l'effet du comportement thermique interne :

- Modèle sans ombrage interne (modèle de base)
- Modèle avec ombrage interne au niveau du plafond (modèle 1)
- Modèle avec ombrage interne sous le toit courbé (modèle 2)

Ces trois modèles couvrant à la fois les jours couverts et le jour clairs des deux périodes d'été et d'hiver (voir Figure III.11).

Les résultats de la prédiction ont montré que la stratification de la température de l'air dans l'atrium diminue de manière significative avec l'installation des dispositifs d'ombrage internes pour les deux configurations représentatives. La configuration d'ombrage au niveau du plafond (Modèle 1) était généralement plus efficace que la configuration de l'ombre de toit courbe (Modèle 2) en termes de meilleure performance thermique interne, comme elle a pu améliorer le confort thermique dans l'atrium en été en réduisant la température de l'air dans la plage de 0,93 à 0,95% et la température résultante dans la plage de 2,00-4,13% respectivement dans les niveaux occupés. Cependant Les températures dans le bâtiment de l'atrium n'étaient pas si élevées. Les stores solaires internes ne devraient pas être prolongés. Il a été donc recommandé de mettre en place des dispositifs d'ombrage rétractables pour offrir un meilleur confort thermique interne.

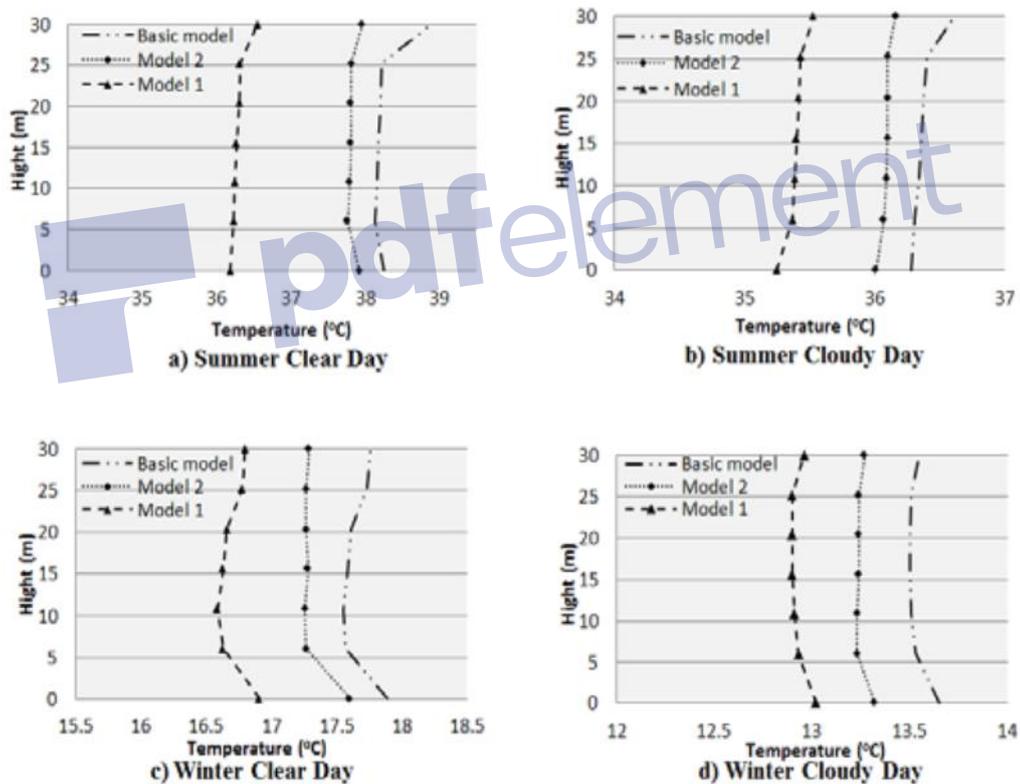


Figure III.12 Comparaison de la température résultante prédite dans l'atrium du rez-de-chaussée pour les trois modèles

[Source : Kittitach Pichatwatana, et al, 2013]

Une étude plus récente qui traite le rôle de la géométrie de l'atrium dans la consommation énergétique, a été faite par un groupe des chercheurs (WANG Lan, HUANG QiongZHANG QiXU Hong , Richard K.K. YUEN) en 2017. Cette étude a pour but d'étudier la manière dont la géométrie de l'atrium affecte l'environnement thermique et d'éclairage intérieur et finalement la consommation d'énergie d'un bâtiment entièrement climatisé dans un climat froid en Chine. Un atrium fermé entièrement climatisé avec un plan carré et une section transversale a été considéré dans cette recherche. De plus, des atriums avec différentes tailles de sections (SAR) et ouverture sont été étudiés. La taille optimale du puits de lumière pour une hauteur spécifique basée sur l'objectif de minimiser la consommation d'énergie annuelle a été également rapportée.

La contribution innovante des auteurs propose une analyse de la relation entre l'angle d'incidence solaire et la géométrie de l'atrium (SAR). D'après l'analyse, trois règles ont été ressorties selon 3 configurations (Voir Fig III.13):

- 1) CAS A Atrium court: $SAR \leq$ tangente de l'angle d'occurrence du solstice d'hiver

Si le SAR n'est pas supérieur à la tangente de l'angle d'occurrence du solstice d'hiver, la lumière du soleil peut atteindre le rez-de-chaussée tout au long de l'année.

- 2) Cas B Atrium de hauteur moyenne: tangente de l'angle d'incidence du solstice d'hiver $< SAR \leq$ tangente de l'angle d'incidence du solstice d'été Si le SAR est compris entre la tangente de l'angle d'incidence du solstice d'hiver et la tangente de l'angle rez-de-chaussée en été mais pas en hiver.
- 3) CAS C Atrium élevé: tangente de l'angle d'occurrence du solstice d'été $< SAR$

Si le SAR est plus grand que la tangente de l'angle de l'incidence du solstice d'été, la lumière du soleil ne peut jamais atteindre le RDC. [WANG Lan et al, 2017]

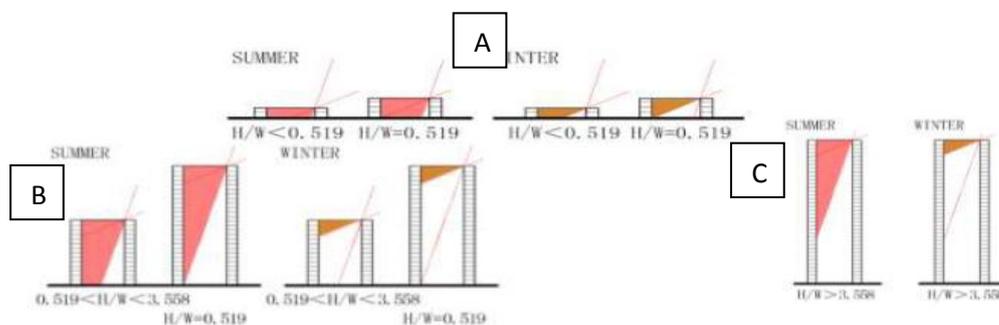


Figure III.13 Analyse du SAR pour chaque cas d'atrium

[Source : WANG Lan et al, 2017]

En matière de Distribution de la température les résultats ont montré que pendant l'été, plus l'atrium est profond, plus le chauffage est sévère. Cependant la surchauffe présente un problème dans l'atrium à courte hauteur et dans la partie supérieure de l'atrium haut. Alors qu'en hiver, l'atrium court et la partie supérieure de l'atrium haut sont chauffés par le rayonnement solaire. La chaleur reçue par l'atrium court est avantageuse pour le réchauffement en hiver (Voir Fig III.14).

Sur la base de l'analyse, le SAS d'un atrium devrait être aussi petit que possible dans le cadre de la satisfaction des exigences nécessaires dans un climat froid. Pour un atrium SAR fixe la taille du puits de lumière doit être optimisée pour une conception économe en énergie.

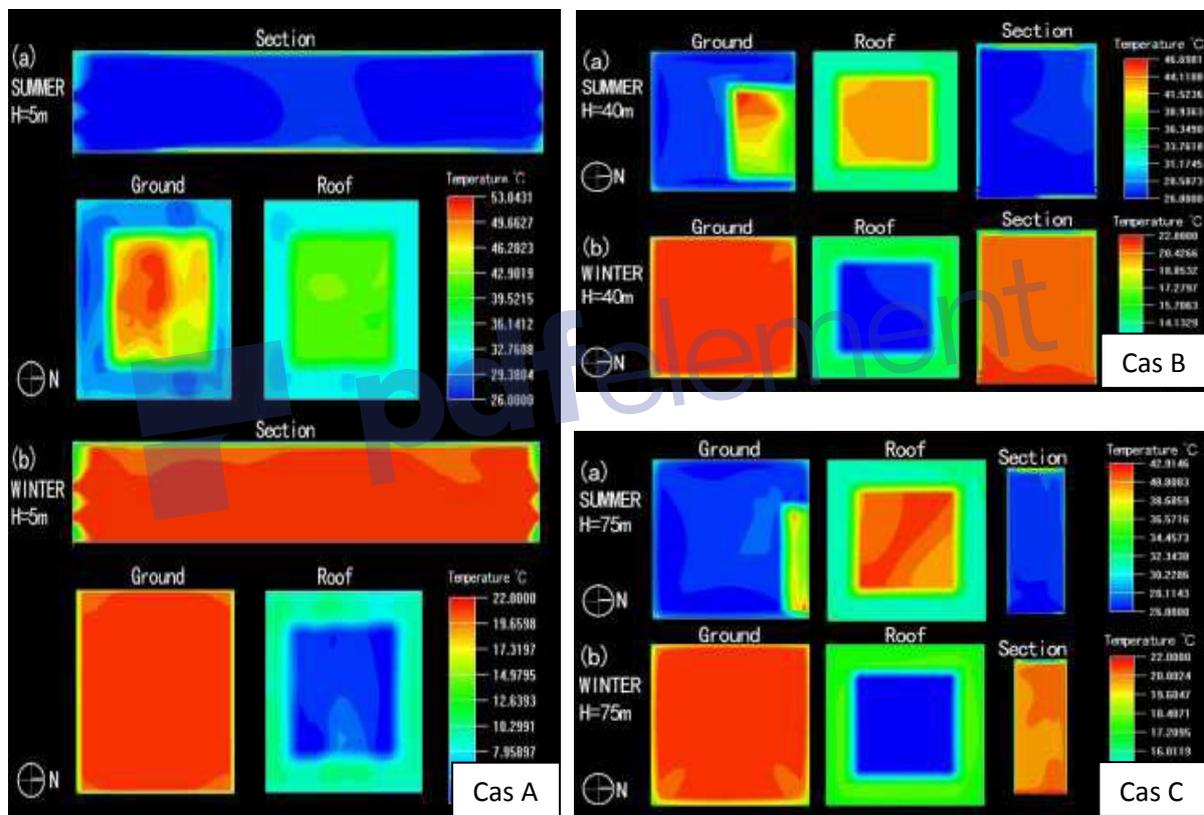


Figure III.14 Résultats de la modélisation CFD des trois cas des configurations des atriums testés

[Source : Wang Lan et al, 2017]

III.2 Etudes sur la qualité de l'air :

Parmi les recherches dédiées à l'évaluation de la qualité de l'air, la recherche faite par **Esteban Emilio** en 2011. Dont l'objectif est de mesurer l'impact des variations typologiques sur la performance environnementale et énergétique des bâtiments scolaires, dans deux contextes climatiques (froid et tempéré). En évaluant le potentiel d'amélioration de la qualité de l'air intérieur offerte par la ventilation naturelle. Cette évaluation a été basée sur le paramètre de la concentration de CO₂ quant aux recommandations des normes et standards internationaux (Deux rangs de performance ont été déterminés : 1000 et 1500 ppm). L'auteur a simulé quatre paramètres à l'aide du logiciel IES-Virtual Environment (IES-VE). à savoir : la typologie, l'enveloppe, pourcentages des fenêtres, modèles de contrôle de l'environnement (sélectif versus exclusif). La performance des typologies a été exprimée en termes du pourcentage d'heures d'occupation où la concentration de CO₂ est inférieure aux seuils indiqués. Les résultats ont montré que pour la qualité de l'air intérieur, la performance la plus élevée et optimale a été marquée dans les modèles exclusifs dotés de système de ventilation mécanique dans les deux climats, ils permettent d'obtenir 100% du temps d'occupation avec une concentration de CO₂ <1000ppm. Ainsi le pourcentage des fenêtres avait un impact sur la QAI, de telle façon que l'augmentation du pourcentage de fenêtres a entraîné 38% plus de performance en climat tempéré, tandis qu'en climat froid, cette variation a atteint 28%. Cependant, l'augmentation de la QAI n'a pas été causée par une augmentation de la surface des ouvrantes. La raison a été plutôt l'augmentation de la température intérieure de la salle suite aux gains solaires plus élevés, laquelle permettrait l'ouverture des fenêtres pendant plus de temps, et donc plus de ventilation à l'intérieur.

Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons pu essayer de jeter la lumière sur les recherches relatives aux études paramétriques malgré la pénurie de ces derniers essentiellement traitant l'effet des aspects architecturaux et les configurations géométriques de l'atrium sur le confort thermique intérieur. Ces travaux ont été dirigés vers l'évaluation de l'effet des paramètres architecturaux et géométriques, en prenant en compte les facteurs climatiques extérieurs, à savoir l'état du ciel, les températures de l'air en prenant la période la plus froide et la période la plus chaude, ainsi que le taux de ventilation entrant à l'atrium. Ces recherches ont montré clairement le rôle des paramètres géométriques de l'atrium sur la réduction de la consommation énergétique et les gains de chaleur et donc sur les températures de l'air intérieures.

Nous pouvons déduire des résultats de ces expériences que la stratification de la température de l'air dans l'atrium est considérablement affecté par certains paramètres et configurations essentiellement pour la période estivale qui marque les températures les plus élevées à l'intérieur d'atrium. Certains de ces paramètres, tels que : la configuration géométrique, l'inclinaison de la toiture, son ouverture, le pourcentage du vitrage de ses parois et même les dispositifs d'ombrage de la toiture vitrée, auront besoin de certaine optimisation, qui avec la ventilation naturelle adéquate peuvent améliorer considérablement le confort intérieur et la qualité d'air intérieur.

Enfin, la connaissance de l'impact des paramètres de conception nous aideront et nous serviront plus tard quand il s'agira d'entreprendre les travaux de simulation afin d'obtenir une meilleure conception d'un atrium bioclimatique notamment en milieu chaud et aride.

Chapitre IV :

**Investigation ;
Et Interprétation des Résultats**

Introduction :

Dans le but de déterminer le comportement thermique du bâtiment à atrium, nous présentons à travers ce chapitre la méthodologie du travail suivie et les outils de recherche employés, ainsi que les instruments de mesures in-situ pour l'investigation. Pour se faire, une présentation du site d'intervention sera abordée tout d'abord prenant pour centre d'intérêt, la ville de Laghouat dans son environnement climatique et microclimatique. Par la suite nous allons présenter la méthodologie d'approche de la recherche qui sera basée sur deux campagnes de mesures pour les deux périodes, estivale et hivernale afin d'évaluer le confort thermique intérieur de l'atrium et ses espaces adjacents vis-à-vis les conditions climatiques extérieures et les paramètres physiques de l'espace de l'atrium. Ceci nous amène finalement à examiner et conclure les paramètres et facteurs physiques et climatiques influant sur le comportement thermique du bâtiment à atrium.

IV.1 Présentation de la ville de Laghouat :

IV.1.1 Situation géographique :

Ville de Sud de l'Algérie, Laghouat se situe au piémont de l'Atlas Saharien du côté Nord, à l'intersection de deux axes structurants la RN1 et la RN23, elle est limitée au Nord par le chaînon montagneux de Dakhla et Djebel Lahmar, au Sud-Ouest par Djebel Kheneg, et au Sud par le plateau saharien.

Elle est d'une altitude moyenne de 750 mètres, et est définie par les coordonnées (latitude +33.46N et longitude +2.56 E).



Figure IV.1 : Situation géographique de la ville de Laghouat.

[Source : WWW.WIKIPEDIA.ORG / WWW.MTP.GOV.DZ réadapté par auteur 2016]

IV.1.2 Conditions climatiques:

Comme faisant partie d'une région de nature géomorphologique et d'un caractère semi désertique, la région de Laghouat, est dotée d'un climat de type saharien et aride. D'après le zonage climatique établi par le ministère de l'habitat, Laghouat fait partie de la Zone **E3** en été, et **H3a** en hiver, qui est caractérisé par un été très chaud et sec, et un hiver très froid, le plus souvent elle a des précipitations rares, torrentielles par moment, et une humidité réduite.

IV.2 Analyse des éléments climatiques :

Afin d'entreprendre une analyse climatique correcte, il a été nécessaire de se rapprocher des services météorologiques les plus proches du site en question pour pouvoir acquérir les données climatiques de la région considérée, dont les principaux éléments climatiques à analyser sont comme suit :

- **Température de l'air :**

La figure IV.2 illustre l'évolution mensuelle de la température de l'air pour une période de dix ans relative à la décennie (2006-2015), en se basant sur les valeurs maximales (T max), les minimales (Tmin), et les moyennes (Tmoy), dont elles sont prises de la station météorologique de Laghouat, les données montrent en général que toutes les températures mensuelles varient d'une manière régulière, en enregistrant le suivant :

- ✓ Une température maximale au mois de Juillet avec une valeur de 39,4°C (le mois le plus chaud). Cependant Une température minimale est relevée en mois de Janvier avec une valeur de 1,7°C (le mois le plus froid).
- ✓ Des températures moyennes mensuelles plus élevées dans la période qui s'étend du mois de Juin jusqu'au mois de Aout, dont leurs valeurs varient de 27,9°C à 32,1°C, avec un max de 39,4°C en Juillet.
- ✓ Des températures moyennes mensuelles plus basses marquant une période froide pour les trois mois de Décembre, Janvier et Février, avec des valeurs variant entre 8,4°C et 9,5°C, et un minimum de 1,7°C en Janvier.
- ✓ Une forte amplitude moyenne annuelle entre les deux saisons été, et hiver avec un seuil de 23,7°C.

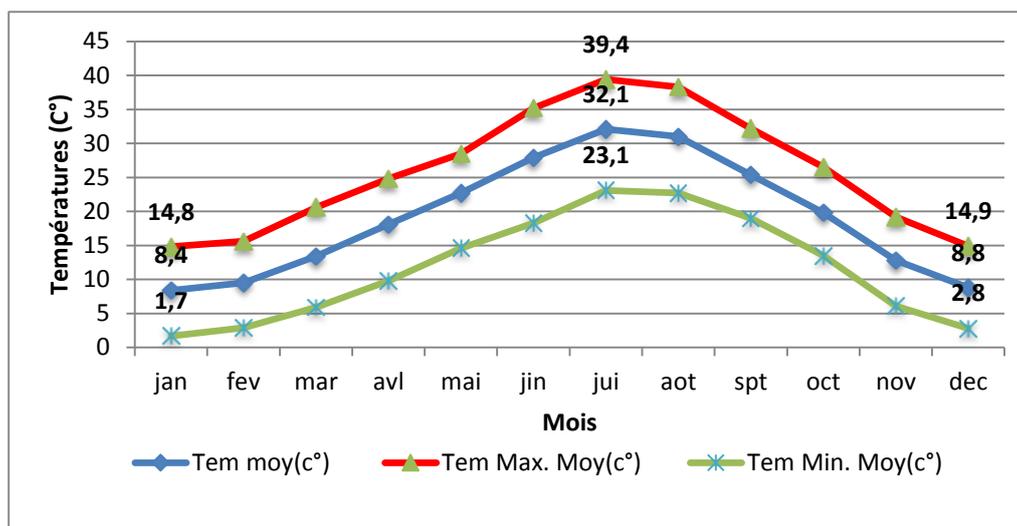


Figure IV.2 : Evolution des températures moyennes mensuelles durant la période 2006-2015

[Source : ONM Laghouat 2016, réadapté par auteur]

• **Humidité relative:**

D’après le graphique (Fig IV.3), nous remarquons que, la courbe de l’humidité relative moyenne annuelle évolue dans le sens inverse des températures. Les taux extraits montrent le suivant :

- ✓ Un maximum enregistré aux mois de Décembre et Janvier avec 65%, tandis que le minimum est relevé en Juillet avec 27%.
- ✓ Une Hausse d’humidité pendant la saison hivernale avec des valeurs comprises entre 52% et 65%. Cependant la saison estivale enregistre une plage de 27% à 35%. On peut signaler une différence de 38% entre le mois le plus froid (Janvier) et le mois le plus chaud (Juillet), ce qui suggère que le climat de la ville de Laghouat est froid en hiver et assez sec et chaud en été.

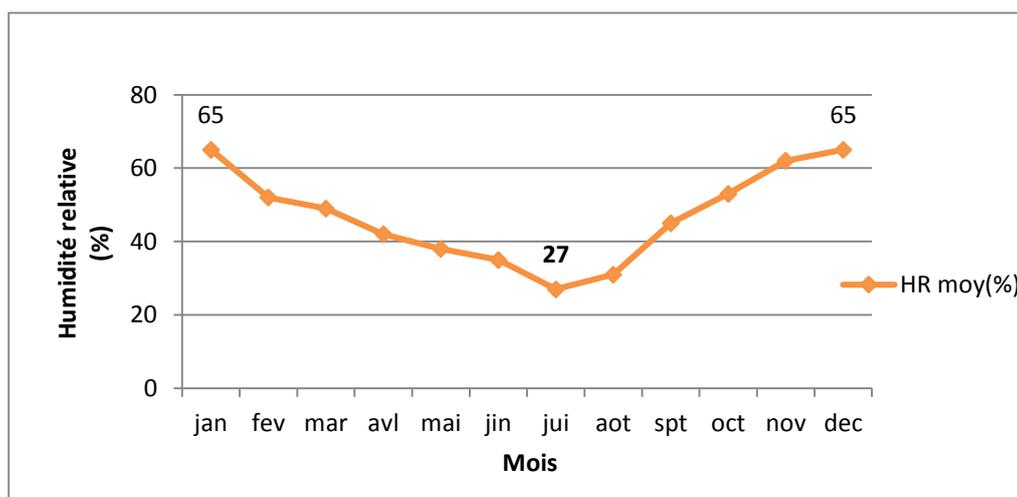


Figure IV.3: Evolution des moyennes mensuelles de l’humidité relative durant la période 2006-2015

[Source: ONM Laghouat 2016, réadapté par auteur]

- **Précipitations:**

le graphique montré dans la figure IV.4, montre que, la région de Laghouat a enregistré des précipitations moyennes annuelles irrégulières et faibles, en indiquant deux mois plus arrosés, en Octobre et en Septembre avec 27,4mm, et 26,4 mm respectivement, et un mois plus sec, en juillet avec 5,1mm, ce qui explique bien un état de sécheresse qui frappe la région.

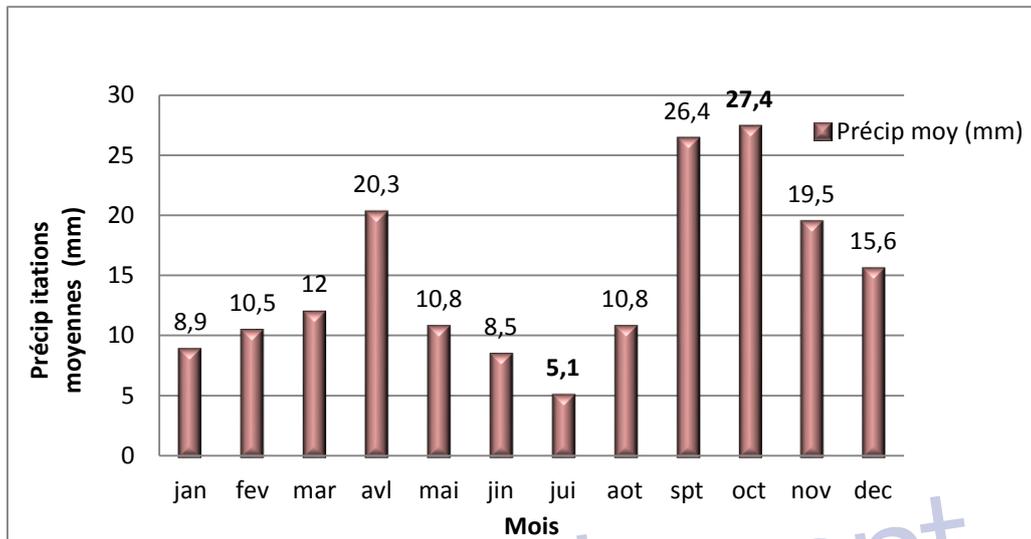


Figure IV.4: variations des moyennes mensuelles des précipitations durant la période 2006-2015

[Source: ONMLaghouat 2016, réadapté par auteur]

✓ **Calcul de l'indice d'aridité de « MARTONNE » :**

L'aridité est un phénomène climatique impliquant une pluviométrie faible. L'indice d'aridité de De Martonne, permet de déterminer le degré d'aridité d'une région.

D'après la formule de Martonne, il est calculé comme suit :

$$I = P / (T + 10), \text{ Avec :}$$

P : Précipitations annuelles

T : Température moyenne annuelle

$$I = 175,8 / (19,1 + 10) = 6,04$$

$$I = 6,04 \rightarrow 5 < I < 10$$

Donc la ville de Laghouat est de climat aride.

Sachant que :

$I < 5$: Climat hyper aride.

$5 < I < 10$: Climat aride.

$10 < I < 20$: Climat semi aride

$I > 20$: Climat humide

- **Durée d'insolation :**

La durée d'insolation représente la durée du rayonnement solaire, exprimée en heure. Elle est mesurée à l'aide de l'héliographe et souvent a été un facteur important pour la météo. D'après le graphique illustré dans la figure IV.5, nous pouvons extraire le suivant :

- ✓ La durée d'insolation est de l'ordre de 2732 heures par an.
- ✓ Les durées les plus élevées s'étalent du mois de Mai jusqu'au mois d'Aout dans une plage de 300 heures par mois.
- ✓ La durée d'insolation maximale est relevée au mois le plus chaud (Juillet) avec 302 heures.
- ✓ En revanche, le mois de Décembre dévoile l'insolation minimale avec 198 heures.

Il ressort bien que la ville de Laghouat est caractérisé par une chaleur étouffante pendant la saison d'été qui peut atteindre les 10 heures par jour notamment en mois de Juillet.

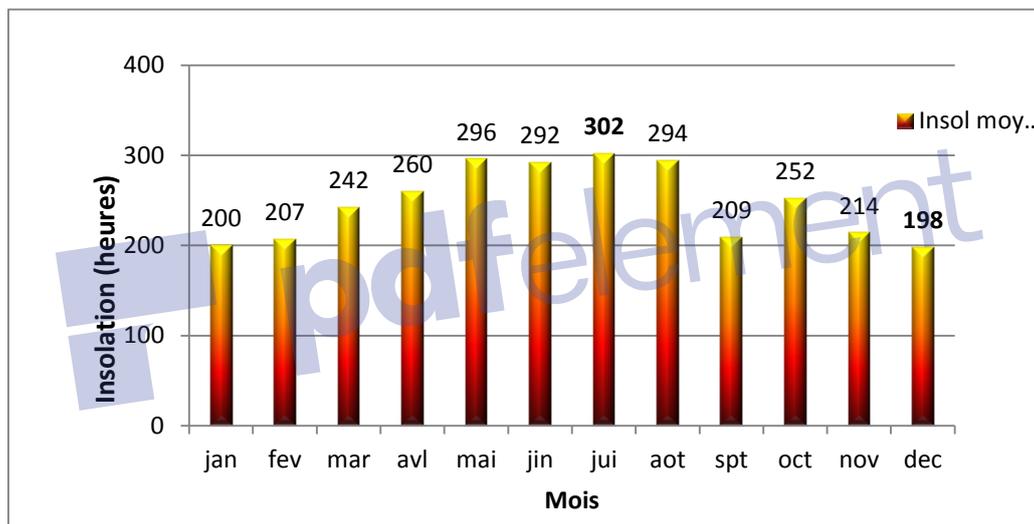


Figure IV.5: Moyennes mensuelles d'insolation durant la période 2006-2015

[Source: ONMLaghouat 2016, réadapté par auteur]

- **Le vent:**

Les vents jouent un rôle important dans le système climatique. La région en question est prédominée par :

- ✓ le SIROCO, vent chaud est sec venant du Sahara de direction Sud-Ouest, souvent violents et venteux en printemps et qui s'étalent du mois de février jusqu'à Juin avec une moyenne maximale de 4,7 m/s enregistrée en mois d'Avril.
- ✓ Vents froid de direction Nord-Ouest avec des vitesses moyennes maximale
- ✓ La moyenne annuelle de la vitesse des vents est de 3,8 m/s, en enregistrant les plus faibles vitesses au mois de Janvier, Novembre et Décembre avec 2,9 m/s à 3,5 m/s.

L'analyse des vitesses des vents, a déduit que les périodes du printemps (vents de Siroco) ont des vitesses les plus élevées.

IV.3 Description du cas d'étude :

Afin de mieux concrétiser l'objectif attendu de cette partie, nous avons pris comme cas d'étude dans notre investigation, un bâtiment à atrium, ce dernier est situé dans la partie Ouest de la ville de Laghouat au pôle universitaire 1000 places pédagogiques (Voir Fig IV.6). Il a été inscrit en 2005, et achevé pour la rentrée universitaire 2012/2013. Ce bâtiment sert à la fois d'un bâtiment administratif et pédagogique pour la faculté des sciences sociales et humaines. Un choix dument motivé par l'atrium central à toiture incliné localisé au cœur de son hall central qui est utilisé à des fins de circulation et de distribution aux espaces adjacents, ainsi que l'avantage d'offrir un accès facile au public, comme faisant partie d'une institution publique.

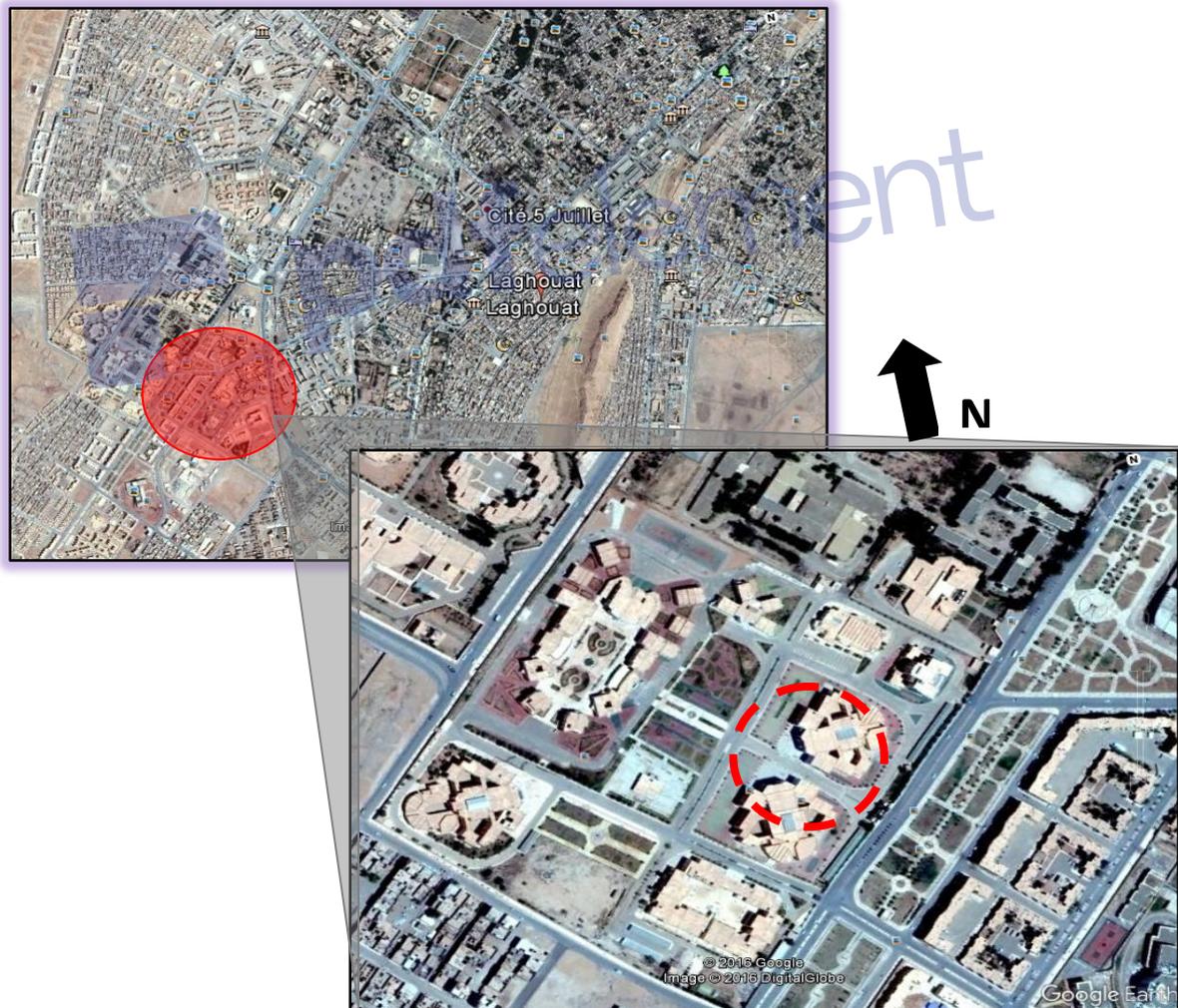


Figure IV.6: Situation du cas d'étude.

[Source: Google Earth 2016]

Le bâtiment est d'une forme compacte à plusieurs blocs, orienté vers l'Est (axe Est-Ouest), et s'élevant sur trois niveaux (R+2)(Voir fig IV.8 (a,c,d)), Les plans du rez-de-chaussée, du premier, et du deuxième étage sont presque identiques comportant des différents espaces entre, bureaux, salles de classe, amphithéâtres et autres espaces(Voir fig IV.8).

Cette construction comporte deux patios intérieurs et un atrium central précédé par un hall d'entrée. Cet atrium représente un espace multifonctionnel, unificateur, de rassemblement important, et qui peut être utilisé même comme un espace d'exposition et de présentation(voir fig IV.7(a,e)). Il est d'une forme rectangulaire, éclairé naturellement seulement du haut par une immense verrière inclinée à 10° vers le Sud, et qui couvre la toiture de l'atrium à taux de 100%, sans aucune protection solaire, ou ouvertures. Il s'élève sur le long des niveaux du bâtiment, cet atrium est entouré par des coursives desservant les espaces adjacents (salles de classe), ces derniers sont conçus pour recevoir la lumière naturelle de l'atrium par des impostes vitrés non ouvrant au niveau de leurs murs adjacents. L'espace atrium est d'une superficie de 141,96 m² et d'un volume de 1868,19 m³(Voir fig IV.7(a,b)).



Figure IV.7: Différentes vues sur le cas d'étude

[Source : Auteur 2016]

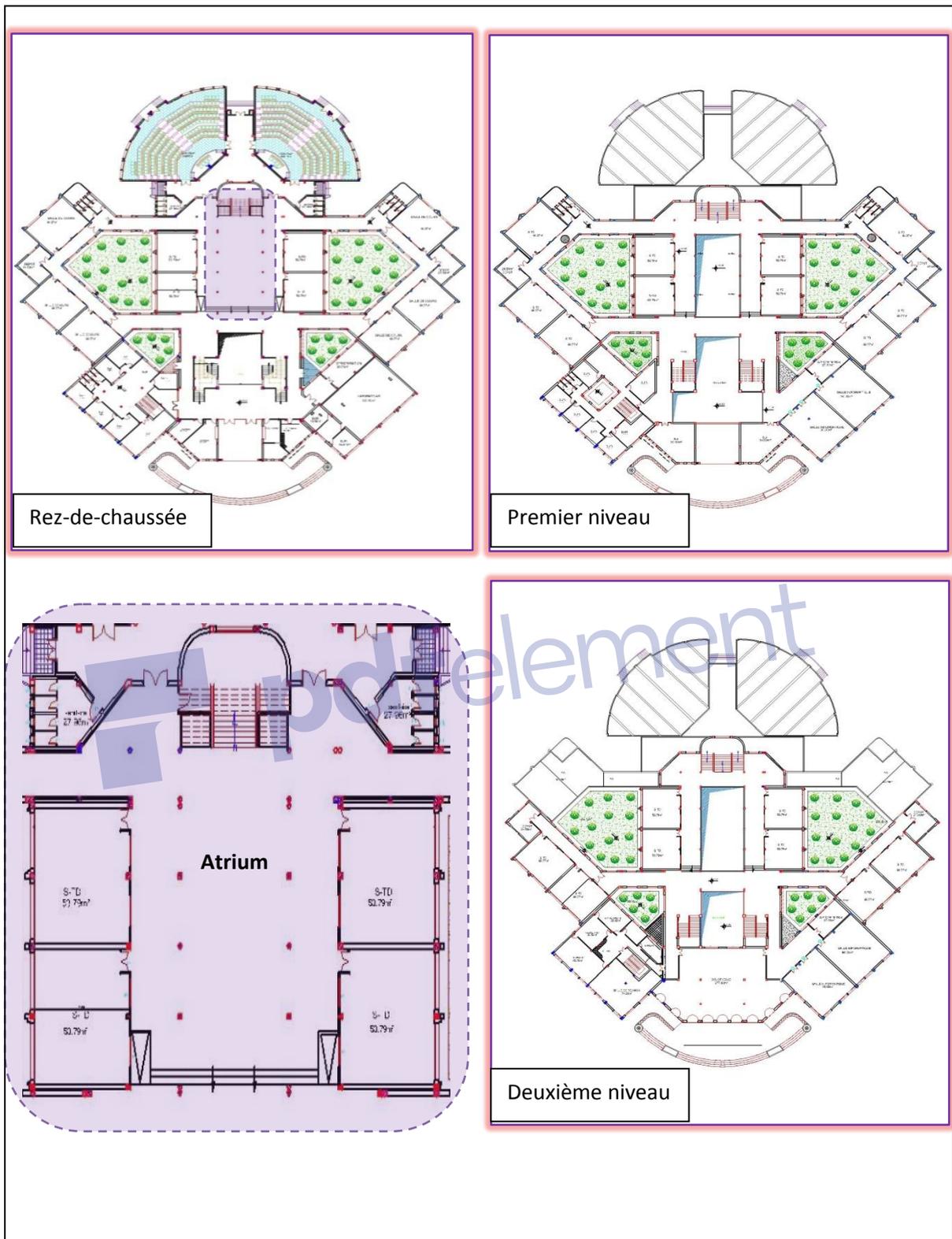


Figure IV.8: Différents plans d'architecture du Bâtiment.

[Source : BETACAD]

En ce qui concerne La structure du bâtiment, elle est réalisée par un système à ossature poteau-poutre avec un remplissage en brique rouge, les murs extérieurs sont en double paroi avec lame d'air, leur épaisseur varie entre 30cm et 25 cm, tandis que les murs intérieurs de séparation sont entre 10, 15 à 20 cm en brique rouge. Le vitrage utilisé pour les ouvertures varie de type demi-double au type réfléchissant « Stopsol ». Cependant L'atrium est recouvert par une toiture en verre armé, qui se représente sous forme de panneaux, en offrant les avantages de grande luminosité.(Voir fig IV.7(d) et (IV.8).

IV.4 Classification typologique de l'Atrium :

Selon les typologies d'atrium citées par les différents auteurs déjà mentionnées dans le premier chapitre, nous pouvons classer notre atrium d'après sa forme et sa configuration comme un atrium central alvéolaire, d'une forme rectangulaire et de grand volume avec une profondeur ou hauteur Moyenne. (Voir Fig IV.9)

Sachant que :

- SAR= hauteur / largeur = 1,42
- PAR= largeur / longueur = 0,6

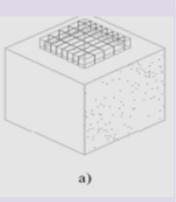
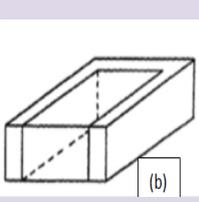
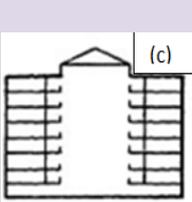
Typologie de Hasting	Typologie de Yoshino	Typologie de Belmaaziz Cité par Rahal Samira	Indice SAR	Indice PAR
			1 < SAR < 2	0.4 < PAR < 0.9
Atrium central	Grand volume avec une grande surface de plancher	Atrium alvéolaire	Moyen Atrium	Atrium rectangulaire

Figure IV.9: Classification de la typologie de l'atrium du cas d'étude.

[Source : Auteur]

IV.5 Protocole et déroulement de la campagne de mesures:

Selon l'objectif de notre recherche, une campagne de mesures a été effectuée sur site, cette dernière vise à étudier et constater le comportement thermique de l'atrium et ses espaces adjacents, pour les deux périodes, estivale (Juillet 2016), et hivernale (février 2016), à travers la prise des mesures de certains paramètres climatiques, dont l'objectif consiste à comparer les résultats obtenus entre l'intérieur et extérieur afin de vérifier l'impact des conditions climatiques extérieures sur le comportement thermique intérieur.

IV.5.1 Facteurs climatiques mesurés:

Dans cette investigation, il s'agit de mesurer les paramètres physiques du climat à l'extérieur et à l'intérieur de la construction en question qui ont un impact direct sur le confort thermique, ces paramètres comprennent : la température de l'air en C°, et la vitesse du vent en m/s.

IV.5.2 Appareillage :

Durant la campagne de mesures, nous avons choisi des appareils de mesure portatifs, pour des mesures dites directes (**in-situ**) permettant de quantifier certains paramètres des ambiances thermiques extérieures et intérieures, qui servent au diagnostic et à l'évaluation des mesures correctives pour le cas d'étude. De ce fait nous avons eu recours à deux appareils disponibles :

- **Thermomètre-anémomètre modèle TESTO 415** : Un instrument digital qui sert à mesurer simultanément la vitesse et la température de l'air, il peut prendre des prélèvements de température allant de 0 à +50°C, et la vitesse de l'air de 0 à 10 m/s, alors que la résolution est de (0,1°C, 0,01 m/s). (Voir fig IV.10, (b))
- **Station météorologique PCE-FWS20** : Est un appareil multifonctionnel qui permet de détecter la direction du vent, sa vitesse, la température, l'humidité relative et la pluviosité, équipé d'un écran tactile qui permet de récupérer les valeurs mesurées. Cet appareil est utilisé dans notre cas pour les mesures des facteurs climatiques extérieurs du site (températures de l'air, la vitesse de l'air et l'humidité relative). Ses plages de mesures sont : (Température ambiante : -40 à +65°C, humidité de l'air : 1 à 99%, Vitesse du vent : 0 à 180 Km/h), avec une résolution de (Température de l'air : 0,1°C, humidité de l'air : 1 %). (Voir fig IV.10, (a))

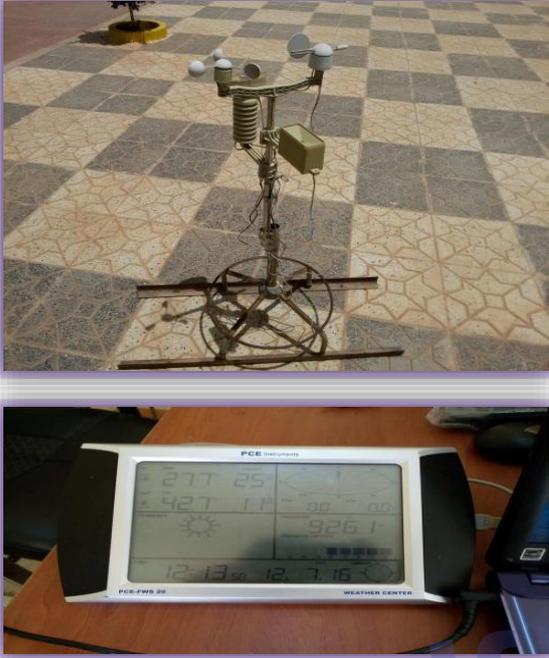
Instruments de mesure	
<p>Station météorologique PCE-FWS20 avec son écran tactile</p>  <p>(a)</p>	<p>Thermomètre-anémomètre modèle TESTO 415</p>  <p>(b)</p>
<p>Température ambiante: -40 à +65°C° Humidité de l'air : 1 à 99% Vitesse du vent : 0 à 180Km /h) Une résolution : Temps:0,1 °C Humidité de l'air: 1 %).</p>	<p>Température de l'air : 0 à +50°C, vitesse de l'air : 0 à 10m/s, Résolution est de (Temps :0,1°C, vitesse de l'air :0,01m/s).</p>

Figure IV.10 : les différents instruments de mesure utilisés lors de l'investigation

[Source :Auteur,2016]

IV.5. 3 Méthodologie et conditions de déroulement de la campagne de mesures :

Dans la perspective de parvenir à l'objectif de l'investigation, deux campagnes de mesures ont été menées :

- **la première campagne de mesures** : Est pendant la période hivernale, étant donné la disponibilité des appareils et l'accessibilité vers le bâtiment, la campagne de mesures a été choisie en mois de **février (2016)** pour quatre jours séparément (le **12, 13, 19,** et **26**), en jours de weekend afin d'éliminer l'apport du chauffage, et les gains des

usagers, dont l'objectif est de connaître les conditions internes brutes offertes par le bâtiment.

- la deuxième campagne de mesures : A été mise en place pendant la période estivale au mois le plus chaud (Juillet 2016) pour une durée de 4 jours successifs (Le 10, 11, 12, et 13) sachant que le bâtiment a été également non occupé.

a) Choix des points de mesure :

La prise des mesures a été faite à travers 13 points, 12 répartis verticalement sur les trois niveaux de la construction et le 13^{ème} point est à l'extérieur, et vu que c'est un équipement public, les prises des mesures ont été limitées à la période d'occupation par les usagers, de 8.00h à 17.00 h à une hauteur de 1,50 m. les différents points des mesures sont présentés dans la figure IV.11.

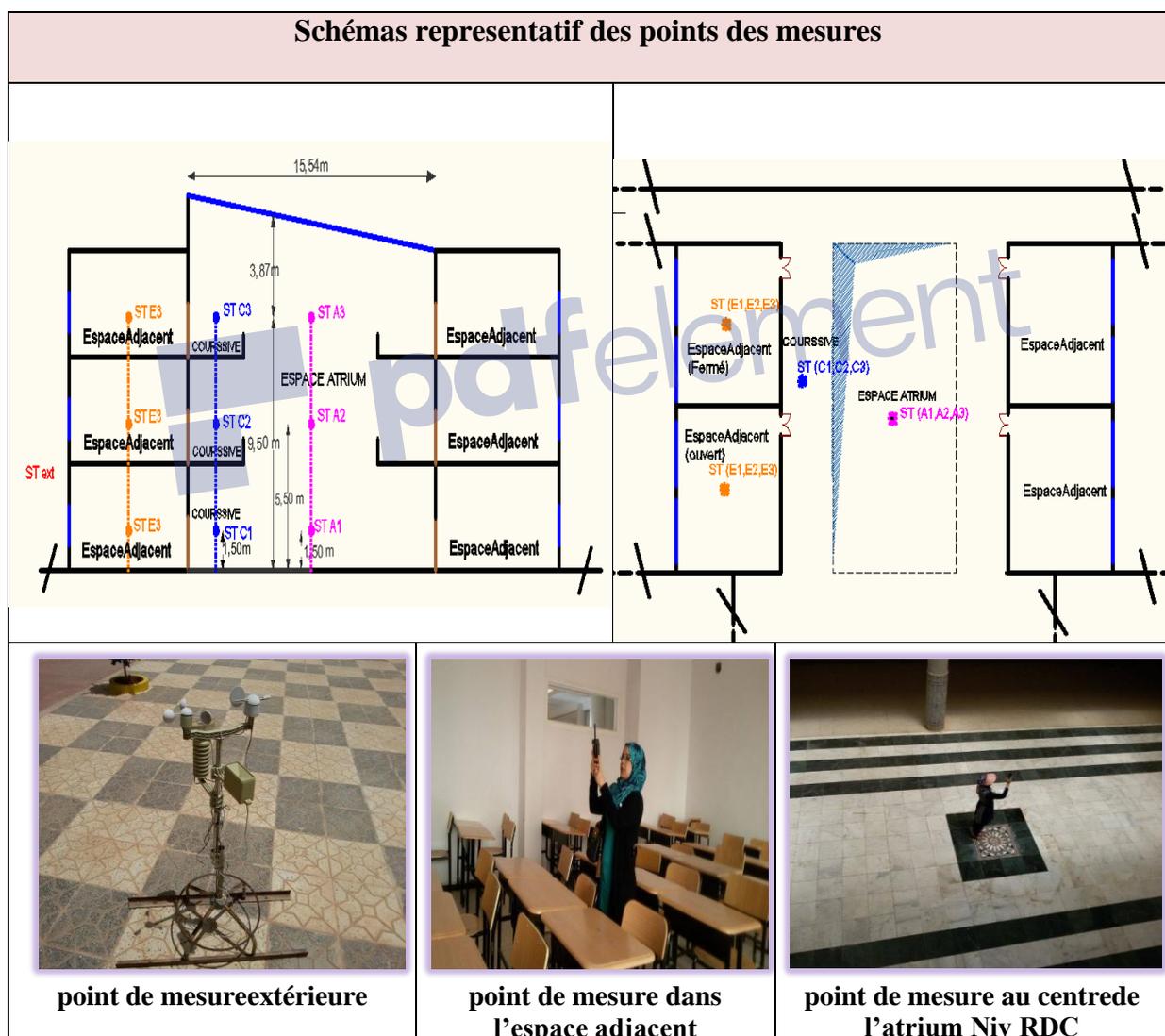


Figure IV.11 : les principales caractéristiques des points des mesures.

[Source : Auteur, 2016]

IV.6 Résultats et discussion:

IV.6.1 Période estivale:

La journée du 11/07/2016 que nous allons juger la plus représentative, a été une journée chaude d'été, ensoleillée à ciel clair. Caractérisée par un vent de vitesse moyenne de 2,5 m/s, et une température moyenne égale à 33°C, et un maximum de 41°C et température minimum de 30°C. Comme nous l'avons introduit précédemment, cette campagne de mesures a été effectuée dans les conditions internes brutes du bâtiment (sans gains internes) afin de mieux expérimenter le comportement thermique quasiment brut de l'atrium.

a) Températures de l'air intérieures dans l'espace d'atrium:

En lecture globale, les résultats donnés par les graphes dans la figure IV.12 montrent, que les profils des températures de l'air mesurées à l'intérieur d'atrium prennent la même allure avec les températures de l'air extérieure.

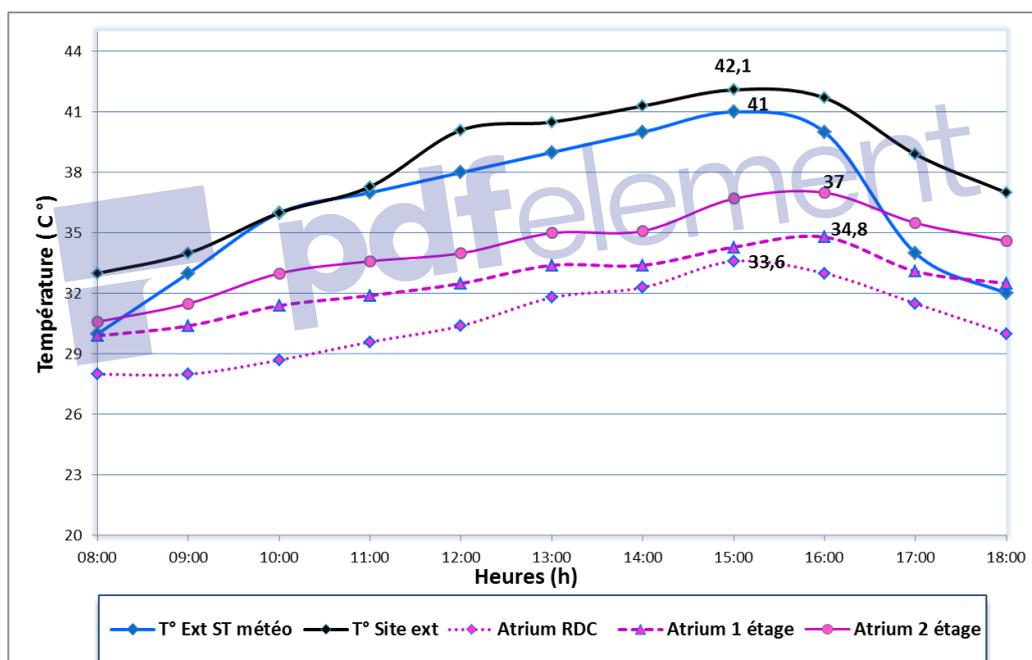


Figure IV.12: Profils d'évolution journalière des Températures de l'air dans les différents niveaux de l'espace Atrium pour la période estivale

[Source: Auteur]

De même nous apercevons une évolution graduelle des températures intérieures pour les premières heures matinales (lever du soleil) pour arriver à sa maximale pendant la tranche horaire d'après-midi, et descendant légèrement pour les dernières heures d'après-midi (vers le coucher du soleil), évidemment cette variation de température correspond au degré d'intensité du rayonnement solaire reçu par la toiture vitré d'atrium. Nous constatons ainsi, que la

température extérieure dépasse toujours celles enregistrées dans les différents points des mesures dans l'atrium, en enregistrant un pic de chaleur égal à **42,1°C** à **15h00** pour la température extérieure mesurée sur site. De même, un pic de **33,6°C** est enregistré à la même heure au **RDC** en présentant la zone thermique la plus basse, alors que les autres pics (1^{er} et 2^{ème} étage) sont enregistrés après une heure, respectivement, **34,8°C** et **37°C**, ce déphasage est fortement influencé par la capacité thermique de l'enveloppe du bâtiment. Un écart de température égal à **4°C** à **16h00** entre le niveau inférieur et le niveau supérieur confirme que la zone supérieure qui est exposée à l'intensité solaire plus élevée obtient la température de l'air la plus élevée, et qui dans l'absence totale de la ventilation naturelle, dans le toit, l'air chaud ne pourra pas s'échapper vers l'extérieur et restera piégé dans la partie haute en créant cette amplification.

De ce fait, l'atrium que nous avons supposé d'avoir une élévation dans les températures intérieures diurnes, a révélé une atténuation des températures de l'ordre d'une Moyenne de **5,9°C** par rapport à la moyenne de la température extérieure mesurée sur site. Un résultat qui n'a pas été attendu, nécessite et mérite une bonne explication. En fait plusieurs facteurs peuvent s'interférer dans cette optique, citons : La compacité du bâtiment, le nombre des surfaces vitrées de l'atrium, l'absence des gains internes, et la surface très réduite de l'espace d'atrium par rapport à la surface totale de l'atrium, ainsi que l'absence des températures mesurées au niveau plus haut près de la toiture...etc. Mais une réflexion plus logique confirmerait, selon l'étude menée par « N. Nasrollahi, 2015 » que La diminution de la surface de l'atrium par rapport à la superficie globale du bâtiment entraîne moins d'échanges thermiques. En effet, le contact interne-externe, entre l'atrium et l'extérieur, diminue.

Remarque : Les températures mesurées sur site sont en générale plus élevées que celles relevées à la station météorologique tout en gardant la même allure, avec des écarts qui varient entre un minimum et un maximum de **0,3°C** et **5°C** observés respectivement à **11h00** et à **18h00**. La différence entre les deux températures revient à la différence entre les deux sites, le premier urbain et le deuxième naturel, d'où le site naturel qui garde une certaine inertie thermique alors que le climat du milieu urbain est affecté par les conditions climatiques et l'environnement immédiat.

b) Analyse de La stratification thermique au centre d'atrium:

Les graphes illustrés dans la figure **IV.13** présentent les profils thermiques verticaux des températures de l'air enregistrées au centre de l'atrium pour les différentes heures de la journée correspondant aux différentes intensités du rayonnement solaires pendant l'horaire d'occupation du bâtiment.

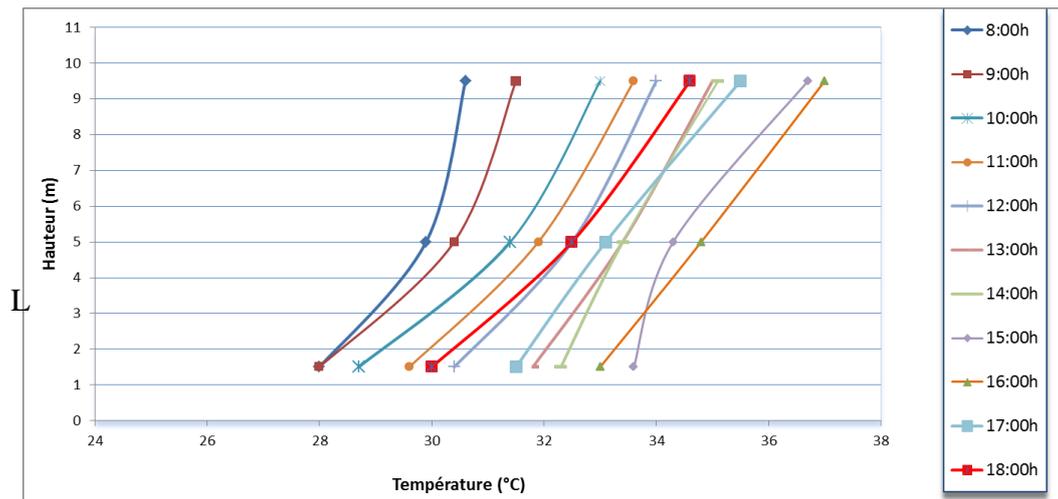


Figure IV.13: Distribution verticale de la température de l'air dans le centre d'atrium en période estivale

[Source : Auteur]

D'après les profils (FigIV.13), nous constatons l'existence de trois types de profils conformément aux profils cités par Heller:

1. Profil non linéaire pour les premières heures de la matinée, où la température diminue légèrement au niveau supérieur. La faible intensité du rayonnement solaire et les faibles degrés de températures pendant la matinée sont les facteurs responsables au refroidissement de la zone sous la toiture vitrée.
2. Profil non linéaire, augmentant dans le niveau supérieur pour les heures d'après-midi, particulièrement à **15h00**. C'est le cas fréquent d'une stratification produite à un niveau élevé à l'intérieur de l'atrium, où les sources de chaleur sont distribuées uniquement dans la partie supérieure [Ayşe Miray Gemi, 2006], ceci est fortement influencé par la forte intensité du rayonnement solaire.
3. Profil d'une augmentation linéaire, du 13h00 à 14h00, où le soleil est à son zénith, et aux dernières heures d'occupation (16h00, 17h00 et 18h00). C'est le cas typique dans les atriums où les sources de chaleur sont uniformément réparties dans l'espace et ses surfaces. [Ayşe Miray Gemi, 2006]

La Stratification Thermique = $\Delta T = T_{\max}(\text{niv haut}) - T_{\min}(\text{niv bas})$. [John Ashley, 2001]

$$\Delta T = 37 - 28 = 9 \text{ } ^\circ\text{C}$$

L'explication de ces derniers résultats est trouvée principalement dans l'influence du rayonnement solaire diurne, dont le degré d'intensité se change durant les moments de la journée.

Comme il a été révélé que le phénomène de la stratification thermique est en général omniprésent, quel que soit les paramètres climatiques existants. Ceci n'a qu'un seul sens, c'est que l'environnement thermique intérieur de l'atrium est fortement influencé par les contours de la tache solaire et le rayonnement thermique CLO et GLO.

c) Evaluation des températures intérieures par rapport à la zone du confort :

D'après la figure IV.14 qu'illustre les températures intérieures mesurées dans l'atrium par rapport à la zone du confort thermique calculée pour le mois de juillet par la formule **Humphrey** selon Nicol, 2002, étant de **28,4°C** (voir annexe I), nous constatons que celles-ci sont situées en dehors des limites de la zone du confort particulièrement pour le 2^{ème} étage pendant toutes les heures d'occupation, malgré l'abaissement des températures intérieures par rapport à la température extérieure. Par ailleurs les températures de l'air au **RDC** sont situées dans les limites de la zone du confort, uniquement pour la tranche horaire de **8h00 à 12h00** dans un intervalle de température de **26,6°C** et **30,4°C**, et pour le **1^{er} étage** dans un intervalle de **29,9°C** et **30,4°C** de **8h00 à 9h00**, ce qui exprime une situation d'inconfort ressentie en général à l'intérieur d'atrium malgré l'abaissement de la température de l'air à l'intérieur, dû principalement à la typologie et à la configuration de l'atrium.

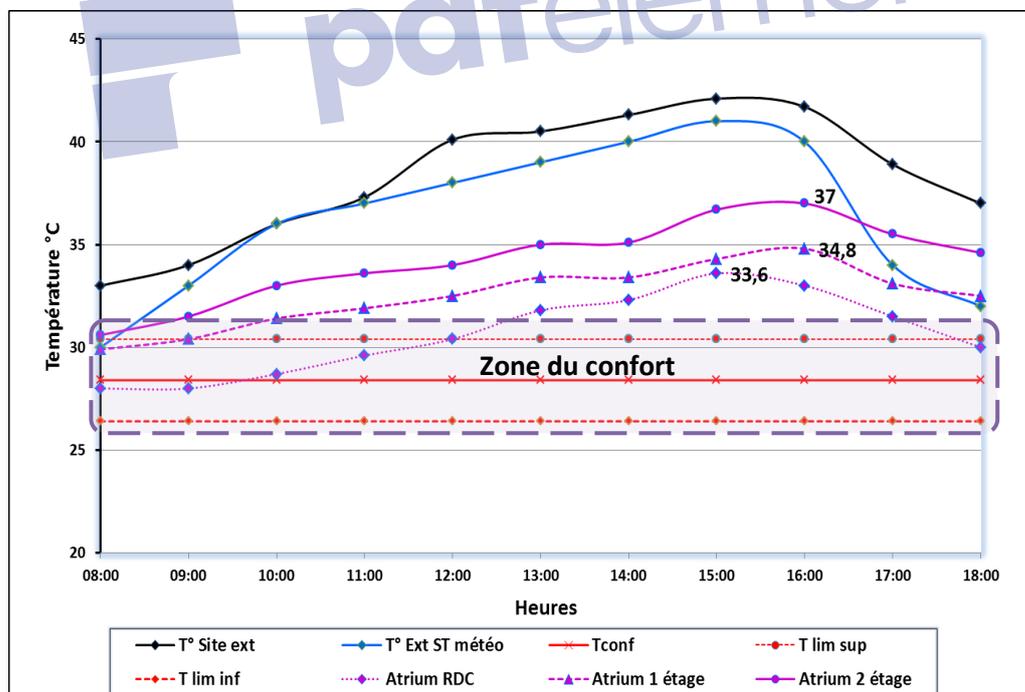


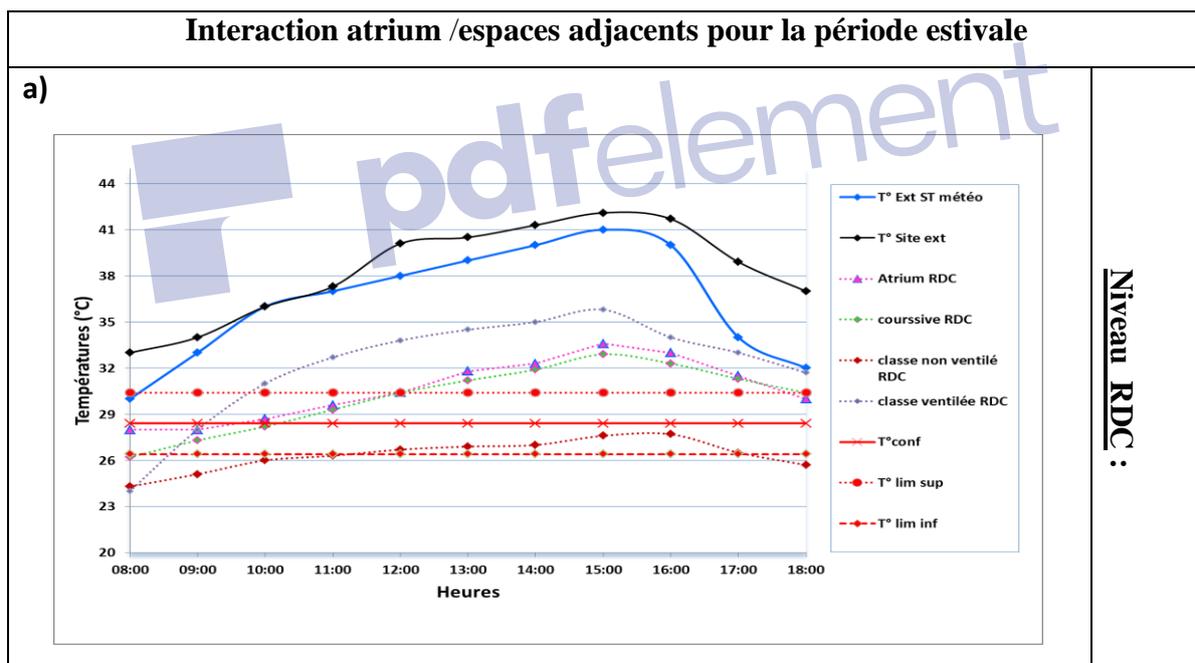
Figure IV.14: Profils d'évolutions des températures de l'air de l'espace atrium par rapport à la zone du confort pour la période estivale

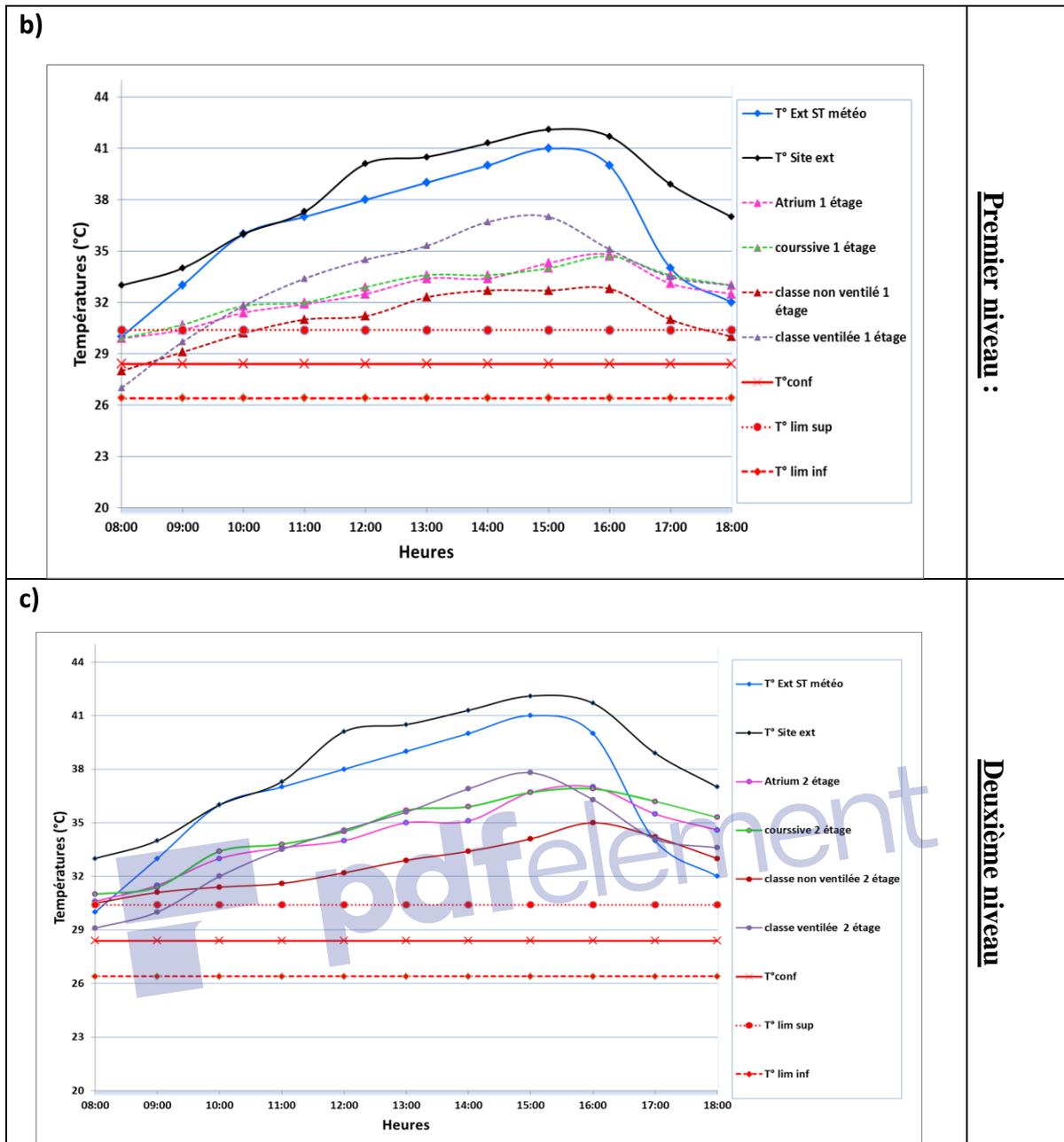
[Source : Auteur]

d) Interaction entre espace atrium et espaces adjacents :

Il est important d'être conscient de l'effet de l'atrium sur les espaces adjacents, car l'incorporation d'un atrium dans le bâtiment peut conduire à l'augmentation de la température dans l'ensemble de la construction. Cependant il ne faut pas oublier que l'évaluation de la température dans les espaces adjacents est délicate, car elle dépend d'un certain nombre de facteurs tels que, le volume d'espace lui-même, les gains internes, la performance du vitrage mural séparant l'atrium avec son espace adjacent s'il existe, l'échange de la ventilation entre l'atrium et l'espace adjacent, les parois exposées aux conditions extérieures...etc.

La figure IV.15(a,b,c) présente les graphiques des différents espaces adjacents où les différents points des mesures ont été effectués : les coursives, les salles de classe, unes avec ventilation naturelle et d'autres sans ventilation naturelle, afin d'effectuer une comparaison des températures de l'air intérieure entre l'atrium et ses espaces adjacents.





IV.15 les différents graphes des températures de l'air mesurées dans les espaces adjacents et les coursives pendant la période estivale

[Source : Auteur]

D'après les graphes des coursives et les espaces adjacents (voir Fig IV.15 (a,b,c)), il a été constaté que les profils des températures des coursives et les espaces adjacents suivent la même allure avec les profils de l'atrium, en enregistrant des valeurs toujours inférieures aux températures extérieures.

Pour les coursives, une évolution, identique et semblable des températures de l'air est nettement marquée avec les courbes d'atrium pour tous les niveaux, en enregistrant des pics de

chaleur aux RDC, 1^{er} et 2^{ème} étage égal à respectivement **32,9°C**, **34,7°C**, **36,9°C**. Ce qui signifie, que les coursives ont le même comportement thermique avec l'atrium, étant donné que l'espace coursive est une partie intégrante de l'atrium (Figure **IV.15(a,b,c)**).

Par ailleurs, les températures intérieures mesurées dans le premier espace adjacent « salles de classe non ventilées » montrent des températures basses par rapport à celles enregistrées dans l'atrium, notamment au RDC, avec des pics de chaleur aux RDC, 1^{er}, et 2^{ème} étage à 16h00 égal à, respectivement : 27,7°C, 32,8°C et 35°C. (Figure **IV.15 (b,c)**). Bien que le RDC garde des valeurs situées dans la zone du confort du 11h00 à 17h00 pour une moyenne de 27°C (Figure **IV.15(a)**). En effet, généralement les salles étant fermées, elles se trouvent incapable de bénéficier de la chaleur extérieure, donc, une diminution de la surface d'échange entre l'intérieur et l'extérieur, justifié ainsi par la présence des deux mitoyens ; l'atrium et le petit patio extérieur, notamment pour le RDC, où le patio sera ombragé en grande partie dans sa partie inférieure, ce qui diminue la surface externe exposée au soleil. Ceci justifie la basse température marqué à ce niveau.

Cependant les différents niveaux des salles de classe ventilées, marquent les températures les plus élevées par rapport à tous les points des mesures intérieurs, en enregistrant un pic de température de **37,8°C** au dernier niveau à **15h00** (Figure **IV.15(c)**). Selon Givoni 1978, les exigences de la ventilation minimale et optimale dépendent du type de climat. Dans les zones à climat chaud et sec, il est souhaitable de réduire à un minimum la ventilation pendant la journée, néanmoins le mouvement d'air est nécessaire pendant le soir pour dissiper l'effet des surfaces internes chaudes. Cela affirme et explique la hausse température marquée à ce niveau.

IV.6.2 Synthèse de la campagne de mesures estivale:

D'après les résultats de l'investigation estivale, nous avons pu déduire, contrairement à ce que nous pensions, que l'espace atrium, par sa surface minime par rapport à la surface totale du bâtiment, a régulé la température intérieure par rapport à l'extérieur. Toutefois ces températures mesurées ont montrées généralement, que la typologie de l'atrium en question est restée quand même en dehors de la zone du confort pour la période d'été dans la présence d'une stratification bien illustrée. Comme il a influé considérablement les coursives qui l'entourent. Par ailleurs les températures dans les espaces adjacents, ont montrées une influence plus au moins déstabilisante à cause de beaucoup de facteurs déjà cités, les plus influençant pour notre cas, citons: l'échange de la ventilation entre l'atrium et l'espace adjacent, le vitrage mural séparant l'atrium avec son espace adjacent et son ouverture, ce qu'ils n'existent pas pour notre cas, ainsi que la présence des parois adjacents exposé aux conditions extérieures.

IV.6.3 Période hivernale:

Une deuxième campagne de mesures a été envisagée pour la période hivernale, afin de compléter l'évaluation du comportement thermique de l'atrium. Une journée représentative (26 /02 /2015) a été prise pour l'analyse, cette journée préleve une baisse température d'air d'une moyenne de 12°C, et un vent de vitesse moyenne de 5 m/s. Un ciel partiellement nuageux pendant les heures matinales d'avant midi et dès l'après-midi le scénario change et le ciel devient clair et dégagé.

a) Evaluation des températures intérieures dans l'espace d'atrium:

Nous remarquons clairement, d'après les courbes de la figure IV.16, que les températures mesurées dans les différents points des mesures aux différents niveaux de l'atrium préservent le même profil et suivent la même allure que les températures de l'air extérieur, en enregistrant des écarts très faibles entre elles. De même on s'aperçoit que les températures enregistrées à l'intérieur sont généralement au-dessus des températures extérieures, dévoilant la forte influence des conditions météorologiques extérieures en termes de couverture du ciel, en sorte que les valeurs les plus élevées sont enregistrées pendant la tranche horaire de l'après-midi qui coïncide avec le dégagement du ciel après avoir été nuageux, en enregistrant des pics presque égaux aux RDC, 1^{er} et 2^{ème} étage, soient respectivement : 15,8°C, 16,1 °C et 16,5°C à 17h.

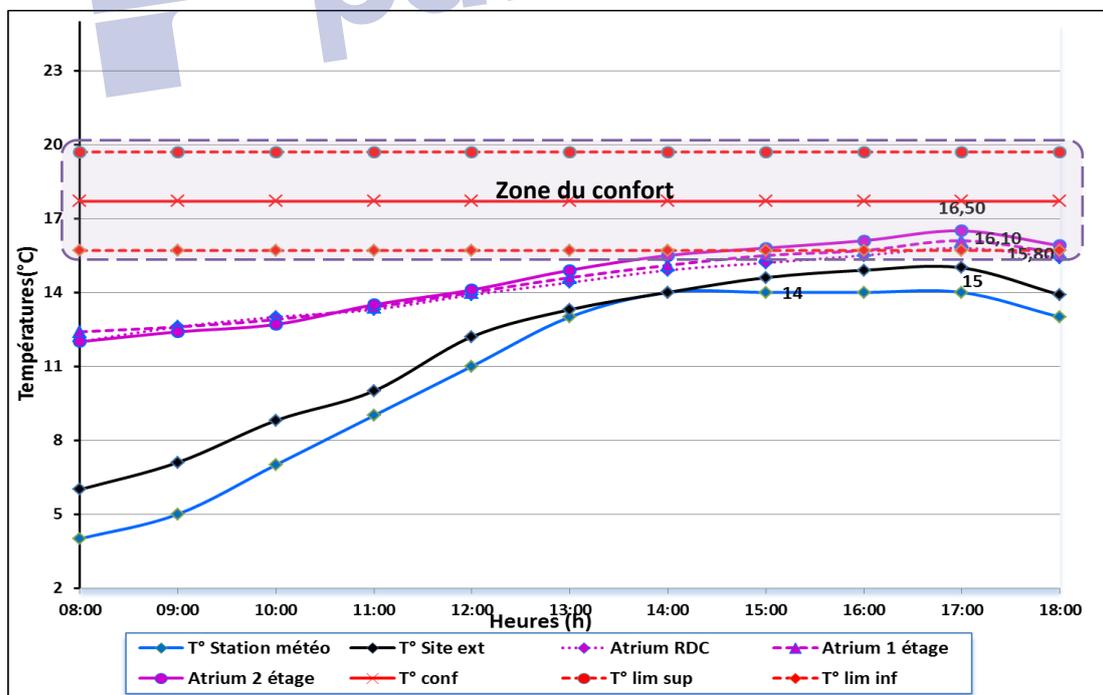


Figure IV.16: Profils d'évolution journalière des Températures de l'air dans l'espace d'atrium pour la période hivernale.

[Source: Auteur]

Ce réchauffement résultant dans l'ensemble du volume d'atrium est essentiellement dû à l'admission de rayonnement solaire à travers la zone vitrée et au stockage de ce gain utile à l'aide des murs et des planchers massifs thermiques élevés [Ayşe Miray Gemi, 2006].

Cette élévation des températures a permis d'avoisiner la limite inférieure de la température du confort « 15,7°C », uniquement pour les heures d'après-midi de 14h à 16h, pour se situer finalement dans la zone du confort pendant l'heure de pic de chaleur (17h), en enregistrant des températures égalant aux : 15,8°C, 16,10°C ET 16,5°C aux Rez-de-chaussée, premier étage et dernier étage, respectivement. Donc nous pouvons dire que la situation du confort pendant la période hivernale est fortement influencée par l'état du ciel et du rayonnement solaire, et c'est que nous l'avons ressenti lors du prélèvement des mesures.

b) Analyse de La stratification thermique au centre d'atrium:

D'après Les profils des gradients thermiques verticaux qui montrent les distributions des températures intérieures verticales dans l'atrium (Voir Fig IV.17), nous constatons que l'espace est faiblement stratifié, avec des gradients de températures modérés. Bien qu'il existe des profils conformes aux trois types de profil de Heller (voir deuxième chapitre) :

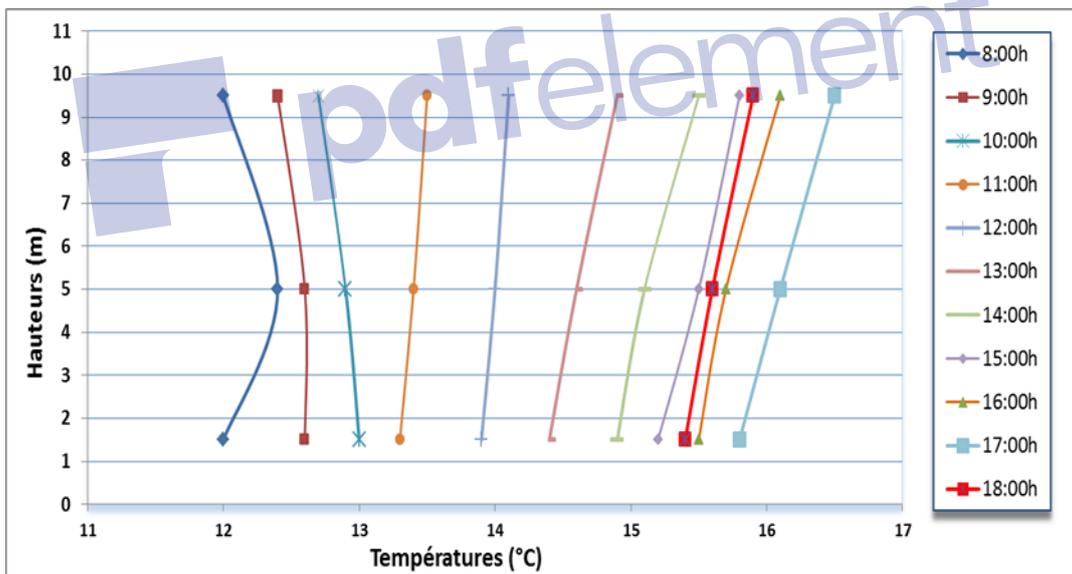


Figure IV.17: Distribution verticale de la température de l'air dans le centre d'atrium en période hivernale.

[Source : Auteur]

Pour La tranche horaire de 8h00 à 10h00, le profil se rapproche au profil type 4 où les températures d'air n'augmentent pas, mais diminuent légèrement tout en allant en hauteur. Ceci traduit bien les effets des vitrages zénithaux froids qui ont tendance à être des parois à fortes déperditions thermiques notamment avec la couverture nuageuse et les baisses températures pendant ces moments. Alors qu'un profil se rapproche au type 1 est marqué à 11 h et 12h00. La

période où le soleil se rapproche du zénith, recevant le maximum des rayons solaires. Ce type correspond au gradient vertical quand la température du volume est uniforme, un faible écart de température entre le bas et le haut de $0,2^{\circ}\text{C}$, affirme ceci. Dans ce cas il n'y a pas de stratification. Un autre profil est marqué de 13h00 à 18h00 qui se rapproche au profil type linéaire (profil type 2) où les sources de chaleur sont uniformément réparties dans l'espace et ses surfaces, en enregistrant par exemple à 16h00 un écart de température de $0,6^{\circ}\text{C}$ entre le niveau supérieur et inférieur. Ces faibles écarts sont strictement causés par la pénétration du rayonnement solaire stocké dans la masse intérieure des composants du bâtiment directement exposés au soleil en hiver, et leurs répartitions sur toute la hauteur. Bien que ces répartitions des températures sont aussi influencées par la configuration de l'atrium.

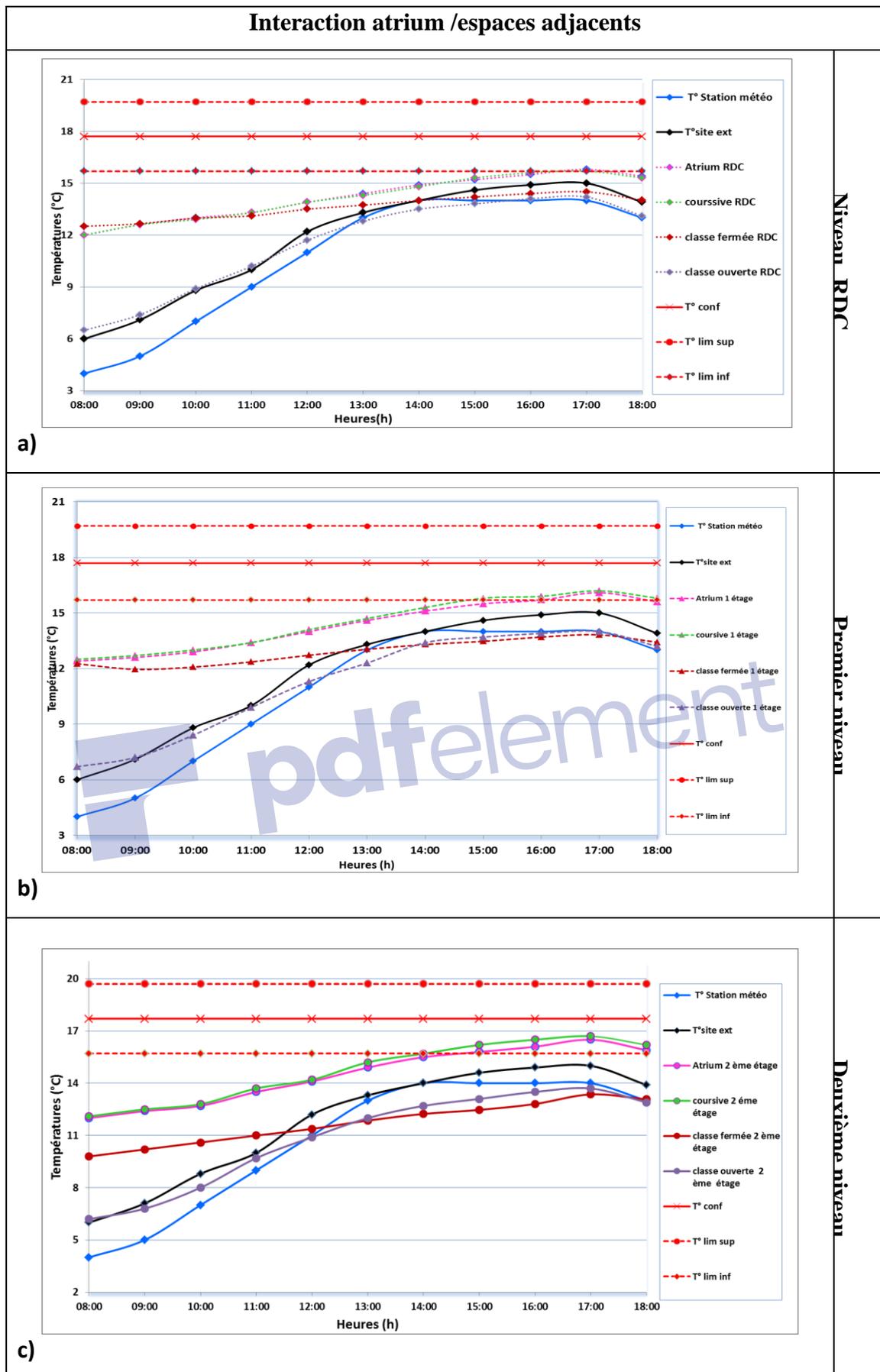
La Stratification Thermique = $\Delta T = T_{\max}(\text{niv haut}) - T_{\min}(\text{niv bas})$. [John Ashley, 2001]

$$\Delta T = 16,5 - 12 = 4,5^{\circ}\text{C}$$

La stratification en hiver est beaucoup moins accentuée en comparaison avec celle d'été, avec une différence de $4,5^{\circ}\text{C}$.

c) Interaction entre espace atrium et espaces adjacents :

Comme il a été déjà énoncé, la température dans les espaces adjacents de l'atrium dépend de certains paramètres physiques de l'espace de l'atrium. Dans cette optique une comparaison de l'évolution de température de l'air entre chaque espace pour chaque niveau, est présentée dans les graphes Présentés dans la figure **IV.18** :



IV.18 les différents graphes des températures de l'air mesurées dans les espaces adjacents et les coursives pendant la période hivernale [Source : Auteur]

Il apparaît nettement que l'espace coursive marque une évolution identique des températures avec l'espace d'atrium pour chaque niveau, ce qui signifie que la coursive se comporte identiquement avec l'atrium vu qu'elle fait partie intégrante de l'atrium, (le même comportement a été marqué en été). Par ailleurs les salles de classe qu'elles soient ventilées ou non ventilées, se sont comportées différemment et inversement par rapport à l'atrium, de sorte que, la température la plus basse est signalée au niveau plus haut, où il a été enregistré un pic de $13,7^{\circ}\text{C}$, et $13,4^{\circ}\text{C}$, à 17h aux salles de classe ventilées et non ventilées, respectivement, contre un pic de 16°C dans l'atrium, aux derniers niveaux (Voir Fig IV.18(b,c)). Ceci est principalement attribué à l'exposition des parois aux conditions extérieures, ainsi, qu'à la carence de la surface vitrée de la paroi adjacente à l'atrium et ceci dans l'absence totale d'ouverture entre ce dernier et l'espace adjacent. Cette situation a permis aux températures mesurées dans les différentes pièces d'être en dehors des limites du confort thermique.

IV.6.4 Synthèse de la campagne de mesures hivernale:

L'analyse des résultats obtenus de l'investigation pour la période hivernale, nous a permis d'identifier le comportement thermique de l'atrium et ses espaces adjacents, d'où nous avons pu constater qu'en hiver, l'atrium en question pourra être réchauffé passivement en admettant librement les rayons solaires à l'intérieur à travers la couverture vitrée, tout en dépendant d'une part, des conditions climatiques externes, principalement la nébulosité du ciel, et en d'autre part, par la surface d'atrium par rapport à la surface totale du bâtiment. Néanmoins la température intérieure des espaces adjacents restera influencée par plusieurs paramètres, principalement par les gains directs absorbés à travers les parois extérieures (ouverture ou fermeture des fenêtres extérieures, espaces situés au dernier niveau), du type de l'atrium lui-même, tels que, les caractéristiques du mur adjacent de l'atrium, sa surface vitrée et son degré d'ouverture. De ce fait nous pouvons dire que l'atrium peut être considéré comme une stratégie passive en hiver, en atteignant relativement le confort, mais son influence sur les espaces adjacents restera conditionnée par plusieurs paramètres cités en haut.

Conclusion :

Ce présent chapitre a été consacré à l'analyse et l'interprétation des résultats issus de l'investigation, qui s'est déroulée durant les deux périodes estivale, et hivernale. Dans la première campagne estivale, il ressort que l'atrium a entraîné un effet positif en atténuant la température intérieure par rapport à l'extérieur, contrairement à ce qui a été supposé, engendré principalement par le faible ratio d'atrium par rapport à la surface totale du bâtiment, Quant à la stratification de l'air, elle a été présente et changeante d'un moment à un autre, et marquée durant toute la campagne de mesures, où il a été enregistré des écarts qui atteignent 4,4 °C, entre le niveau inférieur et le niveau supérieur, tout en restant en dehors de la zone du confort thermique intérieur. En outre l'atrium peut également fournir partiellement de la chaleur aux espaces adjacents. Néanmoins, la température dans ces derniers dépend aussi de certains paramètres physiques de l'espace de l'atrium, comme sa configuration, les propriétés de la paroi vitrée séparant l'atrium aux pièces adjacentes, ainsi que l'état de la paroi exposé aux conditions extérieures.

La seconde campagne de mesures a permis de déterminer qu'en hiver, la température de l'air intérieur est plus au moins plus élevée que celle de l'extérieur en raison des gains de chaleur solaire pénétrants la grande zone vitrée, et se stockant dans les murs et les planchers, ce qui a permis d'élever la température intérieure et d'être dans les limites du confort thermique pour certains moments de la journée. Néanmoins, ce confort dépend des conditions extérieures, notamment la nébulosité du ciel, où nous avons constaté un changement de stratification suivant la couverture du ciel et la température extérieure en enregistrant une faible stratification par rapport à l'été et qui tend même à s'absenter totalement pour certaines heures. Comme il a été révélé que l'espace d'atrium ne peut pas influencer les espaces adjacents dans l'absence d'une connexion entre ces derniers et l'atrium via une ouverture, dépendant aussi aux performances du mur adjacent, et la paroi exposée aux conditions extérieures. De ce fait, nous pouvons affirmer que l'atrium en période hivernale, de par sa forme et sa configuration, forme un espace tampon entre l'environnement intérieur et extérieur.

Nous pouvons donc conclure, selon le contexte spécifique de la recherche, que pour un climat chaud et aride, la configuration de l'atrium influence énormément le confort thermique intérieur. Dont le faible ratio de l'atrium par rapport à la surface du bâtiment reste un paramètre à préconiser, notamment en période estivale. Et pour valider ces résultats et mettre en valeur la configuration de l'atrium la plus adéquate à ce climat, et de tester d'autres paramètres pouvant améliorer le confort thermique intérieur, une simulation numérique à l'aide du logiciel Edsl-TAS, s'avère nécessaire et fera l'objet du prochain chapitre.

Chapitre V :

Simulation Numérique



Introduction:

L'environnement bâti est assez complexe et implique de nombreuses interactions, même si nous nous limitons à des problèmes d'environnement et de confort, il n'est pas possible de faire des diagnostics à première vue sur le climat intérieur engendré, car les questions de conception des bâtiments sont généralement très compliquées et ne peuvent être vérifiées par une simple utilisation des règles ou des directives de conception, cependant la flexibilité de la modélisation et la simulation informatique permettent de traiter cette complexité, il est donc nécessaire que les outils de simulation aient un moyen fiable et précis de prédire et analyser en détail le comportement thermique des bâtiments et par la suite d'offrir des recommandations pour les stratégies de conception.

Les conditions de l'environnement intérieur d'un atrium inconditionné étant nombreux (échauffement, refroidissement, mouvement de l'air...etc) peuvent varier assez largement en dépendant de certaines configurations (orientation, implantation, dimensionnement ...etc), en plus l'enveloppe du bâtiment qui joue un rôle important dans la transmission de la chaleur entre les espaces, les murs, les ouvertures,...etc, par le processus de la conduction, la convection et le rayonnement. En raison de ces sous-systèmes interagissant les uns aux autres, un programme de simulation numérique thermique vient d'être un élément exigeant dans notre recherche afin de compléter et combler certains point faibles que l'investigation in-situ peut en avoir.

Ce chapitre dédié à la simulation numérique décrit le logiciel choisi, son utilisation, sa structure, et son fonctionnement. L'objectif est d'examiner le comportement thermique en différents scénarios et définir les paramètres influençant ce comportement et d'évaluer le potentiel d'amélioration de la qualité de l'air intérieur offerte par la ventilation, et dernièrement est de proposer des critères de conception et de configuration pour l'amélioration du confort thermique de l'environnement intérieur de l'atrium.

V.1 Présentation de l'outil de simulation:

V.1.1 Choix d'outil de simulation :

Le programme de simulation, par lequel les calculs de l'atrium ont été menés, s'appelle EDSL Tas. La première génération du logiciel Tas a été développée dans les années 70 et au début des années 80 à « Cranfield » Institute of technology, pour arriver dans sa quatrième décennie de développement à sa troisième génération « version9 » avec une toute nouvelle interface et un système de données complètement redessiné, tout en conservant la stabilité, la rapidité et la précision de calcul.

Les modèles de simulation thermique dynamique sont des représentations mathématiques des processus thermiques qui se produisent dans un bâtiment. Un logiciel de simulation d'énergie Tas

est une solution complète pour la simulation thermique dynamique d'un bâtiment et un outil de conception puissant dans l'optimisation des performances environnementales, énergétiques et de confort d'un bâtiment [M.R.Atif ,1992]. Il utilise des méthodes empiriques prouvées et précises pour estimer le transfert de chaleur par convection à partir des surfaces internes [A.M. Jones].

Il est Capable d'effectuer une simulation thermique dynamique pour les bâtiments les plus grands et les plus complexes, Tas permet aux concepteurs de prédire avec précision :

- l'évaluation de la performance environnementale ;
- la prédiction de la consommation d'énergie ;
- l'analyse des options de conservation d'énergie et le ciblage énergétique ;
- les émissions de CO₂ ;
- les coûts d'exploitation et le confort des occupants ;

V.1.2 Mise en fonction du logiciel :

L'approche fondamentale adoptée par Tas est la simulation dynamique. Cette technique traçait l'état thermique du bâtiment à travers une série d'instantanés horaires, fournissant à l'utilisateur une image détaillée de la façon dont le bâtiment fonctionnera, non seulement dans des conditions de conception extrêmes, mais tout au long d'une année typique. Cette approche permet d'évaluer correctement les influences des nombreux processus thermiques qui se produisent dans le bâtiment, leur synchronisation, leur localisation et leur interaction.

Tas Engineering a un design modulaire, il est divisé en trois programmes principaux (Fig V.1), comme suit:

Principe de fonctionnement du logiciel	
 3D Modeller	<p>Est l'application où la création de la géométrie du bâtiment s'effectuera pour développer un model thermique, en entrant et en répartissant la géométrie en zones. Il s'agit de la phase d'entrée de la géométrie. Une fois que cette dernière est achevée, elle sera exportée vers l'application Building Simulator. Pendant le processus d'exportation les calculs des ombres peuvent être effectués.</p>
 Building Simulator	<p>C'est l'étape à laquelle on commence à fournir un peu plus d'informations sur le modèle thermique en ajoutant des données de construction, des conditions météorologiques, des gains internes, les taux d'infiltration et de ventilation, des fonctions de contrôle, les groupes de zones, les ouvertures ...etc.</p>

Les entrées (inputs)

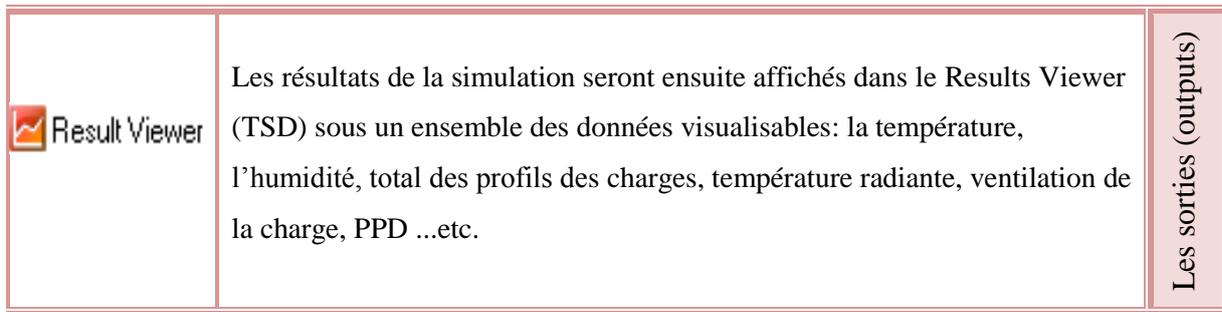


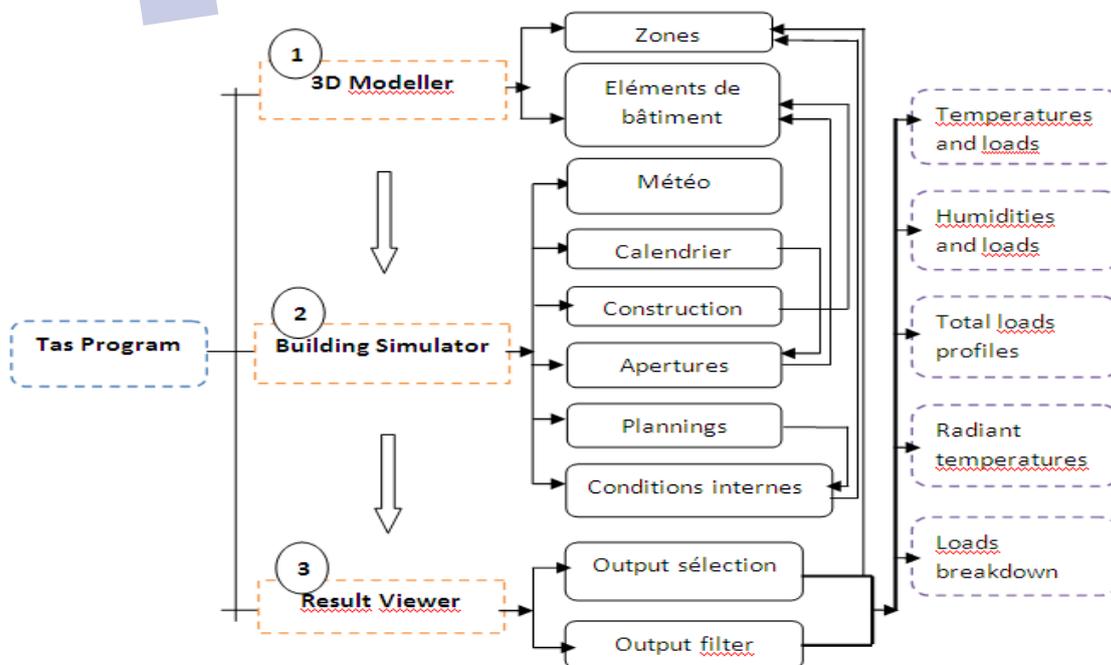
Figure V.1 :Mise en fonctionnement du logiciel

[Source : Help TAS réadapté par auteur]

V.2 Procédure et déroulement de la simulation :

Afin de compléter les résultats de l'investigation, la simulation numérique par le programme « Edsl Tas» a été effectuée pour le cas d'étude expliqué dans le chapitre précédent. La simulation couvre la période estivale qui a été choisi auparavant pour l'investigation, elle s'est déroulé pendant la journée du 11/07 /2016 pendant laquelle le temps a été chaud et clair.

La figure (V. 2) illustre la procédure à effectuer dans la simulation, les trois modules du logiciel déjà illustrés seront utilisés : 3D Modeller, Building simulator, Results Viewer, ensuite, pour une analyse plus détaillée des conditions internes pour une heure donnée , un quatrième module « AMBIENS » sera utilisé, ce dernier est un programme 2D de dynamique des fluides computationnelle (CFD), spécifiquement conçu pour modéliser le flux d'air et les températures dans les bâtiments



FigureV.2 : Schéma explicatif des procédures et fonctionnement de la simulation par Tas.

[Source : Auteur ,2016]

V.3 Développement du model Tas :

Le modèle géométrique 3-D du bâtiment de l'atrium a été créé sur la base des dessins architecturaux « DWG » disponibles du bâtiment réel (Figure V.3). Cependant pour plus de commodité, le model a été simplifié en ignorant les escaliers intérieurs et extérieurs, les petits coins et en jumelant quelques espaces en seule zone. Le model a été défini en zones à l'intérieur de chaque étage à des fins de simulation thermique, donc trois groupes principaux de zones ont été répartis comme suit :

- zones Atrium : (atrium RDC, atrium 1^{er} étage, atrium 2^{ème} étage, Toit);
- zones Coursives: (coursive RDC, coursiive 1^{er} étage, coursiive 2^{ème} étage) ;
- zones Espaces adjacents : (Espace adj RDC, espace adj 1^{er} étage , espace adjacent 2^{ème} étage);

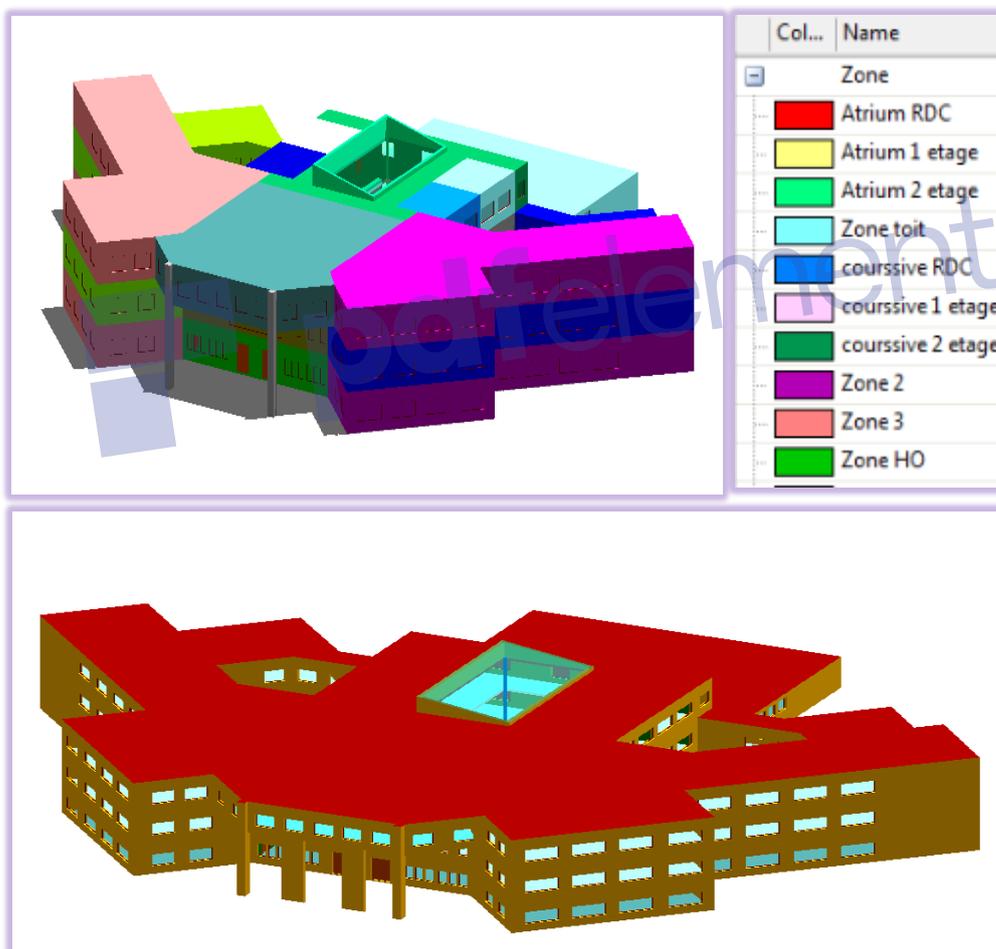


Figure V.3 :Le model géométrique du cas d'étude avec les différentes zones créés par Tas 3D Modeller

[Source : Auteur,2016]

V.4 Paramètres du calcul numérique (les inputs):

V.4.1 Fichier climatique :

La simulation du bâtiment dans TAS est guidée par les conditions météorologiques. Ainsi, les données climatiques dans sa base de données contiennent des variations horaires enregistrées de la température de l'air, de l'humidité, de la vitesse et la direction du vent, et de l'énergie solaire pendant toute une année (Figure V.4). Étant donné que les données du fichier météo utilisé ne représentent pas les conditions météorologiques typiques de la journée en question, elles ont été modifiées pour la journée choisie et pour les 15 jours de pré-conditionnement. Il s'agit d'une caractéristique du programme TAS qui permet de simuler le bâtiment sous la condition météorologique se produisant pendant plusieurs jours avant le jour où les résultats de la simulation sont effectivement enregistrés. Par conséquent le rayonnement solaire et global et diffus sont tirés de l'atlas solaire [CAPDEROU.1986], quant aux données climatiques, elles sont provenues de la station météo.

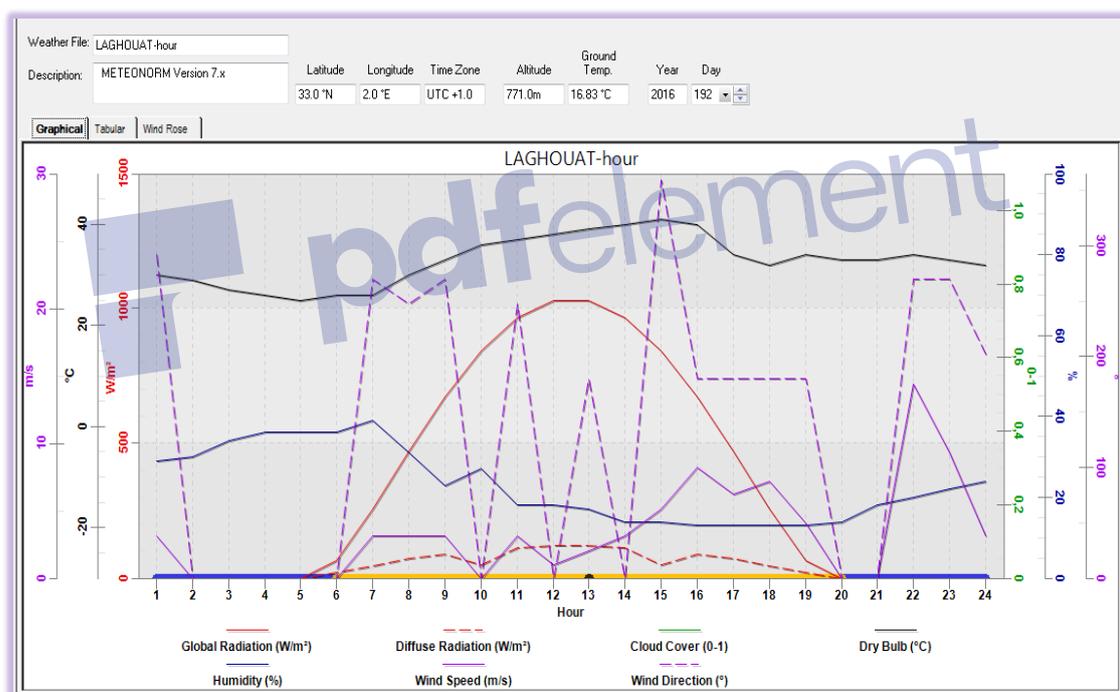


Figure V.4: Fichier climatique, relative aux jours d'investigation et de Pré-conditionnement

[Source : Auteur,2016]

V.4.2 Calendrier:

Le calendrier est un service important qui décrit les aspects opérationnels du bâtiment. Sa fonction principale est de définir le type de jour pour chaque jour de l'année. Ces types de jour servent à regrouper les jours où les zones ou les éléments de construction qui ont des spécifications similaires. Dans notre cas ces types déterminent les jours des simulations. (Figure V.5)

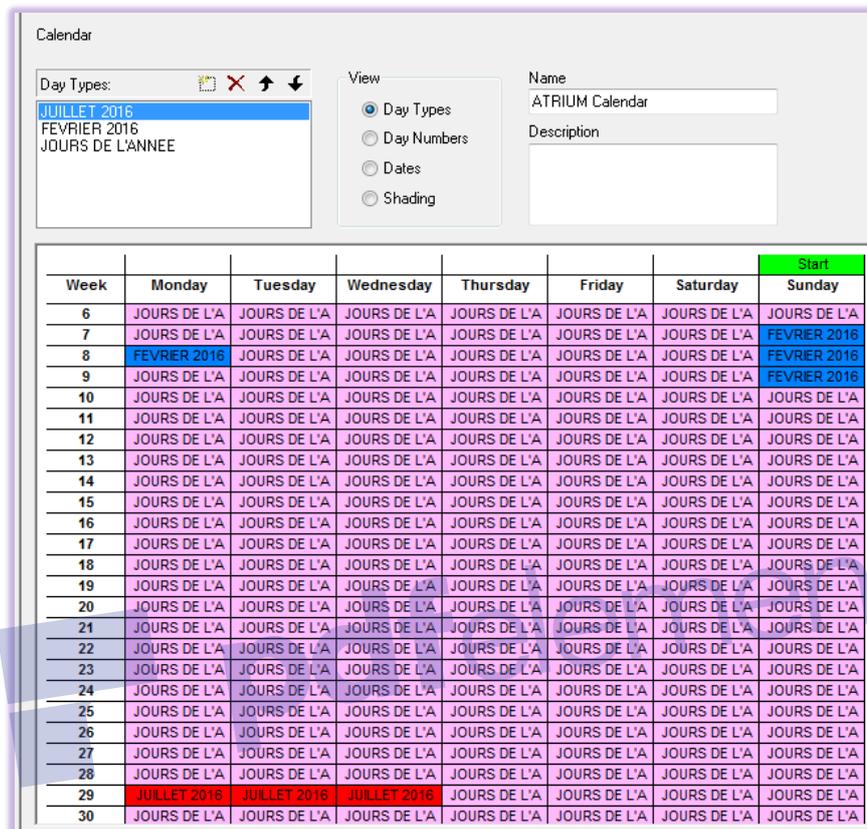


Figure V.5 : Le calendrier utilisé définissant les différents types des jours de l'année

[Source : Auteur,2016]

V.4.3 Eléments du bâtiment et constructions :

En plus des conditions météorologiques similaires, il est également très important que les détails de construction de tous les éléments du bâtiment soient maintenus aussi près que possible des caractéristiques des constructions réelles du Bâtiment, afin d'obtenir de meilleurs résultats de prévision. A cet effet des propriétés thermo-physiques sont définies pour la composition de tous les éléments du bâtiment (plancher, plafond, murs, fenêtres, etc) (Voir Annexe III). Chaque élément de bâtiment doit avoir une construction qui lui est assignée (Figure V.6).

Name	Description	Construction	Building Element Type
External Wall		MUR EXT	External Wall
Internal Wall		MUR INT	Internal Wall
Ground Floor		SOL	Slab on Grade
Exposed Floor		PLANCHER PLAFOND	Exposed Floor
Roof		PLANCHER TOITURE	Roof
Internal Floor/Internal...		PLANCHER PLAFOND	Internal Floor
Null	Null Building Element		No Type
EXT WIND 1 -frame		CADRE PORTE ET FENETRE	Frame
EXT WIND 1 -pane		FENETRE	Glazing
EXT WIND 2-frame		CADRE PORTE ET FENETRE	Frame
EXT WIND 2-pane		FENETRE	Glazing
DOOR-frame		CADRE PORTE ET FENETRE	Frame
DOOR-pane		PORTE	Door
EXT WIND 3-frame		CADRE PORTE ET FENETRE	Frame
EXT WIND 3-pane		FENETRE	Glazing
EXT WIND 4CLASSE-fr...		CADRE PORTE ET FENETRE	Frame
EXT WIND 4CLASSE-p...		FENETRE	Glazing
EXT WIND 5-frame		CADRE PORTE ET FENETRE	Frame
EXT WIND 5-pane		FENETRE	Glazing
DOOR EXT 1-frame		CADRE PORTE ET FENETRE	Frame
DOOR EXT 1-pane		PORTE	Door
EXT WIND 6-frame		CADRE PORTE ET FENETRE	Frame
EXT WIND 6-pane		FENETRE	Glazing
DOOR CLASS-frame		CADRE PORTE ET FENETRE	Frame
DOOR CLASS-pane		PORTE	Door
WIND IMPOST-frame		CADRE PORTE ET FENETRE	Frame
WIND IMPOST-pane		FENETRE	Glazing
WIND 7-frame		CADRE PORTE ET FENETRE	Frame
WIND 7-pane		FENETRE	Glazing

Figure V.6 : Eléments du bâtiment, affectés aux éléments constructifs

[Source : Auteur,2016]

V.4.4 conditions internes:

Pour les conditions internes, nous avons exclu toute sorte des gains liés à l'éclairage, aux occupants et à l'équipement, afin de maintenir les mêmes conditions intérieures du bâtiment lors des mesures in-situ, excepté les spécifications d'infiltration pour chaque zone. (Figure V.7).

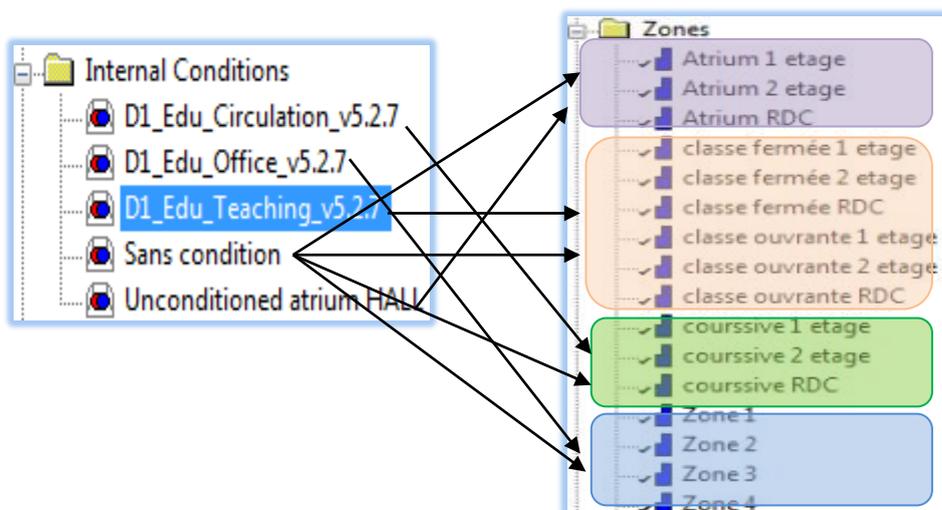


Figure V.7 : Conditions internes appliquées aux différentes zones

[Source : Auteur, 2016]

V.4.5 Scénarios d'occupation:

Le bâtiment est accepté pour être occupé de 08h00 à 17h00 en semaine, y compris samedi en fonction de l'information tirée des heures d'ouverture réelles du bâtiment. Par conséquent, les heures d'occupation ont été définies au cours de cette période.

Les scénarios contrôlent en général les horaires des gains internes, des thermostats, des types d'ouverture, des dispositifs d'ombrage, et des mouvements d'air entre zones. Dans notre cas, un seul scénario est utilisé, qui définit l'occupation du bâtiment par les usagers de 8 :00h à 18 :00h(Figure V.8).

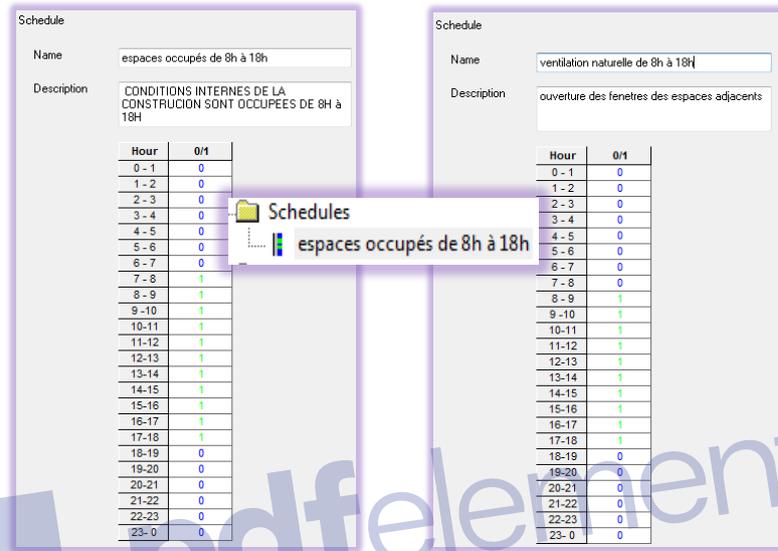


Figure V.8 : Scénarios d'occupation et de ventilation horaire utilisés

[Source : Auteur,2016]

V.4.6 Type d'Aperture :

Cette fonction concerne la spécification des données pour la simulation de la ventilation naturelle à travers une ouverture, par laquelle l'air peut s'écouler. Tout élément de construction, opaque ou transparent, peut avoir un profil de type d'ouverture qui lui est affecté, ce profil contient des paramètres relatifs aux heures de fonctionnement et à la proportion d'ouverture, et lorsqu'il est affecté à un élément de construction, il permet à l'air de circuler à travers l'élément de construction à certains moments (Figure V.9). Après une simulation, des circulations d'air peuvent être illustré dans « the result viewer »

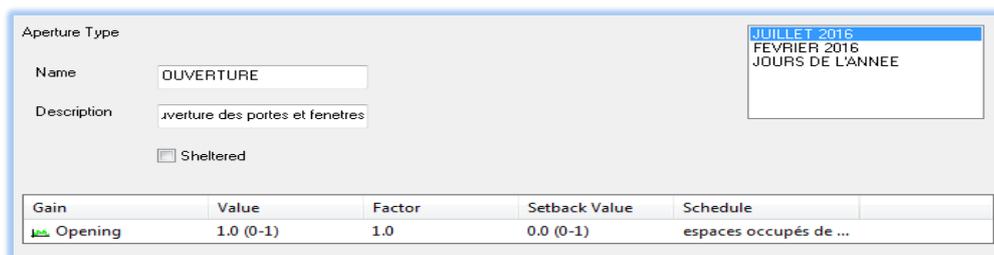


Figure V.9 : Type d'aperture pour la ventilation naturelle

[Source : Auteur,2016]

V.5 Résultats de simulation et analyse des données:

Les résultats que nous montrons dans la suite seront limités à l'espace d'atrium vu que ce dernier sera l'espace censé à analyser et à améliorer, puisque, tel qu'il a été indiqué précédemment au chapitre d'investigation, que l'espace d'atrium n'a pas pu influencer les espaces adjacents.

V.5.1 validation des résultats :

Avant de présenter les résultats obtenus par la simulation numérique, il est opportun de confronter les résultats des simulations aux résultats expérimentaux. Les comparaisons seront portées sur l'évolution des températures de l'air intérieur des différents niveaux de l'espace atrium pendant les heures d'occupation et éventuellement de mesure (Voir Fig V.10). Ces résultats sont relatifs aux journées du 11/07/2016, et 26/02/2016, qui ont été les mêmes de celles prises et présentées dans la partie d'investigation.

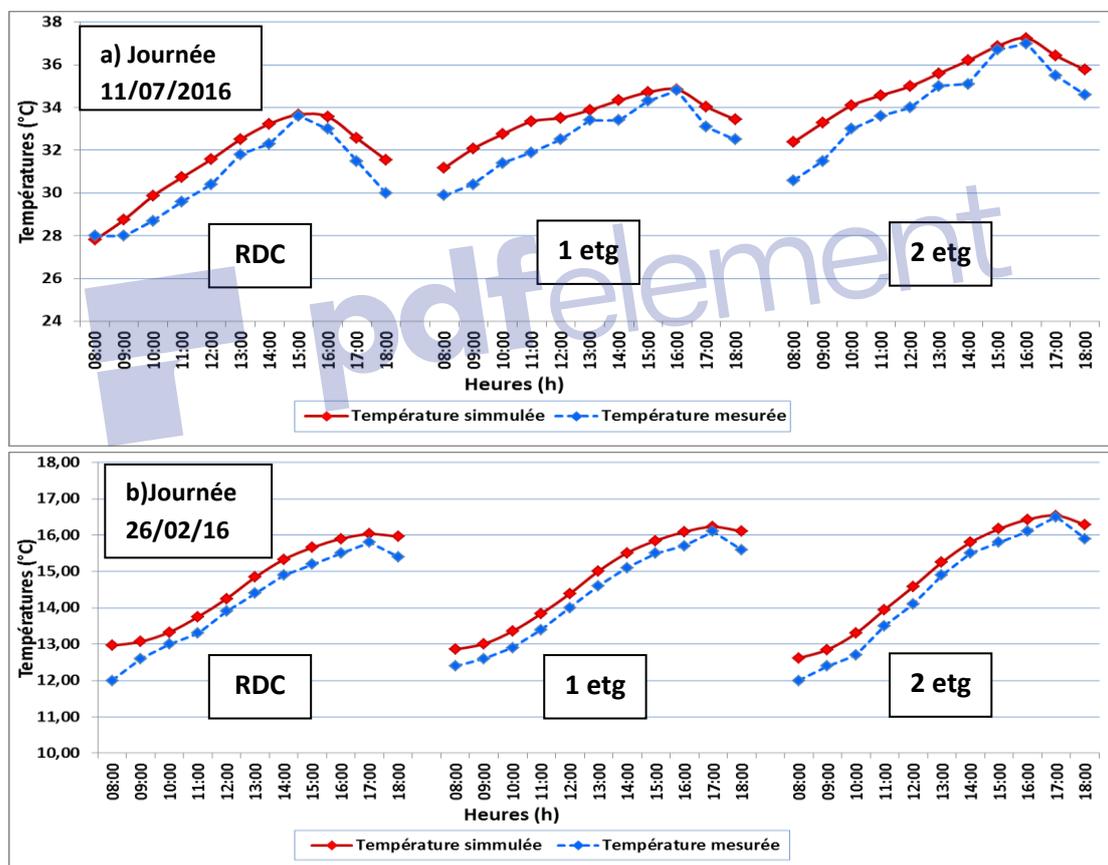


Figure V.10 (a ,b) : Comparaison entre l'évolution des températures intérieures de l'atrium mesurées et simulées pour les deux périodes estivale et hivernale

[Source : Auteur, 2016]

Les résultats de la comparaison présentent une évolution similaire, avec un écart maximal de $1,7^{\circ}\text{C}$ pour la période d'été (Voir Fig V.10), alors qu'en hiver l'écart est bien inférieur à 1°C (Voir Fig V.10). Ces écarts peuvent être admis comme admissibles, comme ils peuvent être attribuables à plusieurs variables, particulièrement ; la dissemblance des conditions

météorologiques utilisées lors de la simulation et celles des mesures, notamment pour la période d'été, comme il revient également, aux valeurs fixes du taux d'infiltration dans le logiciel, contrairement au bâtiment réel où il y a eu de nombreux chemins de circulation d'air, aussi bien que le microclimat du site qui tend à être moins estimé sur logiciel.

V.5.2 Simulation du cas d'étude et modélisation dynamique:

La présentation des résultats de la simulation du model d'étude s'avère nécessaire pour pouvoir proposer des améliorations quant à la configuration de l'atrium pour un meilleur confort thermique intérieur. Egalement, la simulation par Tas avait l'avantage de prédire la température de l'air intérieur à proximité de la toiture vitrée, une chose que nous l'avons pas pu mesurer lors d'investigation in-situ.

a) Distribution de températures de l'air intérieures dans l'atrium:

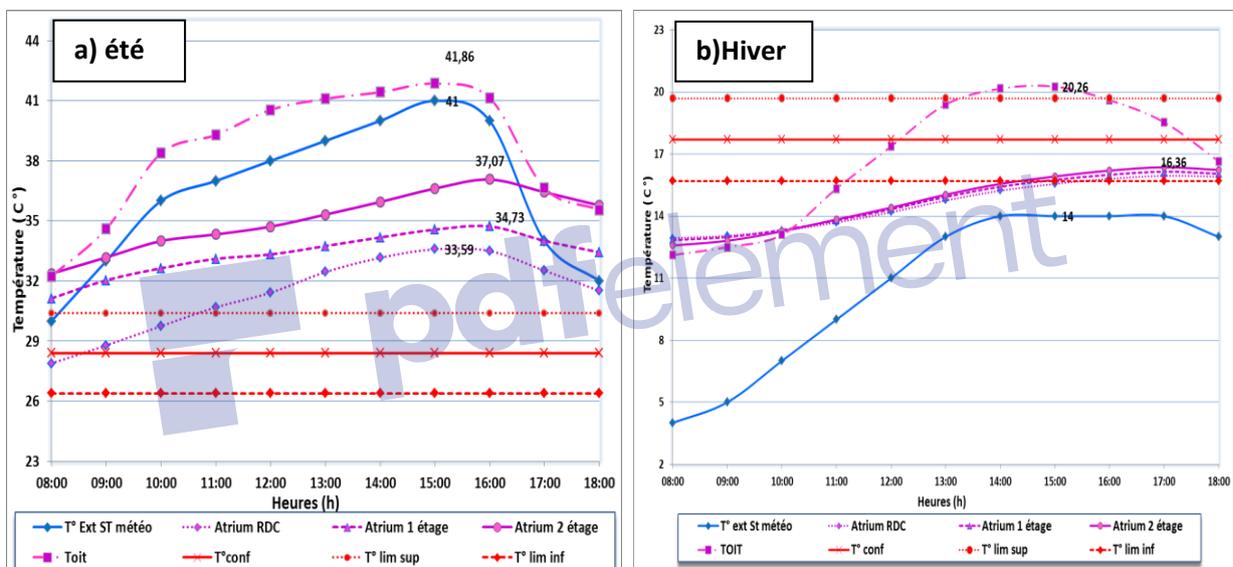


Figure V.11 (a,b) : Evolution des températures de l'air intérieur, simulées dans l'espace atrium pour les deux périodes ; estivale, et hivernale.

[Source : Auteur,2016]

Au regard des résultats des deux périodes estivale et hivernale présentés dans la figure(V.11 (a, b)), nous observons que le comportement thermique de l'atrium suit la même logique des résultats d'investigation in-situ, présentés dans le chapitre précédent, seulement que la température de la zone du toit que nous avons pu simuler par Tas, a montré une température beaucoup plus élevée par rapport aux autres niveaux, tout en dépassant la température extérieure et en suivant sa même allure, dont les pics de chaleur sont de **41,86°C** en été à **15h00**, et **20,36°C** à **17h00** en hiver; à ce moment-là, l'écart entre ces température la température extérieure est plus

important en hiver qu'en été. Ceci est causée principalement par les rayons plus basses du soleil en hiver qui ont permis à la tache solaire de se focaliser dans la partie très haute de la toiture vitrés, avec un écart de $4,7^{\circ}\text{C}$ entre le haut et le bas (Voir Fig V.11 (b)). Cette situation a permis de rester en dehors de la zone du confort en été, et de se situer dans les limites du confort en hiver pour les heures d'après-midi. Mais avec des valeurs très proches à la limite inférieure. Tandis qu'en été l'écart de température entre le niveau inférieur et le niveau supérieur (Zone du Toit) atteint le $8,2^{\circ}\text{C}$ à 15h00 (Figure V.11 (a)), ce qui traduit bien la quantité des gains par radiation solaire reçus au niveau du Toit.

Ces résultats ont été également prouvés par les études de **Ayşe Miray Gemi**, en **2006** où il a été démontré un gradient de température très élevé en été, la température extérieure a été supérieure à la zone du RDC et du 1^{er} étage d'atrium étudié. Tandis que les températures des niveaux supérieurs ont porté des valeurs plus élevées. Dans le cas d'hiver, il a été observé que les températures de l'atrium sont toujours au-dessus des températures extérieures.

b) stratification de l'air et simulation dynamique :

Et dans le but de renforcer nos résultats, particulièrement pour la distribution de la température de l'air à l'intérieur de l'espace d'atrium, pour des moments spécifiques. Une simulation CFD est réalisée à l'aide du module « Ambiens » du programme « Tas » qui permet une modélisation simple et des simulations rapides. Pour cette raison notre atrium est modélisé sous forme d'une section de 2D et simulé pour trois moments choisis dans la journée, soient les heures d'occupation les plus critiques de la journée (8h00, 15h00, 18h00).

- Cas été :

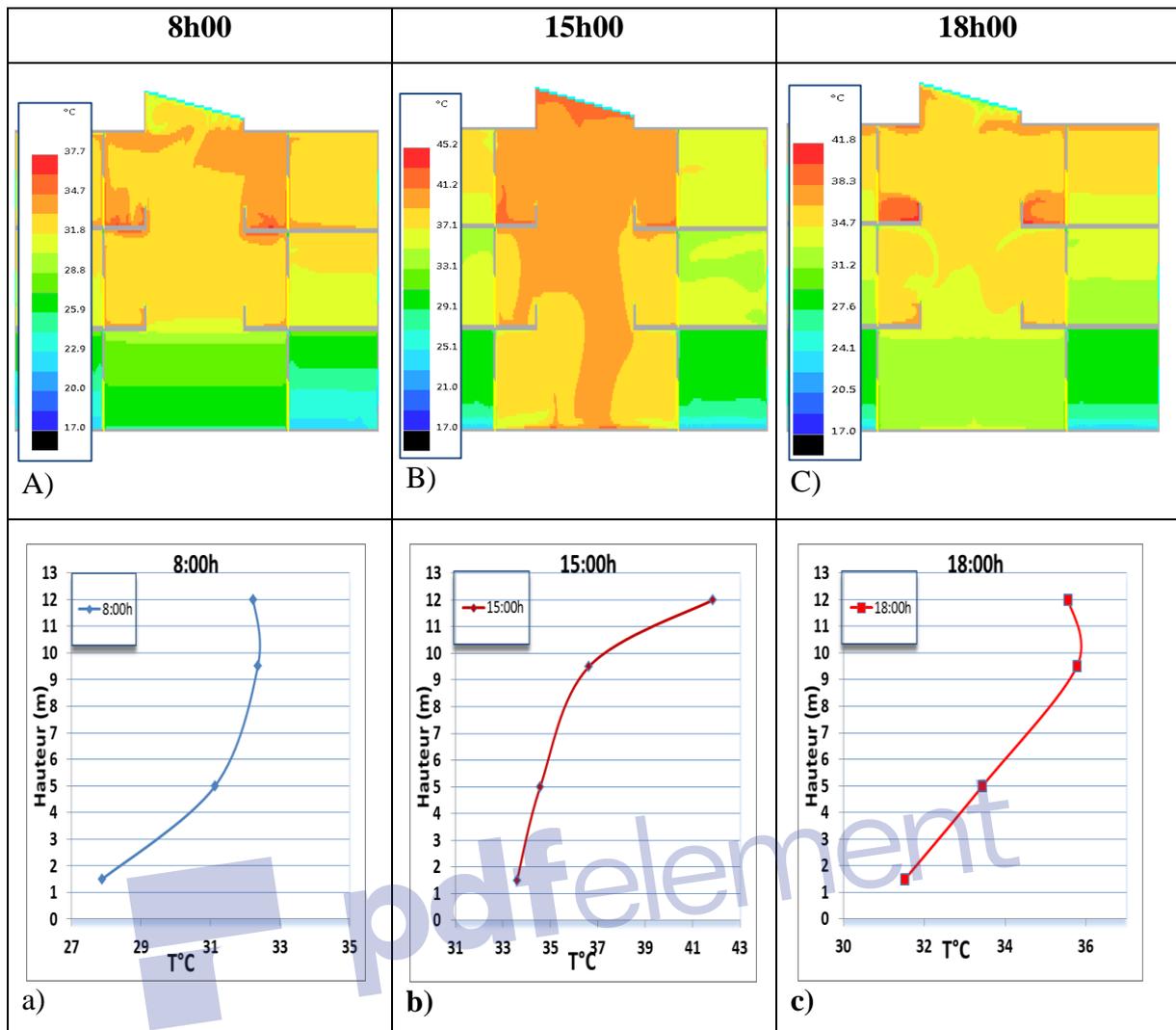


Figure V.12(A,B,C,a,b,c) : Résultats des stratifications de l'air, et des champs des températures obtenus dans l'atrium par simulation pour la période estivale

[Source : Auteur,2016]

Généralement, les résultats obtenus pour les trois heures simulées en CFD, et celles illustrées en graphes, montrent une variation dans les températures entre les niveaux bas et haut de l'atrium. Ceci est bien attribué à la toiture vitrée de l'atrium sollicitée par le rayonnement solaire.(Fig V.12 (A,B,C,a,b,c)).

Dans une approche comparative entre ces trois heures, il est bien évident que l'heure du pic (**15h00**) montre un important gradient thermique par rapport aux températures enregistrées à **8h00** et à **18h00**, avec un profil qui se rapproche au profil type3de Heller (FigV.12(b)).Ce profil est obtenu lorsque la source de chaleur est localisée et confinée en partie haute près de la toiture, en enregistrant des températures d'air assez élevées atteignant les 45,2°C. Alors qu'en partie basse elles avoisinent les 33,1°C(FigV.12 (B,b)), dont l'écart est de 12,1°C. Par ailleurs, les

profils à 8h00 et à 18h00, enregistrent des écarts beaucoup moins élevés, soient respectivement: 5,9°C,et 3,5°C. Ces profils se rapprochent au profil type4(FigV.12 (A,C,a,c)), qui signifient que les températures d'air près du sol sont élevées comparées à celles des couches supérieures.

- Cas d'hiver

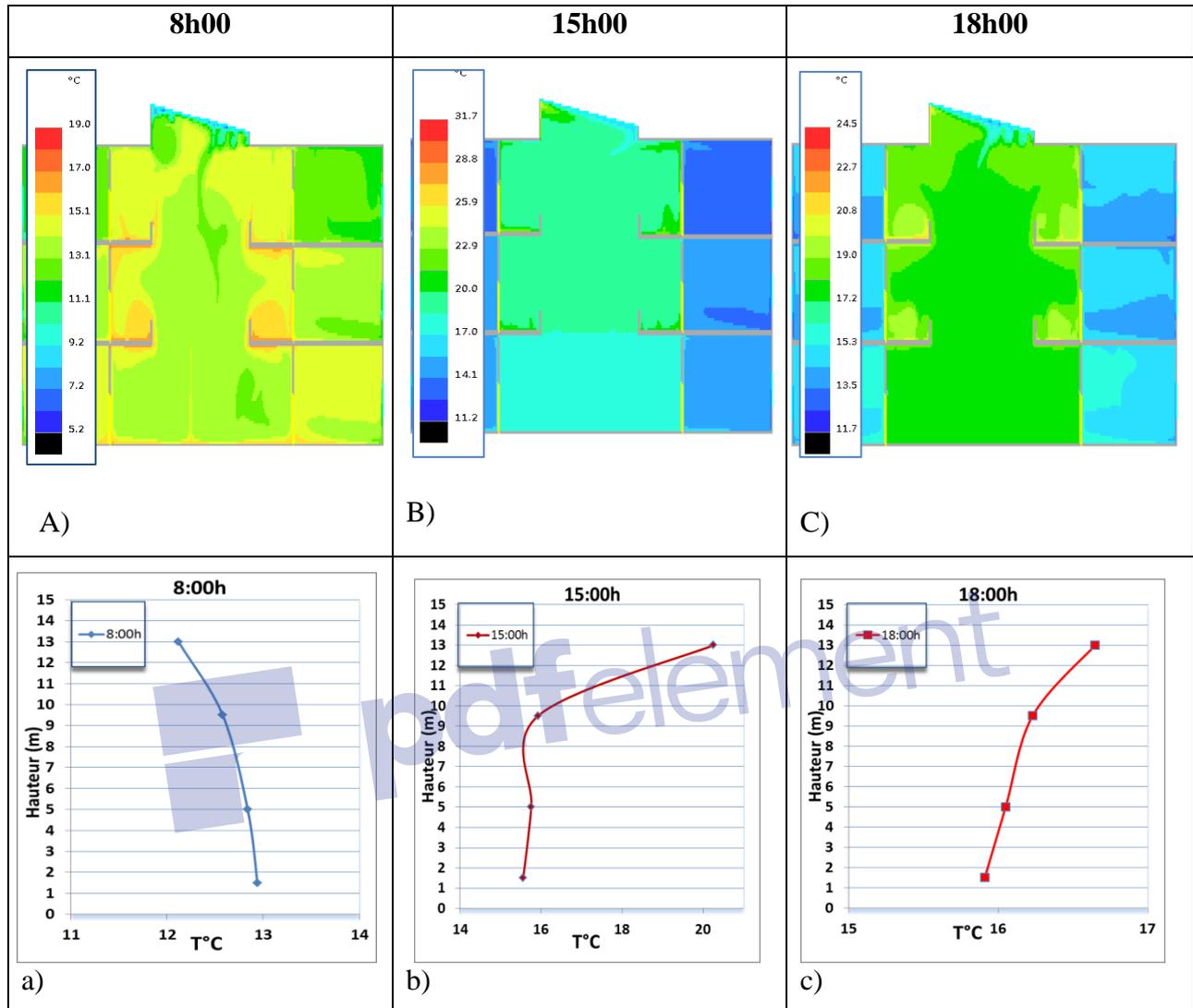


Figure V.13(A,B,C,a,b,c) : Résultats des stratifications de l'air, et des champs des températures obtenus dans l'atrium par simulation pour la période hivernale

[Source : Auteur,2016]

Comme pour le cas d'été, la présence de la stratification thermique est bien illustrée par une variation de température entre le niveau le plus bas et le niveau plus haut (Voir FigV.13 (A,B,C,a,b,c)). A ce moment, la stratification à 15h00 est plus accentuée par rapport à celle de 8h00 et de 18h00, en présentant un profil de type 3 selon Heller, dont l'écart de température est de 5,9°C entre le point le plus haut et le point le plus bas (FigV.13 (B,b)). Ceci dévoile bien la grande quantité des gains solaires reçue au niveau de la toiture vitrée. Par ailleurs le profil à

18h00 présentant ainsi un profil de type 3 mais faiblement stratifié, dont l'écart est de $0,7^{\circ}\text{C}$ (Fig V.13 (C,c)). Cela coïncide avec la période où l'atrium ne reçoit plus des gains solaires. Les résultats marqués à 8h00 présentent une stratification instable, en enregistrant des températures plus basses près de la toiture atteignant le 12°C , alors qu'en partie basse avoisinent les 13°C , dont l'écart est faible ($0,8^{\circ}\text{C}$) (Fig V.13 (A,a)). Ce phénomène se produit lorsqu'un fluide chaud, plus léger se trouve au-dessous d'un fluide plus froid et plus lourd (comme il est indiqué au chapitre 2), ce qui coïncide avec la couverture du ciel (absence des gains solaires pénétrants). Ceci traduit bien les effets des vitrages zénithaux froids qui ont tendance à être des parois à fortes déperditions thermiques. (Fig V.13 (A,B,C)).

Synthèse:

D'après les résultats, il y avait des différences admissibles entre les résultats mesurés et celles prédites par le logiciel TAS causés par les raisons que nous avons déjà citées. Cependant, la tendance générale prouve qu'une grande stratification thermique se produit au niveau très supérieur, en comparaison avec celle obtenue par mesures in-situ, notamment en été, ce qui cause une grande surchauffe. Cette différence est due à la simulation de la zone très haute que TAS 3D a pu la modéliser, et laquelle nous n'avons pas pu mesurer les températures à son niveau lors des mesures in-situ.

V.6 Simulation et Analyse paramétrique pour le confort thermique intérieur:

Pour un atrium fermé, l'interaction entre l'intérieur et l'environnement ambiant s'effectue principalement à travers le puits de lumière qui s'illustre dans notre cas par la couverture vitrée. La quantité du rayonnement solaire pouvant être admise dans l'atrium, qui affecte l'environnement thermique, dépend du ratio du puits de lumière, de l'indice SAR, et de l'angle d'occurrence pour des matériaux de vitrage particulier. [Rundle, M.F. Lightstone, P.Oosthuizen, P. Karava, E. Mouriki, 2011]. De ce fait notre analyse paramétrique est focalisée sur deux facteurs, à savoir : la Hauteur (indice SAR), et le ratio de la couverture vitrée d'atrium, en essayant d'évaluer leur impact sur l'environnement thermique intérieur, et de voir la possibilité d'optimiser l'atrium pour une hauteur et un ratio spécifique à travers deux scénarios. Le troisième scénario sera porté sur l'impact de la ventilation naturelle sur la qualité de l'air intérieur d'atrium.

V.6.1 Premier Scénario : Impact de la Hauteur (Indice SAR) :

Le premier scénario est porté sur la variable principale qui est la hauteur présentée par l'indice SAR, ce dernier tel qu'il a été indiqué au premier chapitre identifie la propriété géométrique verticale ; ou la profondeur d'un atrium. Il est défini comme étant la hauteur d'atrium (H) divisée par la largeur nord-sud de l'atrium (L), comme indiqué dans l'équation :

$$\text{SAR} = H/L \dots \dots \dots \text{Eq.1}$$

Selon la littérature présentée dans le premier chapitre, il existe deux types d'atrium selon l'indice SAR, qui présentent la profondeur d'atrium, à savoir :

- **Court Atrium:** SAR < 1..... H < L
- **Haut Atrium:** SAR > 2..... H > 2L

Cependant, le SAR de notre atrium est de 1,4. Ceci nous permet de le situer comme un :

- **Moyen Atrium :** 1 < SAR < 2 L < H < 2L

Sur cette base, la simulation est déroulée sur trois (03) grandeurs de (H) choisis avec des proportions (H/L) selon ces configurations cités ci-dessus et les comparer entre elles, tout en gardant la largeur d'atrium (8m), et le ratio de la couverture vitrée par rapport à la surface du plancher (100%) (Voir Fig V.14) :

- 1) **Court atrium :** H = L/2 ----- H = 8,4/2 = 4,2m ----- SAR = 4,2/8,4 = 0,5
- 2) **Moyen atrium (cas initial) :** H = 12m ----- SAR = 12/8,4 = 1,4
- 3) **Haut atrium :** H = 3L ----- H = 3*8 = 24m ----- SAR = 24/8,4 = 2,8



Figure V.14: Les trois cas des configurations modélisés par Tas, testés pour le premier scénario

[Source : Auteur, 2016]

- **Cas d'été :**

- a) **Evaluation des températures intérieures de l'air dans les espaces d'atrium:**

Les graphes des figures (V.15, V.16, V.17, V.18, et V.19) représentent une comparaison entre les températures intérieures des trois cas de configuration testés, pour chaque niveau, ainsi que les températures intérieures moyennes globales calculées dans l'atrium pour la journée d'été. Les résultats montrent en général une correspondance dans l'allure des profils des températures pour chaque niveau. Toutefois nous remarquons le suivant :

- Les températures intérieures des trois cas dans chaque niveau sont toujours au-dessous de la température extérieure de l'air, exceptées celles près la toiture qui sont plus élevées ; dont l'écart le plus important est enregistré au niveau du « Court Atrium » égalant à $2,08^{\circ}$. Cependant l'écart est de $0,86^{\circ}\text{C}$ pour le « Moyen et Haut Atrium » (voir Fig, V.16, V.17, V.18, et V.19)
- Les températures intérieures moyennes calculées dans l'atrium pour les trois cas ont tendance à se diminuer tout allant en hauteur (plus le SAR est grand)(Voir Fig V.15). D'où le « Court Atrium » marque les températures les plus élevées, avec un pic de $39,73^{\circ}\text{C}$ à **15h00**. Cependant les températures moyennes du « Moyen Atrium » (cas initial) et le « Haut Atrium » restent sensiblement les mêmes avec des pics soient respectivement: $36,66^{\circ}\text{C}$ et $36,76^{\circ}\text{C}$ à la même heure.(voir Fig V.15) . Ceci révèle l'effet de la hauteur (grand SAR) sur la réduction de la quantité d'énergie reçue, et par conséquence sur la diminution des températures de l'air intérieures.
- La différence dans les températures intérieures entre les trois cas est plus accentuée au niveau plus bas (RDC). C'est à ce niveau que la distribution de la température indique qu'avec l'augmentation de la hauteur de l'atrium, la couche du sol est moins chauffée par

la pénétration solaire d'où le problème du confort se pose pour les deux cas du « Court » et « Moyen » Atrium pour les heures d'occupation avec des pics de $36,43^{\circ}\text{C}$, et $33,59^{\circ}\text{C}$, respectivement. Excepté la tranche horaire (8h00-10h00) expliqué par la faible quantité et intensité du rayonnement solaire généré par le soleil dans ces heures. Par contre le « Haut Atrium » est située dans la plage du confort pour toutes les heures d'occupation, sauf pour la tranche horaire (14h00-16h00) qui marque le pic de chaleur ($30,95^{\circ}\text{C}$). (voir Fig V.16)

- Les valeurs des températures aux niveaux supérieurs (premier et deuxième étages) restent sensiblement les mêmes, pour le « Moyen » et « Haut Atrium » (Voir Fig V.17, et V.18), avec des pics soient respectivement : 37°C , et $36,9^{\circ}\text{C}$ à 15h00 au 2^{ème} étage. De plus, nous remarquons dans le « Haut Atrium », qu'à partir du 3^{ème} étage au 5^{ème} étage les températures sont rapprochés (Voir Annexe II), dont l'écart n'atteint pas le 1°C . ceci dévoile l'ombre portée par la hauteur à ces niveaux causé par la grande hauteur (24 m).

- Les températures de l'air les plus importantes sont enregistrées près de la toiture pour tous les cas, d'où le « Court Atrium » marque les températures les plus élevées avec un pic de $43,08^{\circ}\text{C}$. Par ailleurs, celles des « Moyen Atrium » et « Haut Atrium » restent sensiblement les mêmes avec un même pic de $41,8^{\circ}\text{C}$ à 15h00. (voir Fig V.19), ce qui indique une surchauffe critique car la température est supérieure à la zone du confort et à la température corporelle d'un être humain en bonne santé (37°C).

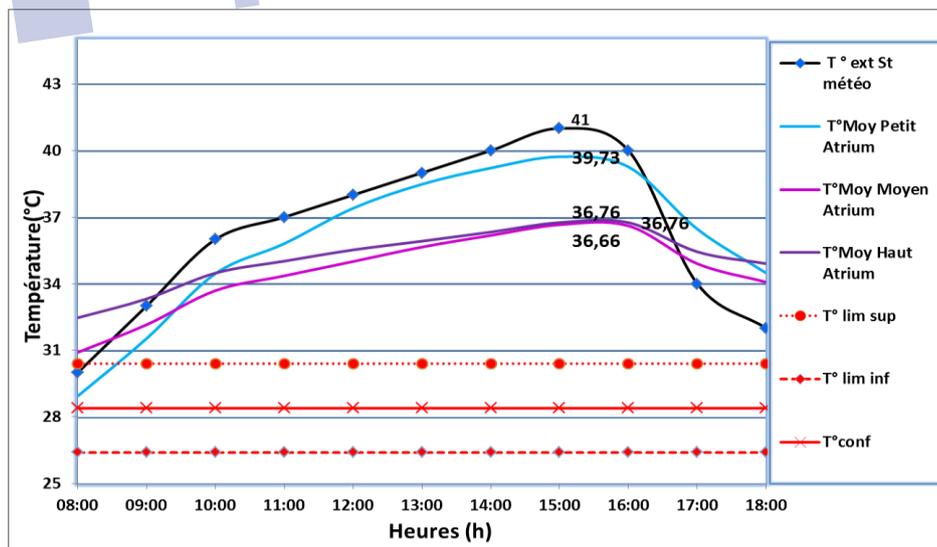


Figure V.15 : Comparaison entre les températures intérieures moyennes calculées dans les trois atriums testés

[Source : Auteur, 2016]

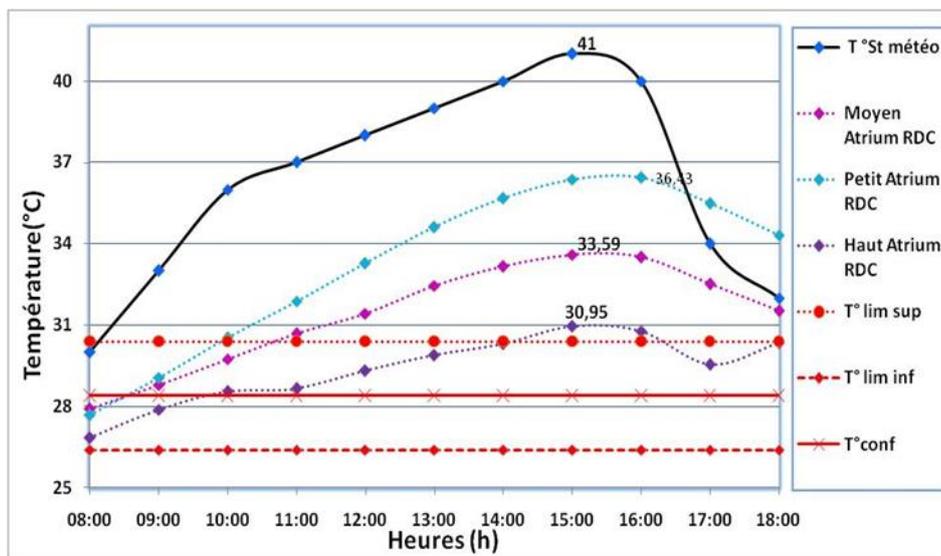


Figure V.16 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du RDC dans les trois atriums testés pour la période estivale

[Source : Auteur,2016]

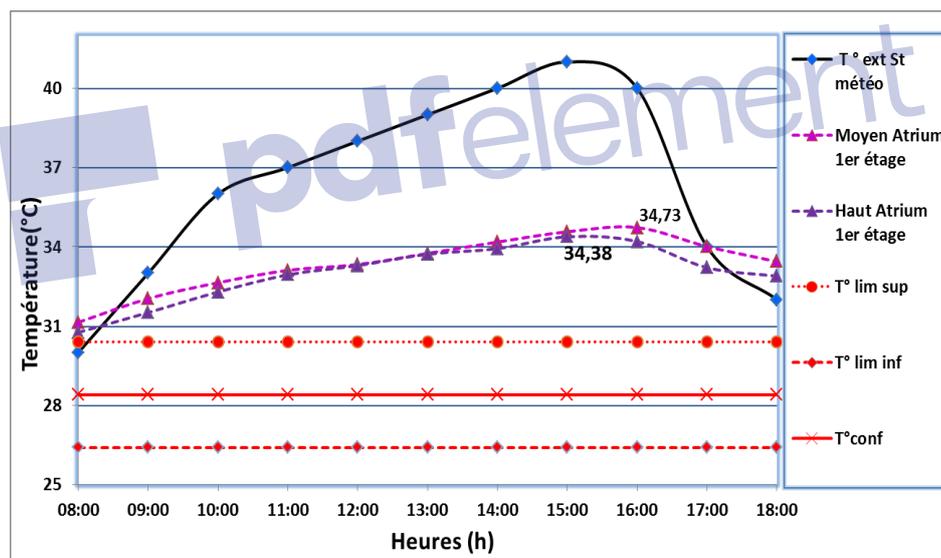


Figure V.17 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du premier étage dans le Moyen et le Haut atrium testés pour la période estivale

[Source : Auteur,2016]

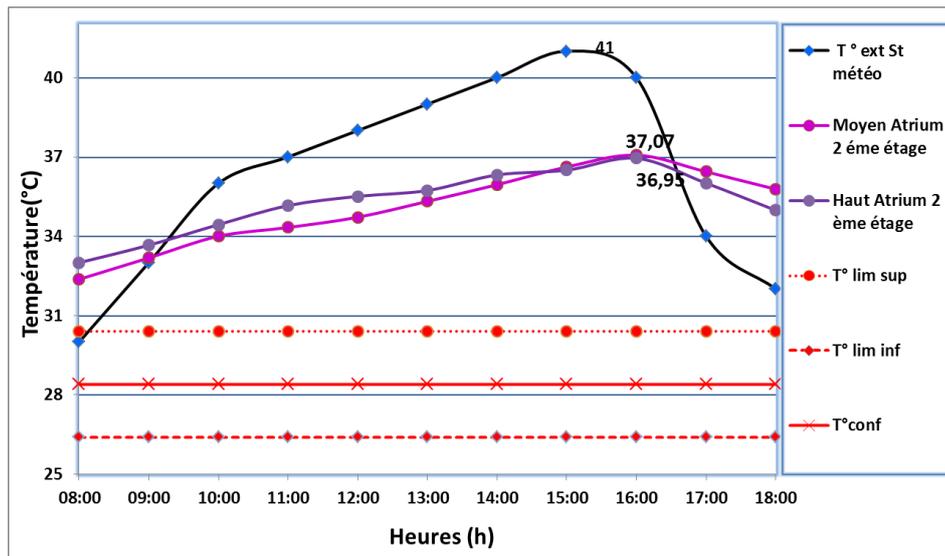


Figure V.18 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du deuxième étage dans le Moyen et Haut atrium testés pour la période estivale

[Source : Auteur,2016]

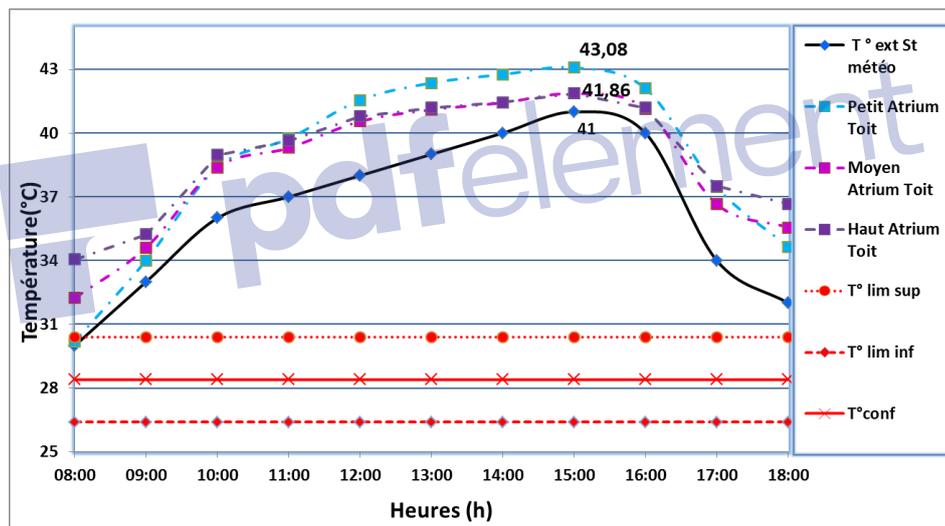


Figure V.19 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du Toit dans les trois atriums testés pour la période estivale

[Source : Auteur,2016]

b) La stratification de l'air et simulation dynamique :

Dans le but d'évaluer l'impact que peut avoir le SAR (Hauteur /largeur) sur l'environnement thermique intérieur de l'atrium, il nous paraît indispensable de comparer les gradients thermiques, renforcés avec les simulations CFD obtenus au centre des trois atriums testés, pour les heures (8h00, 15h00, et 18h00).

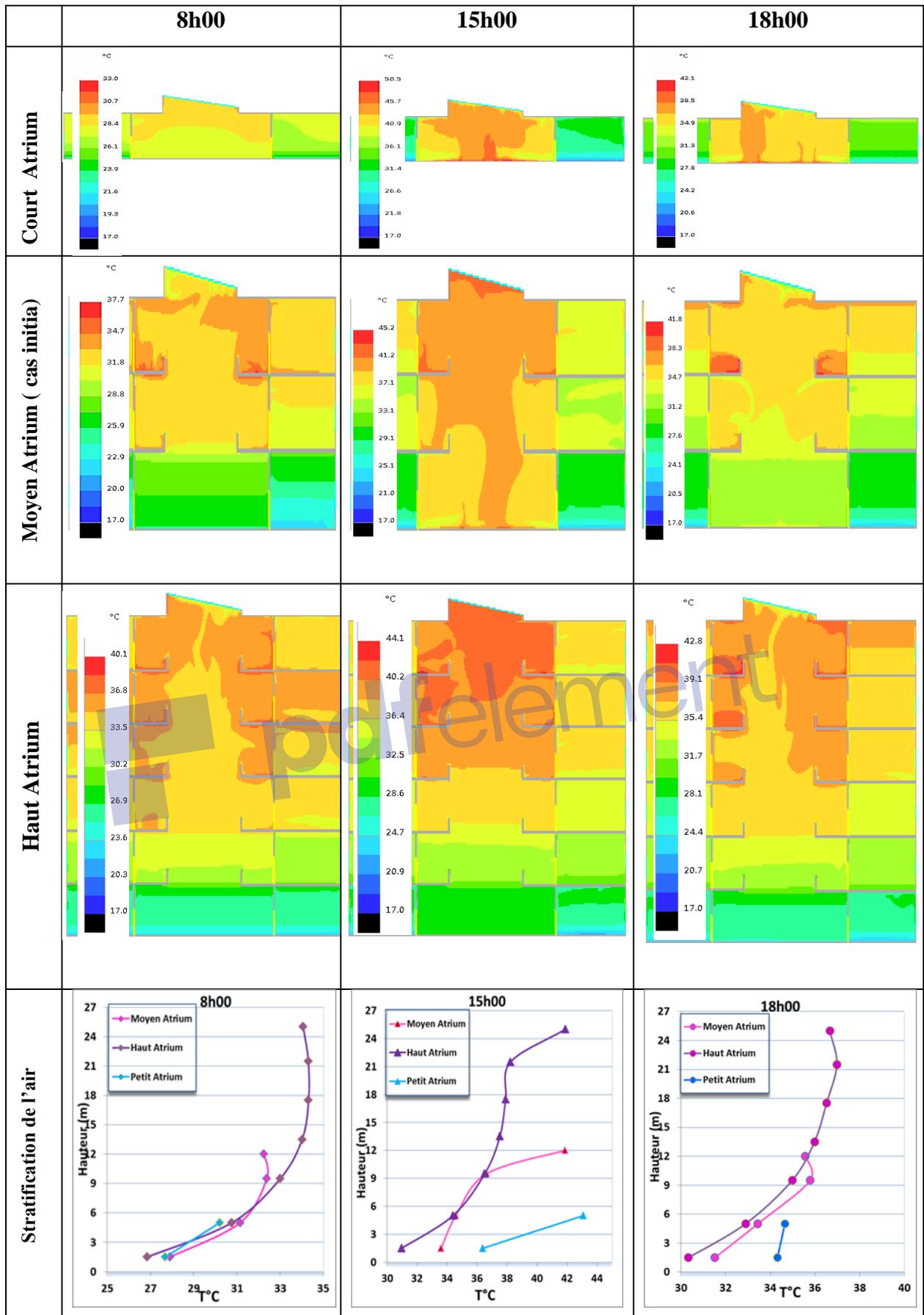


Figure V.20 : Comparaison des stratifications de l'air et les champs des températures obtenus, entre les trois cas d'atriums testés pendant les trois heures critiques de la période estivale

[Source : Auteur,2016]

Les résultats présentés dans la Figure V.20 nous font apparaître le suivant :

- A **8h00** : Les profils du « Moyen Atrium » et « Haut Atrium » ont des tendances identiques, en se rapprochant au profil type 4 de Heller, avec des écarts entre le haut et le bas qui varie sensiblement, soient respectivement: $4,3^{\circ}\text{C}$, $7,2^{\circ}\text{C}$. Ce qui signifie que les températures d'air près du sol sont élevées comparées à celles des couches supérieures. Bien que le « Court Atrium » présente une stratification linéaire, avec un profil de type 2, dont l'écart enregistre une valeur moins inférieure ($2,5^{\circ}\text{C}$). ce qui indique que les sources de chaleur sont uniformément réparties dans l'espace et ses surfaces.
- A **15h00** : Nous assistons à des stratifications plus prononcées, d'où les profils du « Moyen » et « Haut Atrium » se rapprochent au profil Type 3 de Heller, avec des écarts de $8,3^{\circ}\text{C}$ et $9,3^{\circ}\text{C}$, respectivement. Toutefois, nous constatons que pour le « Haut Atrium ». La stratification à partir du troisième niveau jusqu'au cinquième niveau se fait graduellement et linéairement avec la hauteur. Au-delà, un changement dans l'allure se fait brusquement jusqu'à la partie haute de la toiture, pour être plus accentuée, ce qui veut dire que c'est dans cette partie que la tache solaire est localisée, et à une certaine hauteur (estimé à 13.5m) les températures restent sensiblement proches et stables (Voir Annexe II). Dans le « Moyen Atrium », ce point de transition dans le comportement est marqué à partir du deuxième niveau jusqu'à la partie très haute de la toiture. Ceci est causé principalement par l'ombre engendré par la hauteur. Dans le cas du « Court Atrium » la stratification se fait linéairement (Type 2), avec un écart de $6,7^{\circ}\text{C}$. La large répartition de la tache solaire favorise une répartition uniforme de la chaleur dans le volume ainsi qu'un bon mixage de l'air favorise probablement un tel comportement
- A **18h00** : la stratification revient au même état de celle de 8h00 pour les deux configurations (Moyen et Haut), mais cette fois avec des écarts relativement faibles entre le haut et le bas (4°C , $6,3^{\circ}\text{C}$). Cependant le profil du « Court Atrium » se rapproche au type 1 de Heller qui tend à être vertical, avec un écart très faible entre le haut et le bas ($0,33^{\circ}\text{C}$), dans ce cas, la stratification est absente et la température du volume est uniforme.

Synthèse :

En combinant les résultats expliqués ci-dessus, ceux des distributions des températures en chaque niveau » des trois cas de configurations avec ceux de la stratification thermique, nous confirmons que la température est distribuée d'une manière inégale dans les deux directions horizontales et verticale, ce qui peut être observé beaucoup plus dans la simulation CFD). Ainsi, nous déduisons que le rayonnement solaire direct contribue à la surchauffe des trois configurations d'atrium en affectant le confort thermique intérieur. Néanmoins, Le degré de la surchauffe qui est dû au rayonnement solaire pénétrant, varie en fonction des différents SAR de l'atrium, de tel façon, que :

Un « Court atrium » (H=4m) avec un petit SAR(0,5) est surchauffé plus substantiellement qu'un atrium plus élevé (12m, et 24m) avec un SAR plus grand (1,4 et 2,8). C'est par le fait que le « Court Atrium » reçoit plus du rayonnement solaire, et la tache solaire est plus étendue dans le volume. Tant que l'atrium profond « Haut atrium » avec un grand SAR reçoit moins de rayonnement solaire qui n'atteint pas relativement les niveaux inférieurs et le sol. Cependant, un rayonnement solaire intense au sommet de l'atrium entraînerait une stratification plus élevée et, par conséquent, des flux convectifs plus élevés utiles pour le refroidissement passif [SwinalSamant,2011], ce qui lui présente un avantage en réduisant les températures intérieurs, et par conséquent, assurant le confort thermique intérieur au RDC. Bien qu'il présente un problème de surchauffe dans sa partie supérieure. Pour le « Moyen Atrium », il se comporte pareillement avec le « Haut Atrium » pour tous les niveaux, particulièrement, les niveaux supérieurs, alors qu'au RDC le problème du confort reste encore non atteint.

- **Cas d'Hiver :**

- a) **Evaluation des températures intérieures de l'air dans les espaces d'atrium:**

La comparaison entre les profils des températures intérieures obtenues par la simulation pour la période hivernale présentée dans les graphes des figures (V.21, V.22, V. 23, V. 24, V.25), montrent les observations suivantes :

- Toutes les températures de l'air enregistrées à l'intérieur des différents niveaux sont en-dessus de la température extérieure. Ce qui révèle l'aspect bioclimatique de l'atrium en hiver, en captant l'énergie solaire.

- La température moyenne dans le « Court Atrium » de 4 m de haut est plus élevée que celle dans l'atrium « Moyen » de 12 m de haut, et celui du « Haut » de 24 m de haut. En enregistrant des températures max égales à, respectivement : **20,68°C, 16,91°C, 15,81°C**. Ceci dévoile la grande quantité du rayonnement reçu au niveau du « Court Atrium » avec un petit SAR, ce qui réchauffe l'espace (Voir Fig V.21).

- La différence entre les profils des températures des trois cas des configurations est marquée beaucoup plus au niveau du RDC (Voir Fig V.22), d'où le « Court Atrium » marque des températures très élevées par rapport aux deux autres cas, en atteignant **19,95°C à 16h00**. Ceci, lui permet de rester dans la zone du confort du **11h00 à 18h00**, en se rapprochant même à la limite supérieure du **15h00 à 18h00**. Cependant les températures des atriums « Moyen » et le « Haut » enregistrent des valeurs beaucoup moins, dont les pics sont marqués après une heure (**17h00**) par rapport au « Court Atrium » soient, respectivement: **15,95°C, 14,85°C**, ce qui indique que le rayonnement solaire pénètre beaucoup moins profondément au niveau inférieur tout en augmentant la Hauteur (Grand et moyen SAR). Cette situation a permis de rester en dehors de la zone du confort pour le « Haut Atrium », et de se rapprocher à la limite inférieure du confort pour le « Moyen atrium » uniquement pour la tranche horaire [**14h00-18h00**].

- Aux niveaux supérieurs, les températures à partir du premier au deuxième étage, restent sensiblement les mêmes, comme pour le « Haut Atrium », comme pour le « Moyen atrium » (Voir Fig V.23 et V.24). De plus le « Haut Atrium » marque des températures plus élevées que le « Moyen Atrium », avec des pics enregistrés au deuxième étage, soient respectivement : **14,8°C, 16,36°C à 17h00** (Voir Fig V.24). Cette situation explique l'effet de la hauteur sur les températures intérieures par effet d'ombrage, plus la hauteur est importante plus le pourcentage de la surface ombragée est grand.

- Les températures dans la partie très haute près de la toiture sont les plus élevées (Voir Fig V.25), où le « Court Atrium » est le plus chauffé avec un pic de **21,75°C à 15h00**, ce qui dépasse la zone du confort pour la tranche horaire [**12h00-17h00**]. Par ailleurs les

températures dans les atriums du « Haut et Moyen » sont moins et les mêmes avec un pic de $20,2^{\circ}\text{C}$ à 15h00 , ce qui dévie de la zone du confort pour la tranche horaire $[13\text{h00}-16\text{h00}]$. Cette situation est causée principalement par l'angle d'exposition plus bas d'hiver, et la profondeur de l'atrium, dont le grand et moyen SAR diminuent la pénétration du rayonnement solaire et par la suite la réduction des températures intérieures.

- Du point de vue du confort, les niveaux du « Moyen Atrium » et « Haut Atrium » sont à peine chauffés en comparaison avec ceux du « Court Atrium », notamment aux niveaux plus inférieurs. Ceci dévoile l'existence d'ombre portée par la hauteur (grand SAR), notamment avec l'angle d'exposition du soleil plus bas d'hiver.

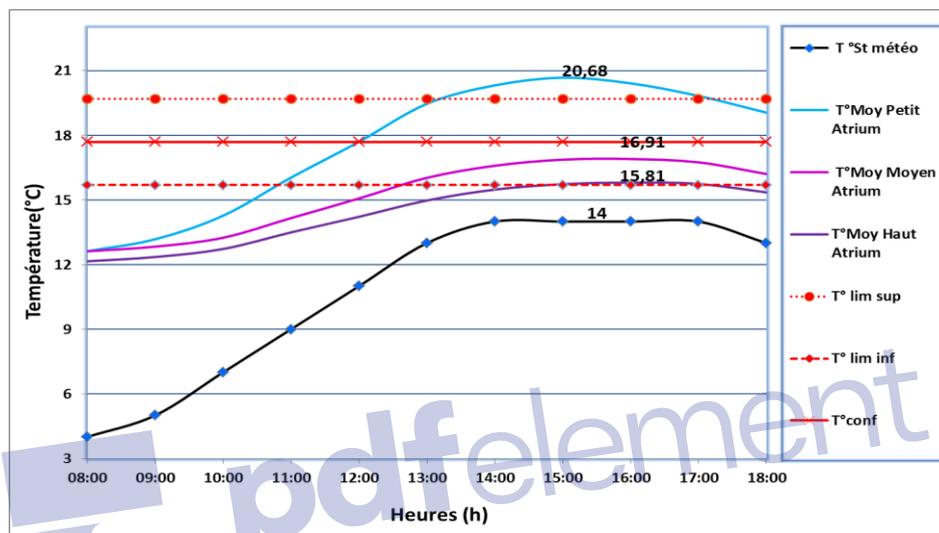


Figure V.21 : Comparaison entre les températures intérieures moyennes calculées dans les trois atriums testés pour la période hivernale

[Source : Auteur,2016]

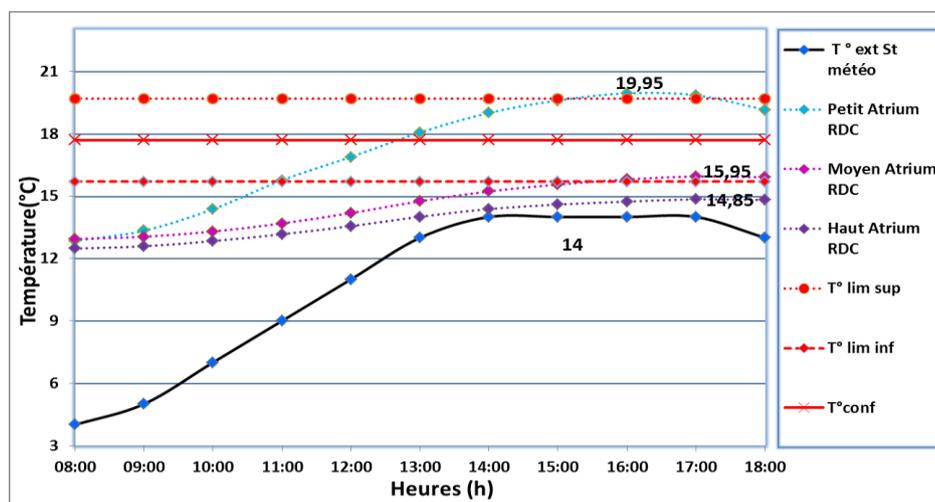


Figure V.22 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du RDC dans les trois atriums testés pour la période hivernale

[Source : Auteur, 2016]

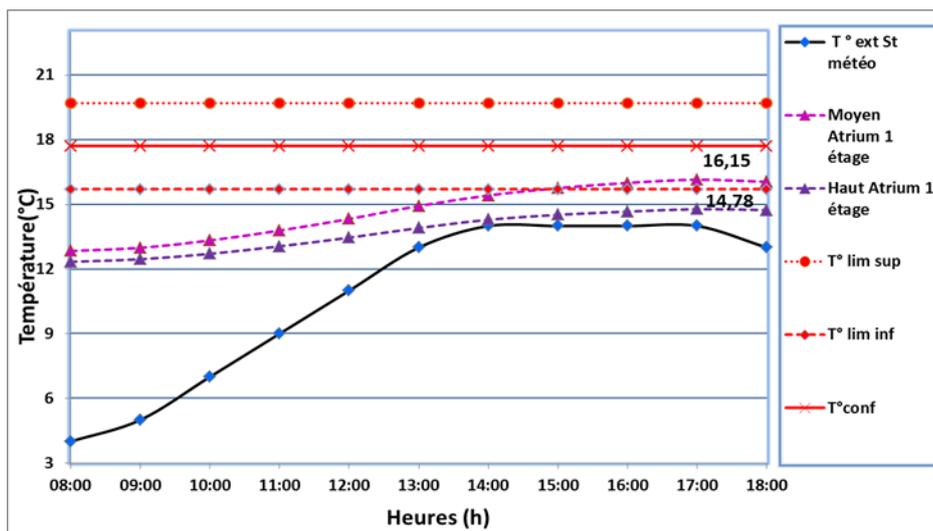


Figure V.23 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du premier étage Dans le Moyen et le Haut atrium testés pour la période hivernale

[Source : Auteur, 2016]

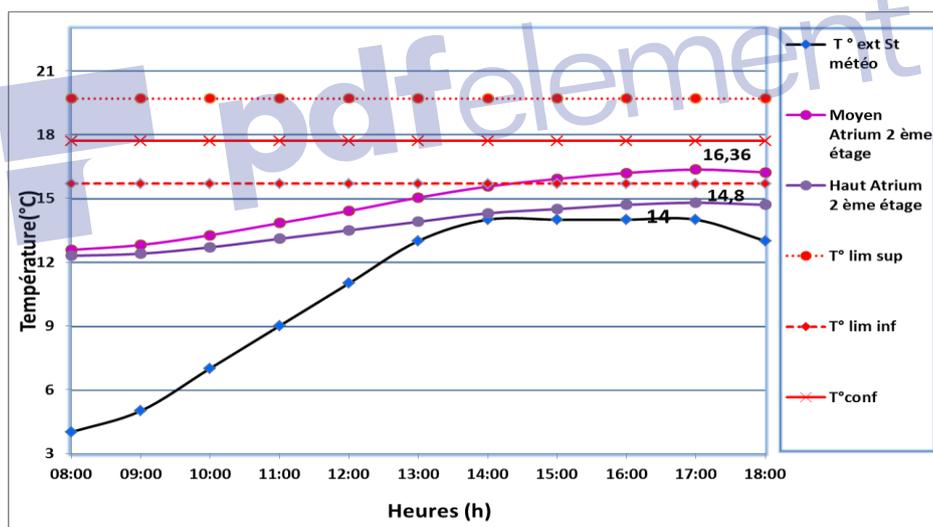


Figure V.24 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du Deuxième étage Dans le Moyen et le Haut atrium testés pour la période hivernale

[Source : Auteur, 2016]

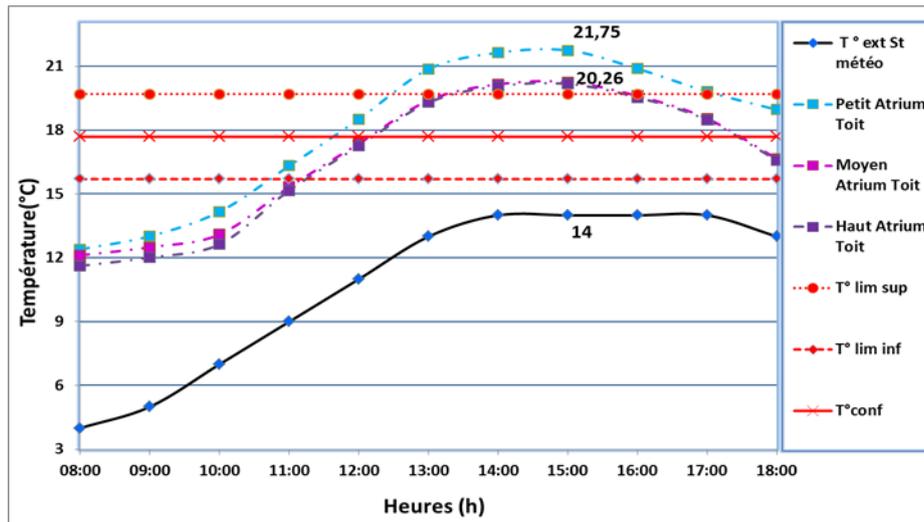


Figure V.25 : Comparaison entre les températures intérieures au niveau du Toit
Dans les trois cas d'atrium testés pour la période hivernale

[Source : Auteur, 2016]

b) Stratification de l'air et simulation dynamique :

La comparaison des variations des températures de l'air par rapport à la hauteur, ainsi que les simulations CFD, entre les différentes configurations, montrées dans la Figure V.26 pour la période d'hiver, nous montre en générale que les gradients verticaux durant les heures simulées sont manifestement moins importants que ceux d'été.

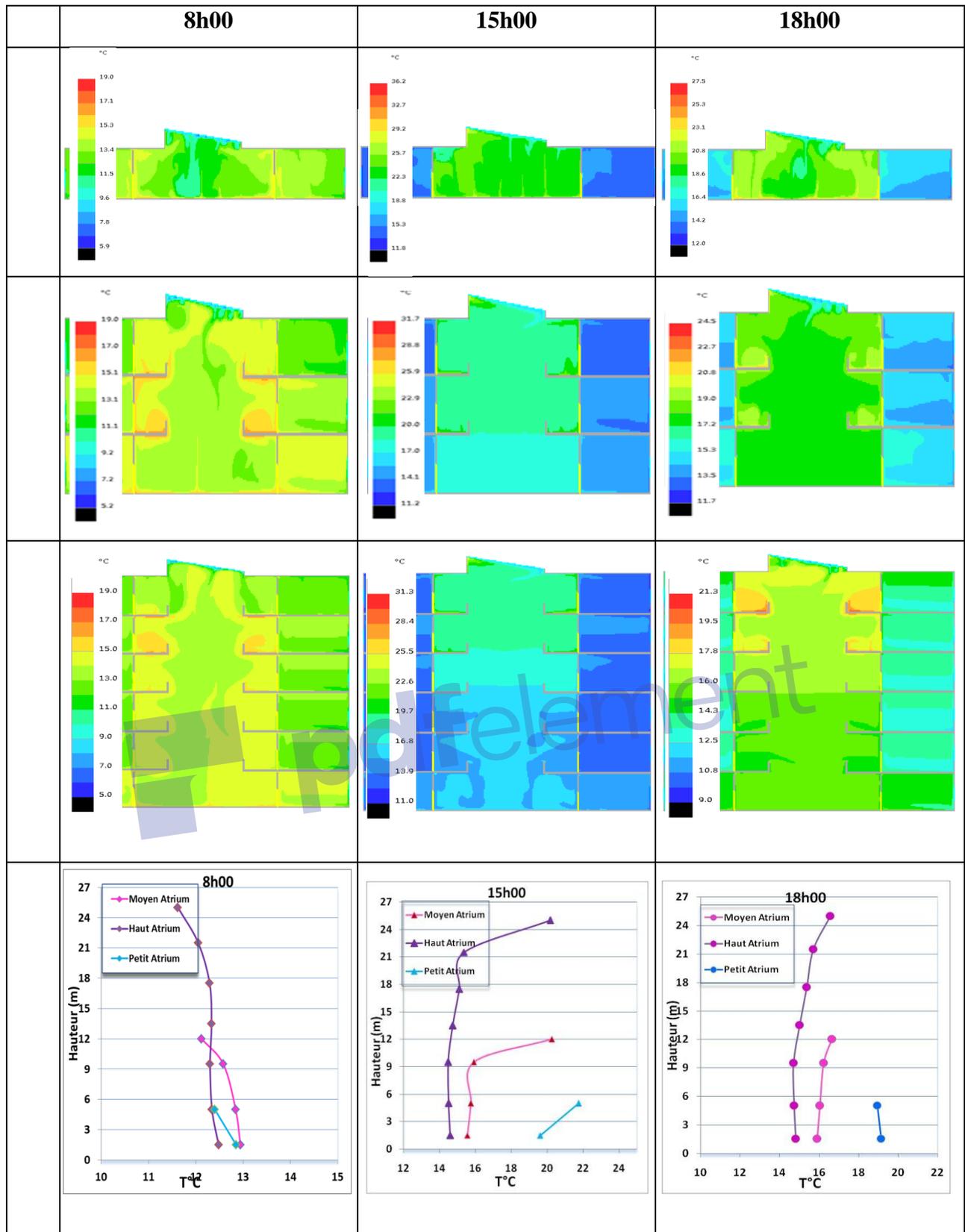


Figure V.26 : Comparaison des stratifications de l'air et les champs des températures obtenus, entre les trois cas d'atriums testés pendant les trois heures critiques de la période hivernale

[Source : Auteur, 2016]

Les résultats montrés dans la figure V.26 nous permettent de constater le suivant :

- **A 8h00** : Les trois cas des configurations présentent une stratification plus au moins instable, du fait que les températures d'air n'augmentent pas, mais diminuent légèrement en gagnant de la hauteur. Mais avec des écarts très faibles qui n'atteignent pas le 1°C . Ceci traduit bien les effets des vitrages zénithaux froids qui ont tendance à être des parois à fortes déperditions thermiques. Ce qui signifie que dans l'absence du rayonnement solaire, la hauteur n'aura aucun impact sur la variation des températures.
- **A 15h00**: Les gradients thermiques aux niveaux des deux atriums « Moyen » et « Haut » montrent une stratification du type 3 de Heller, où les sources de chaleur sont distribuées uniquement dans la partie supérieure, avec des écarts soient, respectivement: $4,7^{\circ}\text{C}$, et $5,5^{\circ}\text{C}$. De plus nous remarquons que la stratification à partir du RDC au dernier étage se fait graduellement. La raison avancée est que le soleil étant plus bas en hiver, les flux solaires restent concentrés en haut près de la toiture et n'atteignent pas les niveaux inférieurs de l'atrium [Kato et al.1995]. Bien que le gradient du « Court Atrium » présente une augmentation linéaire d'un profil de type 2 de Heller, dont l'écart est de $2,14^{\circ}\text{C}$. L'atrium étant plus large et court, (Petit SAR), la tâche d'impact solaire est plus répartie dans l'espace, ce qui génère des sources de chaleurs uniformément réparties dans l'espace et ses surfaces.
- **A 18h00** : Le « Moyen Atrium » et le « Haut Atrium » répondent à des tendances identiques, en se rapprochant légèrement au profil concave (profil 3), mais avec des écarts relativement faibles, soient respectivement : $0,74^{\circ}\text{C}$, et $1,76^{\circ}\text{C}$. De plus, les températures augmentent très légèrement tout allant en hauteur. Cela coïncide avec la période où l'atrium reçoit un minimum des gains solaires. Cependant le profil de « Court Atrium » se rapproche au type 1, avec un écart entre le haut et le bas très minime ($0,2^{\circ}\text{C}$), ce qui indique que la stratification est absente et la température du volume est uniforme.

Synthèse :

L'analyse de l'évolution des températures de l'air intérieures par rapport à la hauteur, entre les trois cas des configurations simulés, nous montrent ainsi, que le confort thermique intérieur et le degré de réchauffement qui est dû au rayonnement solaire pénétrant, varient en fonction des différents SAR de l'atrium :

Avec un angle d'exposition au soleil plus bas, la température dans le « Court Atrium » (4 m de haut) avec un petit SAR (0,5), est plus supérieure en moyenne et distribuée plus uniformément par rapport aux deux autres configurations, car il reçoit plus de rayonnement

solaire au RDC, ce qui réchauffe l'espace. De plus, seule le « Court Atrium », et les parties supérieures de l'atrium « Moyen » sont réchauffés par le rayonnement solaire. De ce fait La chaleur reçue par le « Court Atrium » est avantageuse pour le réchauffement en hiver en atteignant le confort thermique intérieur. Cependant les parties très hautes de la toiture présentent même une surchauffe en dépassant la zone du confort pour les heures de pic.

Le « Haut Atrium » (24m de haut) avec un grand SAR est à peine chauffé au RDC et légèrement chauffé dans tous les niveaux supérieurs, ce qui ne présente aucun confort excepté sa partie supérieur près de la toiture. Cette situation dévoile l'impact de la hauteur sur le confort thermique intérieur, qui n' est pas avantageuse pour l' hiver. Par ailleurs le « Moyen Atrium » est à peine chauffé au RDC, par contre sens niveaux supérieurs sont plus au moins chauffés en atteignant le confort intérieur pour seulement quelques heures d'après-midi.

En combinant les résultats de la période d'hiver et celle d' été, nous pouvons résumer les résultats comme suit :

- ✓ **En été** : Le problème de surchauffe est présent au niveau du « Court Atrium » avec un petit SAR, et dans les parties hautes à proximité de la toiture du « Moyen » et « Haut » atrium. Et plus l'atrium est profond (Grand SAR), moins la surchauffe est sévère. D'où le confort thermique intérieur est atteint uniquement au niveau du RDC du « Haut Atrium », et pour les premières heures de la matinée au RDC du « Moyen atrium » .
- ✓ **En Hiver** : Avec un angle d'exposition au soleil plus bas, Seules le « Court Atrium », et les derniers niveaux du « Moyen Atrium » sont réchauffés en atteignant relativement le confort thermique intérieur. Cependant la partie très haute de la toiture du « Court atrium » présente une surchauffe en déviant même de la zone du confort pour les heures de pic de chaleur. De plus, plus l'atrium est profond plus le réchauffement est moins et vice-versa, d'où le « Haut Atrium » présente les températures les plus basses qui restent en dehors de la zone du confort d'hiver.

A cet effet, avoir :

- ✓ Un Petit **SAR** est avantageux pour le réchauffement en hiver, et très désagréable en été.
- ✓ Un Moyen **SAR** est relativement avantageux en hiver, et désagréable en été.
- ✓ Un Grand **SAR** est relativement avantageux en été, et très désagréable en hiver.

V.6.2 Deuxième Scénario : Impact du ratio (Surface couverture/surface atrium) :

Deux variables, à savoir le ratio de la couverture vitrée, et la hauteur de l'atrium (SAR) sont incluses dans la simulation. De ce fait, trois ratios (100% (cas initial), 75%, 50%) sont effectués pour chacune des trois configurations d'atrium, testés au premier scénario, afin de voir, au premier lieu ; l'impact du changement du ratio sur les températures intérieures de chaque configuration, et en deuxième lieu de chercher s'il y a lieu une combinaison entre le ratio et le SAR, dans le but d'optimiser un ratio pour une chaque hauteur, ou pour une hauteur spécifique .

- **Cas d'été :**

- 1) **Court Atrium:**

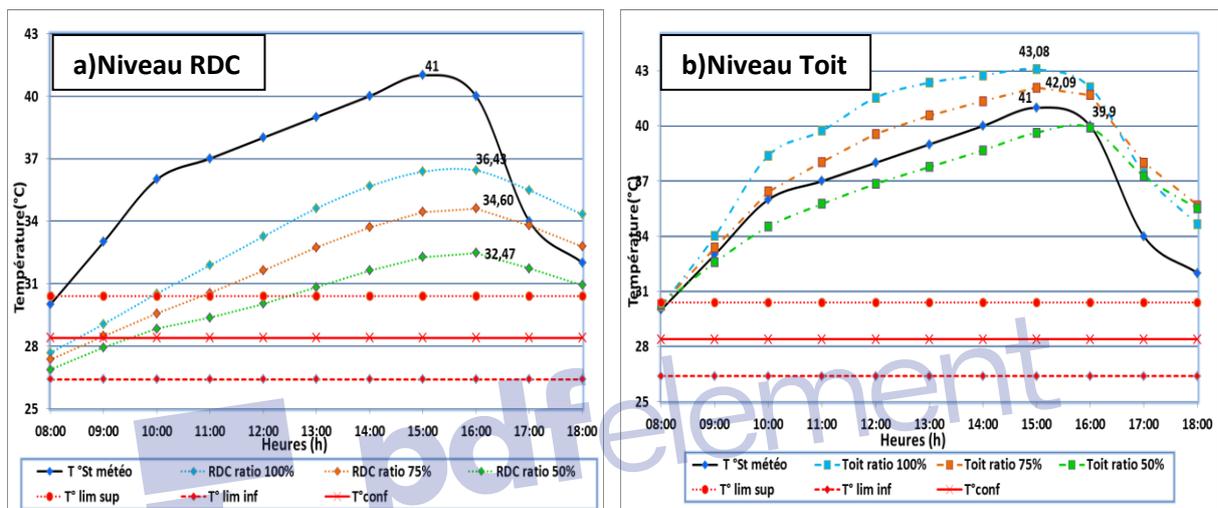


Figure V.27(a),(b): comparaison d'évolution des températures intérieures de l'air dans le Cour Atrium entre les trois ratios testés pour la période estivale

[Source : Auteur, 2016]

La figure V.27(a),(b), montre les résultats des températures intérieures obtenus aux différents niveaux, par la simulation de la première configuration qui correspond au « **Court Atrium** » selon les trois ratios testés (100%, 75%, 50%) pendant la journée d'été. Il nous avère que la réduction du ratio a un effet significatif sur l'atténuation des températures intérieures, de telle façon que les valeurs des températures du ratio (50%) sont les plus proches à la zone du confort au niveau du RDC (Voir Fig V.27,a), et moins de la température extérieure pour toutes les heures d'occupation, comme nous signalons une différence maximale de 4,1°C à 15h00, entre le ratio initial (100%) et le ratio 50%. Pour la partie haute près de la toiture, les températures du ratio 50% restent toujours en dehors de la zone du confort, avec une différence maximale de 4,6°C avec le ratio 100%. Néanmoins, ces températures se sont diminuées pour être moins de la température extérieure du 8h 00 à 16h00. Par ailleurs les températures du ratio de 75% restent encore loin de

la zone du confort, avec une différence maximale de l'ordre de $1,9^{\circ}\text{C}$ à 12h00 par rapport au plus grand ratio (100%) (Voir Fig V.27,b)).

2) Moyen Atrium (cas initial):

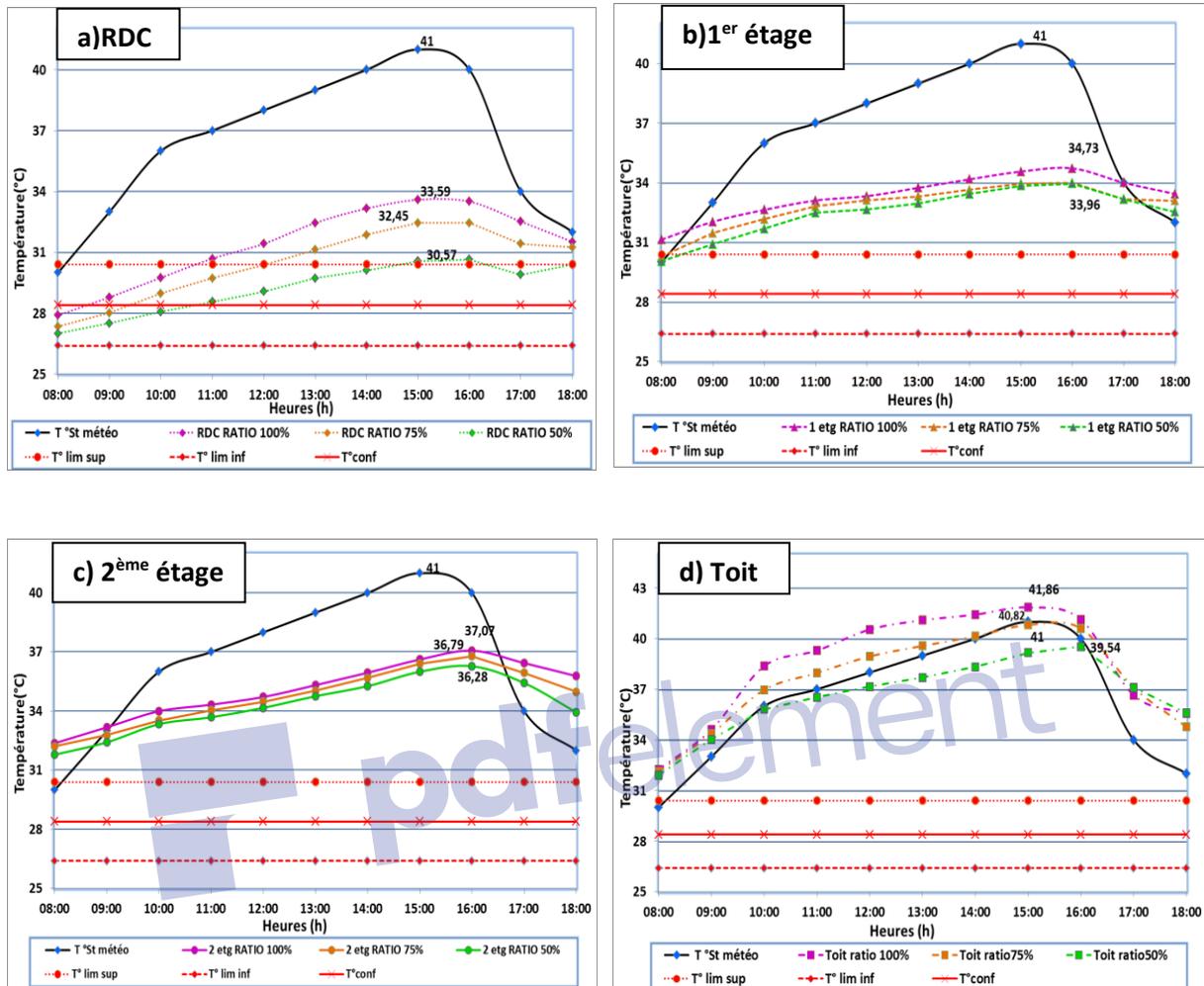


Figure V.28a),b),c),d): Comparaison d'évolution des températures intérieures de l'air entre les trois ratios testés dans le cas du Moyen Atrium dans les différents niveaux pour la période estivale

[Source : Auteur, 2016]

La figure V.28(a),b),c),d) montre les résultats des températures intérieures des différents niveaux, simulées des trois ratios (100%,75%,50%) pour la deuxième configuration qui appartient au cas du « Moyen Atrium » (cas initial). Nous constatons en premier lieu que la réduction du ratio a réduit relativement les températures intérieures. Cette diminution est plus perceptible au niveau du RDC (Fig V.28,a)) et à la partie très haute à proximité de la toiture (Fig V.28,d)), par contre le premier et le deuxième étage (Fig V.28 b),c)) la réduction des températures reste insignifiante, car à ces niveaux, les températures restent encore influencées par la chaleur reçue au niveau plus haut de la toiture. Toutefois le ratio de 50% reste le seule

ratio qui a pu atteindre la zone du confort thermique uniquement pour le RDC, tout en se rapprochant à la limite supérieure notamment pour les heures d'après-midi, dont la différence maximale de température atteint le 3°C à 13h00 par rapport au ratio de 100%(ratio initial). Cependant les températures de la partie très haute de la toiture ont été diminuées par rapport au ratio initial (100%) avec une différence maximale de 3,4°C à 12h00, et avec des valeurs moins de la température extérieure de 10h00 à 16h00(Fig V.28,d)).

3) Le Haut Atrium:

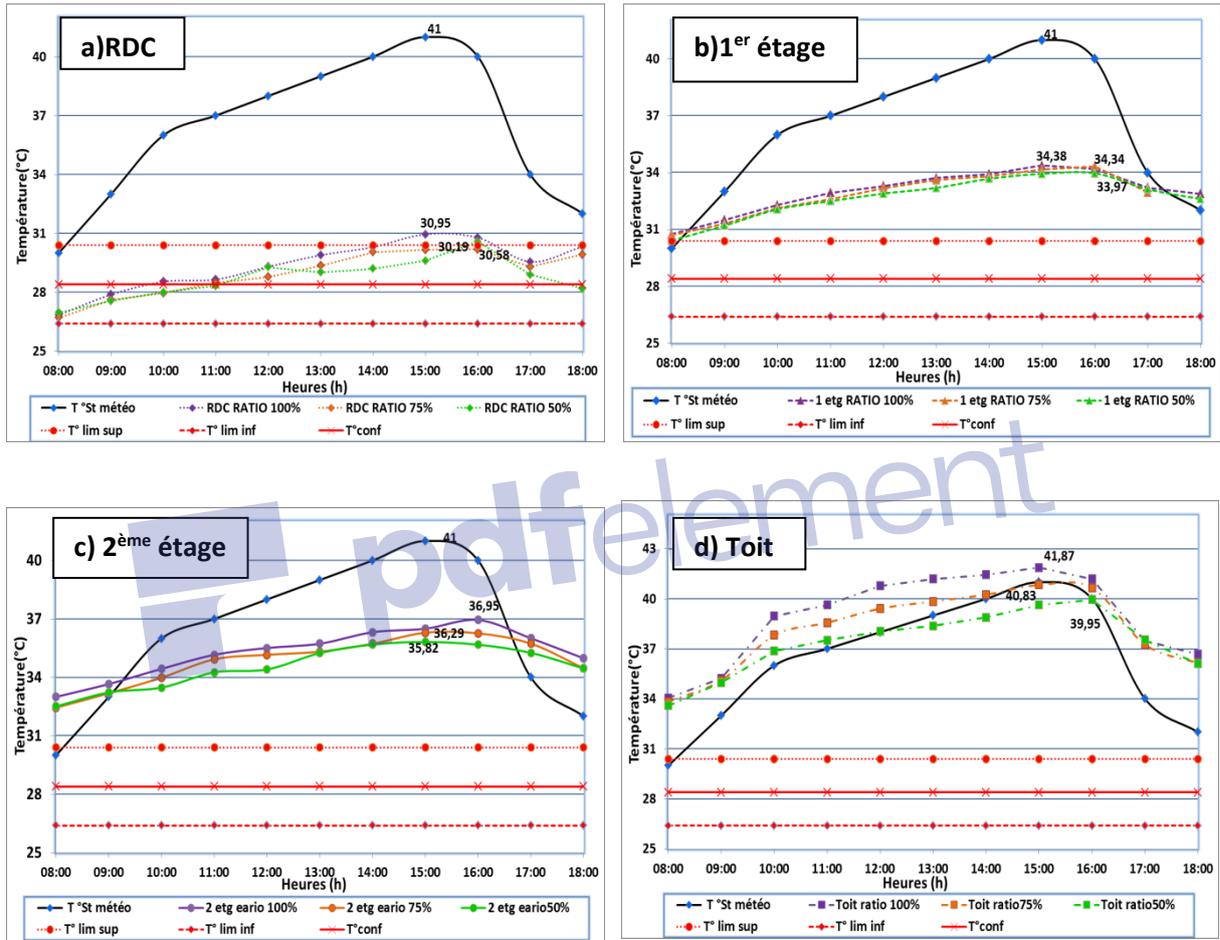


Figure V.29 a),b),c),d): Comparaison d'évolution des températures intérieures de l'air entre les trois ratios testés dans le cas du Haut Atrium dans les différents niveaux pour la période estivale

[Source : Auteur, 2016]

D'après les résultats montrés dans la figure V.29(a),(b),(c),(d) qui présentent les températures des différents niveaux obtenus par la simulation de la troisième configuration « Haut Atrium » selon les trois ratios testés (100%,75% ,50%), nous constatons dans l'ensemble qu'il n'y a pas une grande différence entre les trois ratios (100%, 75%, 50%). De plus, la réduction du ratio pour ce cas est moins agissante sur la diminution des températures intérieures, en comparaison

avec ceux des deux premiers cas « Courts » et « Moyen Atrium ». La raison réside dans le fait que l'atrium étant plus haut, il devient auto-ombragé en recevant moins de quantité d'énergie solaire, donc la réduction du ratio n'aura pas d'effet significatif pour un grand SAR. Toutefois, la réduction du ratio est plus influente au niveau très haut de la toiture, étant donné que ce dernier reçoit plus de quantité d'énergie solaire, où l'écart maximale entre le ratio initial (100%) et celui du 50% est de $2,8^{\circ}\text{C}$ à 13h00, et de $1,37^{\circ}\text{C}$ à midi, entre le ratio 100% et celui du 75%.

Du point de vue du confort, les températures des trois ratios sont situées dans la plage du confort uniquement pour le RDC. Seulement que, les deux ratios 75% et 50% ont pu atténuer les températures du ratio initial (100%), dont les différences maximales sont dans l'ordre de $0,8^{\circ}\text{C}$ et $1,34^{\circ}\text{C}$ à 15h00. respectivement, tout en restant dans la plage du confort pour toutes les heures d'occupation, contrairement au ratio 100% qui a dévié de la zone pendant l'heure de pic de chaleur avec une valeur de $30,95^{\circ}\text{C}$. Pour les deux derniers niveaux les températures restent sensiblement les mêmes pour les trois ratios, tout en restant toujours en dehors de la zone du confort, en enregistrant par exemple au deuxième étage une différence maximale de $1,27^{\circ}\text{C}$ entre le ratio 50% et celui de 100% à 16h00.

- Cas d'hiver:

- 1) Court Atrium :

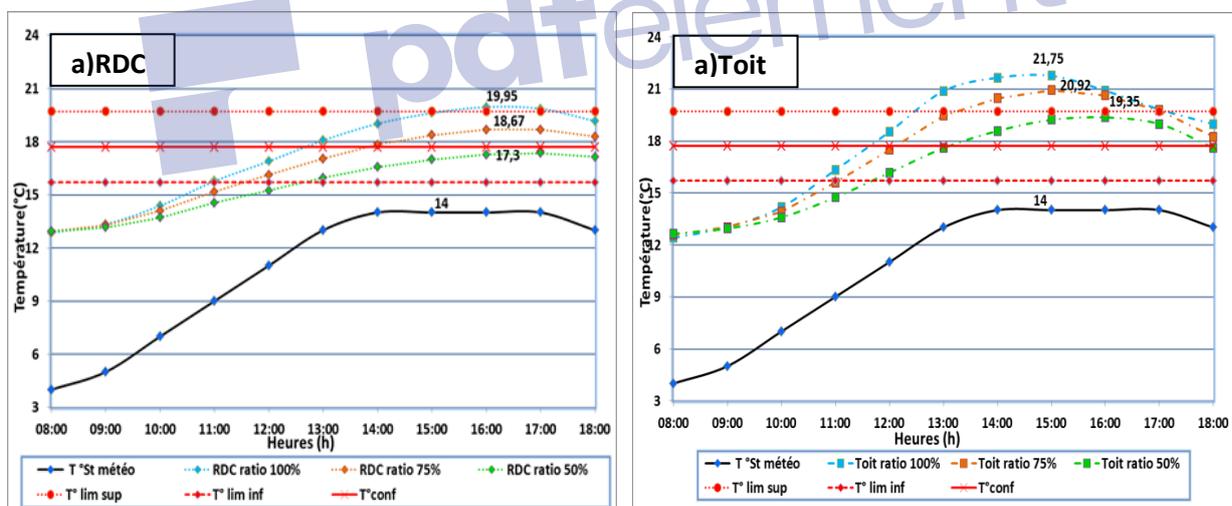


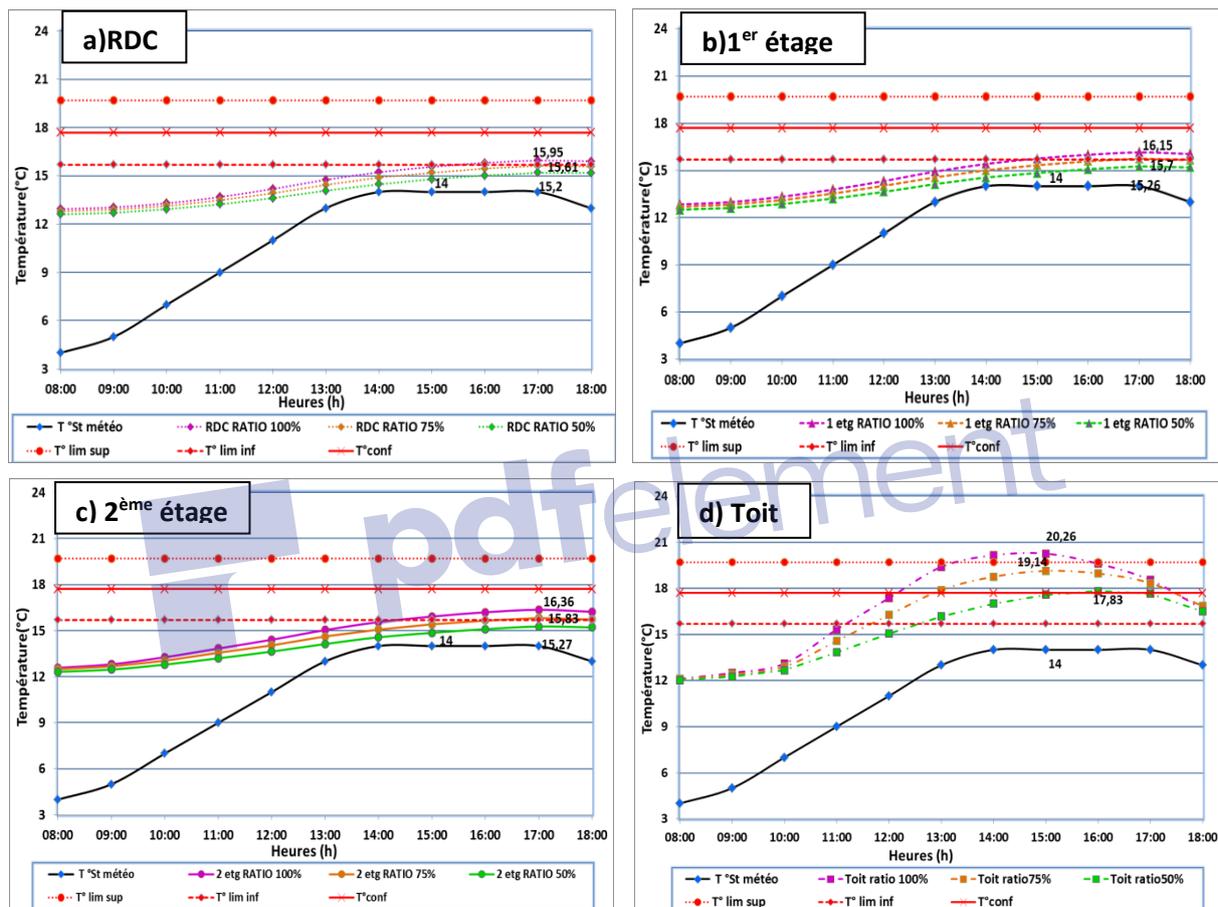
Figure V.30(a),(b): Comparaison d'évolution des températures intérieures de l'air entre les trois ratios testés dans le cas du Court Atrium pour la période hivernale

[Source : Auteur, 2016]

D'après les résultats affichés dans la figure V.30, (a),(b) qui montre les températures obtenues pendant la journée d'hiver par simulation du cas « Court Atrium » pour chaque niveau, selon les trois ratios testés (100%, 75%, 50%). Il ressort que la réduction du ratio de la couverture vitrée de l'atrium a un impact significatif sur les diminutions des températures intérieures. Toutefois, il

s'est avéré que cette diminution est peu perceptible comparé au cas d'été. Ceci réside dans la quantité du rayonnement solaire moins reçue en hiver qu'en été, vue l'angle solaire plus bas du soleil. De plus, les trois ratios sont situés dans la plage du confort au niveau du RDC (FigV.30,(a)) dont l'écart maximal entre le ratio initial (100%) et celui du 50% est dans l'ordre de 2,68°C à 16h00, et de 1,3°C à la même heure entre les ratios 100% et 75%. Cependant seulement le ratio 50% qui a pu réduire les températures jusqu'à l'atteinte de la zone du confort au niveau très haut de la toiture avec un écart maximale de 3,3°C à 13h00(Fig V.30, (b)).

2) Moyen Atrium :



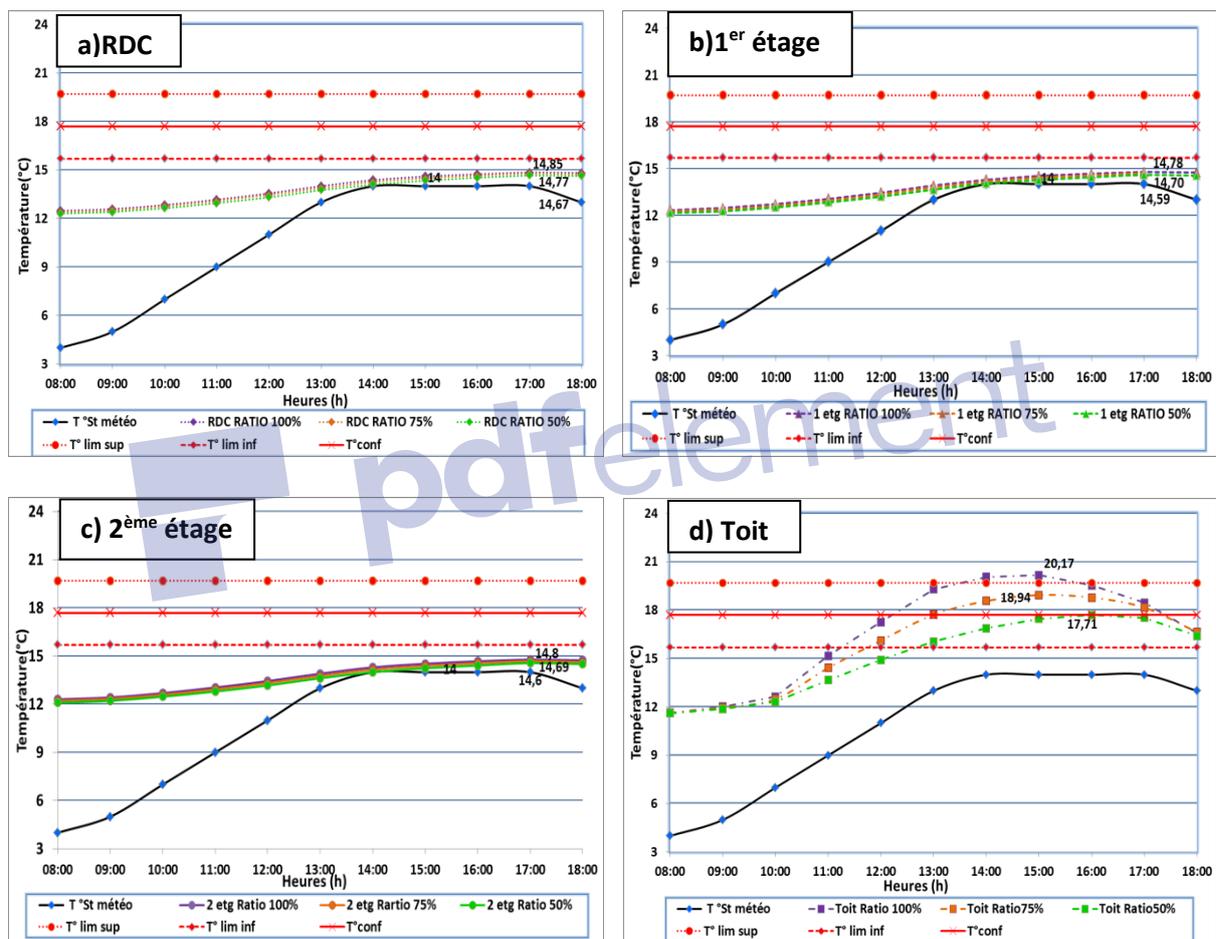
FigureV.31 a),b),c),d): Comparaison d'évolution des températures intérieures de l'air entre les trois ratios testés dans le cas du Moyen Atrium dans les différents niveaux pour la période hivernale

[Source : Auteur, 2016]

La lecture des résultats des graphes présentés dans la Figure(V.31 (a),(b),(c),(d))obtenus par simulation du cas du « Moyen Atrium », nous montre clairement l'effet peu perceptible de la variation du ratio sur les températures intérieures, en comparaison avec celles du« Court Atrium » montrée ci-haut, et celle du« Moyen Atrium »pour la journée d'été, où nous remarquons des écarts négligeables entre le plus grand ratio (100%) et le petit ratio (50%) qui

n'atteint pas le 1°C, notamment aux RDC et premier étage (FigV.31, (a),(b)). Cependant elle dévie quand même de la plage du confort. Au-delà, les variations sont plus perceptibles dans les niveaux plus supérieurs, particulièrement, la partie très haute à proximité de la toiture, dont l'écart max entre le plus grand ratio (100%) et le plus petit (50%) atteint le 3,2°C à 13h00 (FigV.31,(d)). La raison avancée se trouve dans la faible quantité du rayonnement solaire reçue à l'intérieur et particulièrement aux niveaux inférieurs, qui reste influée par la hauteur de l'atrium (SAR) et le soleil plus bas d'hiver. Toutefois la réduction du ratio a influé sur la durée des heures situant dans le confort. De ce fait, le ratio initial (100%) reste le meilleur ratio pour ce cas.

3) Haut Atrium:



FigureV.32 a),b),c),d): Comparaison d'évolution des températures intérieures de l'air entre les trois ratios testés dans le cas du Haut Atrium dans les différents niveaux pour la période hivernale

[Source : Auteur, 2016]

Les résultats donnés à travers les différents graphes présentés dans la Figure V.32 a),b),c),d)), montrent les températures intérieures obtenus par simulation de la troisième configuration « Haut Atrium » selon les trois ratios testés (100%, 75%, 50%). A la lecture des différents graphes, il ressort qu'à l'exception de la partie très haute près de la toiture, la

différence des températures est très insignifiante entre les trois ratios 100%, 75%, 50% dans les différents niveaux, dont la moyenne d'écart maximal n'atteint même pas le 0,5°C entre le grand ratio (100%) et le petit (50%). Ceci laisse les valeurs des températures situées toujours en dehors de la zone du confort, en avoisinant la limite inférieure que pour les trois dernières heures. Par ailleurs, la partie très haute de la toiture signale un écart maximal de 3,25°C entre le ratio 100% et celui de 50% à 13h00, et de 1,6°C à la même heure entre le ratio 100% et 75% (Fig V.32, d)). A ce niveau les trois ratios sont dans le confort, seulement que le ratio 100% avoisine la limite supérieure. Cependant la réduction du ratio a influé sur la durée des heures situant dans le confort. Cette situation révèle l'effet très faible de la modification des ratios sur les variations des températures intérieures pour un « Haut Atrium » avec un grand SAR, causé principalement par la faible quantité du rayonnement solaire reçue à l'intérieur, à cause de la hauteur de l'atrium (grand SAR) et l'angle d'exposition du soleil plus bas en hiver.

V.6.3 Troisième Scénario : Impact de la ventilation sur le confort respiratoire

Pour évaluer la performance de la qualité de l'air intérieur, la concentration de CO₂ a été utilisée comme indicateur de pollution de l'air à l'intérieur de notre espace. Après nous allons essayer de tester le potentiel d'amélioration de la qualité de l'air intérieur offerte pour la ventilation naturelle et mécanique et ceci pour la période estivale.

- **Cas initial :**

Un seuil 1200 ppm, est identifié correspond au rang d'une qualité moyenne intérieur définis par la norme prEN 13779 (2003) (voir tableau II.4 au chapitre II). De ce fait nous avons fixé une concentration de CO₂ égale à 400 ppm à l'air extérieure et 800 ppm à l'intérieur de l'espace de notre atrium. Les résultats sont montrés dans la figure V.33.

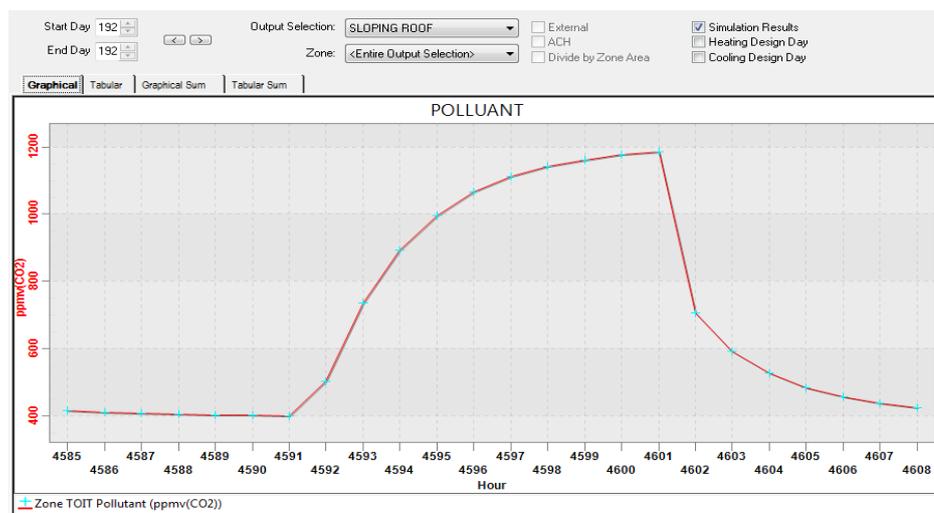


Figure V.33 Concentration de niveau de polluant (Co₂) à l'intérieur d'espace d'atrium

[Source : Auteur]

- **Cas avec ventilation naturelle par tirage thermique :**

Afin de tester l'impact que peut avoir la ventilation naturelle par tirage thermique, sur la qualité d'air intérieur, et si l'augmentation des ouvertures peut améliorer le confort respiratoire en diminuant le niveau de concentration de CO_2 en période estivale. TAS nous a offert la possibilité de créer des ouvertures au niveau de la toiture pour le cas initial de notre atrium. Pour ce faire nous avons modélisé des orifices du côté Nord de la toiture. Celles-ci sont modélisées comme étant des entrées/sorties libres.

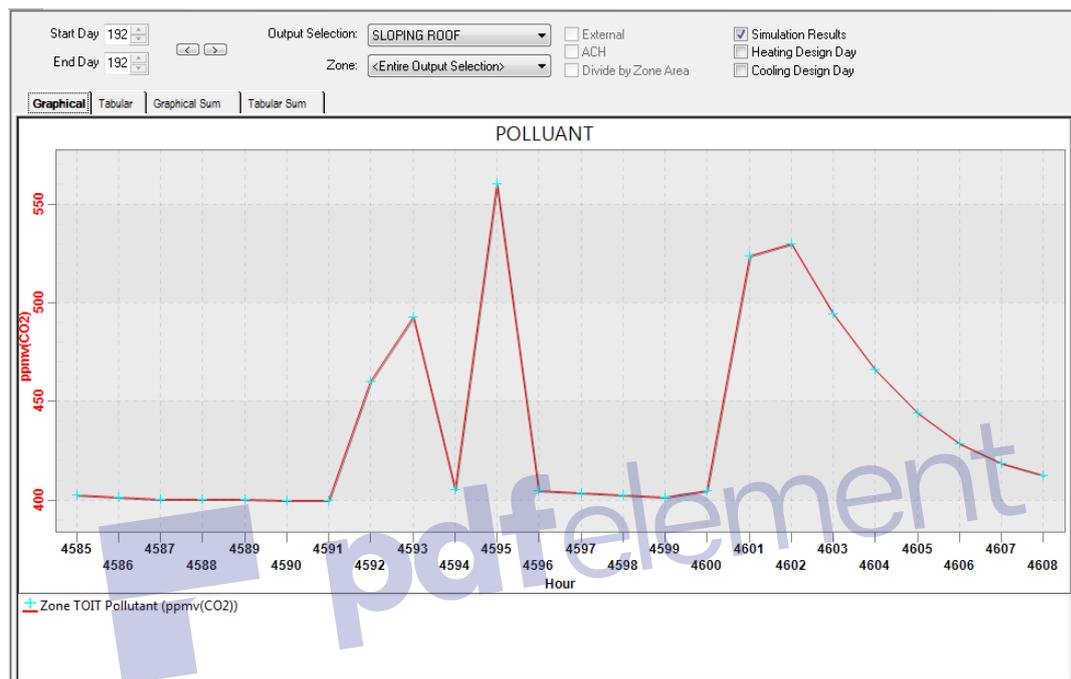


Figure V.34 Concentration de niveau de polluant (Co2) à l'intérieur d'espace d'atrium ventilé par tirage thermique

[Source : Auteur]

Les résultats montrés dans la figure V.34 montrent qu'avec la procuration d'une ventilation naturelle par tirage thermique, par la création des ouvertures au niveau de la toiture, le niveau de concentration de CO_2 a été diminué considérablement de 1200 ppm à 550 ppm en maximum, en atteignant le seuil d'une haute qualité d'air intérieur. Néanmoins, cette diminution reste instable et changeante d'un moment à un autre, par exemple un niveau de concentration de CO_2 égale à 550 ppm à midi, tandis qu'un minimum de CO_2 atteignant le 400 ppm est marqué à 16h 00. Ceci est fortement influé par les conditions climatiques extérieures telles que la vitesse de l'air, pression de l'air, ainsi que et les échanges convectifs à l'intérieur d'espace d'atrium.

- **Cas avec ventilation forcée (mécanique) :**

Afin de voir l'impact que peut avoir la ventilation naturelle forcé (mécanique) sur la performance de la qualité de l'air intérieur et si elle peut maintenir une qualité d'air intérieur plus

au moins stable, nous avons testé un débit d'air minimum recommandé par le standard ASHREA pour les lieux d'enseignement et d'éducation ($25\text{m}^3/\text{h}/\text{personne}$).

Les résultats montrés dans la figure V.35 montrent une nette diminution de niveau de concentration de Co_2 par rapport au cas d'une ventilation naturelle par tirage thermique. Cette diminution reste stable en dépassant pas les 415 ppm, ce qui exprime une haute qualité d'air à l'intérieur d'atrium selon la norme prEN 13779 (2003). De ce fait la production d'un mouvement d'air à un rythme continu et constant peut assurer qu'aucun contaminant de l'air ne s'accumule.

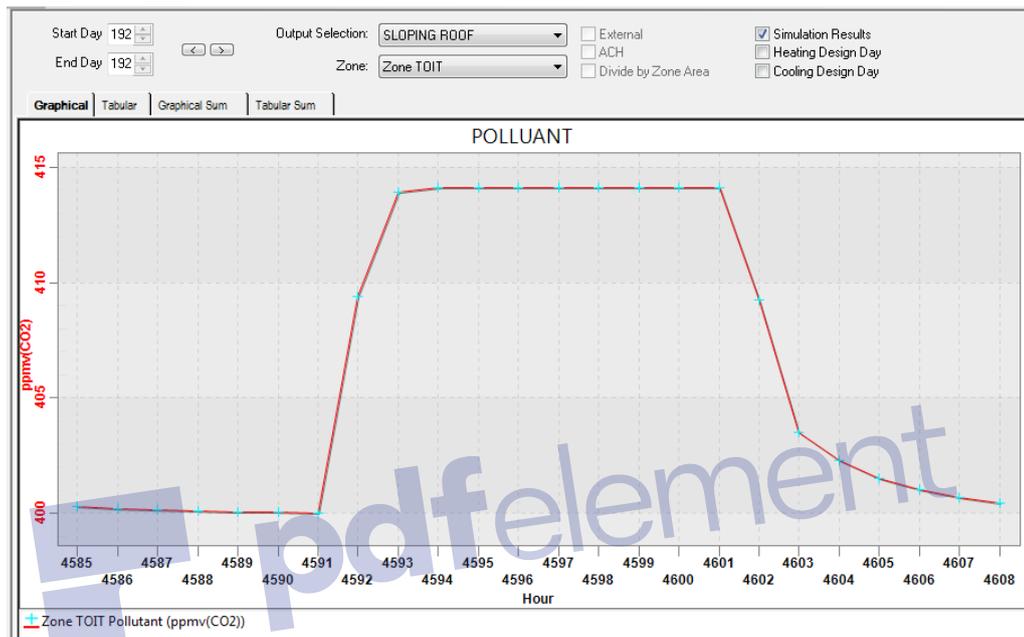


Figure V.35 Concentration de niveau de polluant (Co_2) à l'intérieur d'espace d'atrium ventilé mécaniquement

[Source : Auteur]

Conclusion:

Ce chapitre englobe une série de simulations numériques menées dans le cadre d'analyse du comportement thermique d'atrium dans les milieux à climat chaud et aride vis-à-vis du confort thermique intérieur. Ces simulations nous ont permis de valider les résultats simulés par ceux mesurés, de tester quelques paramètres géométriques relatifs à l'objet de notre recherche, à savoir : la hauteur (ou la profondeur) qui a été exprimée par l'indice SAR, et le ratio de la couverture vitrée, et en dernier, d'évaluer le potentiel d'amélioration de la qualité de l'air intérieur offerte par la ventilation. De ce fait, des différents modèles de simulation ont été menés et examinés à l'aide du logiciel de simulation Edsl Tas.

Les résultats ont montrés que la géométrie est un facteur important à considérer du point de vue de la conception et du confort thermique dans les constructions à atrium dans les milieux chauds et arides, elle influe sur les températures de l'air intérieur et sur la stratification obtenue au centre d'atrium, et par conséquent sur le confort thermique intérieur des usagers. De telle façon que la diminution ou l'augmentation du ratio de la couverture vitrée reste influencés par la hauteur (profondeur) d'atrium (SAR) et de la saison (été ou hiver). Nous résumons ces conclusions comme suit :

- L'état du confort reste atteint uniquement au RDC pour toutes les configurations avec tous les ratios de la couverture.
- Les réductions des ratios sont plus influentes sur l'abaissement des températures en été qu'en hiver. Le degré d'intensité du rayonnement solaire, et l'angle du soleil expliquent cette différence.
- La variation du ratio de la couverture vitrée est plus agissante sur les températures, pour un Petit SAR « Court Atrium ». d'où la diminution du ratio ne lui permet pas d'atteindre la situation du confort en été. Cependant il reste dans le confort en hiver pour tous les ratios.
- Pour un moyen SAR « Moyen Atrium », la diminution du ratio de la couverture, fait de lui un atrium confortable en été et inconfortable en hiver. Cependant le plus grand ratio (100%) est favorable pour le confort en hiver.
- Pour un grand SAR « Grand Atrium », la configuration reste la meilleure pour le confort en été, et la plus inconfortable en hiver. Bien que le changement du ratio reste négligeable, pour les deux périodes, notamment en hiver.
- la ventilation naturelle démontre clairement son efficacité pour maintenir de niveaux acceptables de CO₂. Cependant une ventilation mécanique ont permet d'obtenir une qualité d'air stable et plus performante.

Nous pouvons conclure que la meilleure configuration d'atrium pour un climat chaud et aride du point de vue d'atténuation des températures est bien le « Moyen Atrium » avec un moyen SAR tout en favorisant de diminuer le ratio de couverture uniquement pour la saison estivale, comme nous recommandons que le ratio de la surface de l'espace atrium par rapport à la surface totale du bâtiment soit réduit afin d'éviter la surchauffe en été. De côté de qualité d'air, le premier aspect à noter est la performance optimale de systèmes de ventilation mécanique qui ont permis d'obtenir une haute qualité d'air bien stabilisante.



Conclusion Générale et Perspectives



Conclusion générale :

Notre recherche prend appui sur l'atrium comme espace utilisé couramment dans les constructions modernes dans la ville de Laghouat qui est caractérisée par un climat chaud et aride. Il s'agit de chercher à savoir quel impact pouvait avoir l'espace de l'atrium sur l'environnement thermique intérieur et par conséquent sur le confort thermique intérieur des occupants, et de voir son effet sur les espaces adjacents, et ceci pour les deux périodes estivale et hivernale.

Pour cela, deux volets sont pris en compte tout au long de notre recherche, l'un est relatif à la partie théorique (tout ce qui est recherche bibliographique qui touche l'atrium comme forme et espace architecturale), l'autre est relatif à la partie pratique (repose sur deux outils de recherche ; « l'investigation » à travers les mesures in-situ, et « la simulation » par un programme informatique).

Le principal objectif de cette recherche consiste à étudier l'impact de la configuration géométrique de l'atrium sur l'environnement thermique intérieur pour un climat chaud et aride, afin de contribuer à l'amélioration de la conception des atriums dans les milieux chauds et secs tout en évitant les surchauffes et les stratifications thermiques incontrôlables, et aussi de réconcilier l'inconfort de l'été et le confort de l'hiver. Dans cette optique, une approche expérimentale s'est avérée nécessaire, en nécessitant une investigation à travers des mesures in-situ dans l'espace de l'atrium et ses espaces adjacents, afin d'évaluer le comportement thermique interne de ce type d'espace sous nos latitudes pour les deux périodes, estivale, et hivernale, où il a été conclu que, pour un climat chaud et aride, la configuration de l'atrium influence le confort thermique intérieur. Cependant, cette influence dépend de certains paramètres physiques de l'espace de l'atrium en lui-même, son ratio, sa configuration... etc. Comme il a été révélé que l'espace de l'atrium en question ne peut influencer les espaces adjacents, et ceci dans l'absence totale d'une connexion entre ces derniers et l'atrium via une ouverture, dépendant aussi aux performances du mur adjacent, et à la paroi exposée aux conditions extérieures.

Il ressort clairement d'après les résultats obtenus par l'investigation in-situ, la nécessité d'effectuer une série de simulations numériques par le logiciel Edsl Tas, afin de valider les résultats et d'examiner l'impact de la variation de la configuration sur le confort thermique intérieur. De ce fait, La tendance générale a prouvé qu'une grande stratification thermique s'est produite au niveau très supérieur de l'atrium, en comparaison avec celle obtenue par les mesures in-situ, notamment en été, ce qui a causé une grande surchauffe. Cette différence est due à la simulation de la zone très haute que TAS 3D a pu la modéliser, et laquelle nous n'avons pas pu mesurer les températures à son niveau lors des mesures in-situ.

En outre, la série de simulations menée sur l'effet des paramètres géométriques relatifs à l'objet de notre recherche, deux scénarios ont été effectués à savoir : L'effet de la hauteur (ou la profondeur) qui a été exprimée par l'indice SAR, et l'effet du ratio de la couverture vitrée. De ce fait l'atrium en question a été modélisé avec différentes tailles de section SAR et des variations des ratios de la couverture vitrée avec des simulations dynamiques de fluides (CFD) pour la distribution de la température intérieure.

Les résultats du premier scénario ont permis de conclure que :

- ✓ Un Petit **SAR** est avantageux pour le réchauffement en hiver, et très désagréable en été.
- ✓ Un **SAR** moyen est relativement avantageux en hiver, et désagréable en été.
- ✓ Un Grand **SAR** est relativement avantageux en été, et très désagréable en hiver.

De même, le deuxième scénario nous a permis de chercher le ratio adéquat pour chaque section de SAR pour un meilleur confort intérieur des occupants. Cependant il a été démontré que l'état du confort est resté atteint uniquement au niveau plus bas pour toutes les configurations (SAR) avec tous les ratios de la couverture. En outre, les résultats ont montré ainsi, que la diminution ou l'augmentation du ratio de la couverture vitrée reste influencé par la hauteur (profondeur) d'atrium (SAR) et de la saison (été ou hiver).

En croisant les résultats obtenus des différentes sections de SAR et ceux des ratios testés, nous avons conclu que :

- Les réductions des ratios sont plus influentes sur l'abaissement des températures en été qu'en hiver.
- La variation du ratio de la couverture vitrée est plus agissante sur les températures, pour un petit SAR « Court Atrium », d'où la diminution du ratio ne lui permet pas d'atteindre la situation du confort en été. Cependant il reste dans le confort en hiver pour tous les ratios.
- Pour un SAR moyen « Moyen Atrium », la diminution du ratio de la couverture, fait que l'atrium soit confortable en été et inconfortable en hiver. Cependant le plus grand ratio (100%) est favorable pour le confort en hiver.
- Pour un grand SAR « Grand Atrium », la configuration reste la meilleure pour le confort en été, et la plus inconfortable en hiver. Bien que le changement du ratio reste négligeable, pour les deux périodes, notamment en hiver.

En termes d'évaluation du potentiel d'amélioration de la qualité de l'air intérieur offerte par la ventilation naturelle, une autre série de simulations a démontré clairement l'efficacité de la ventilation naturelle pour maintenir de niveaux acceptables de CO₂. Cependant, une ventilation mécanique permet d'obtenir une qualité d'air stable et plus performante.

Les résultats de cette recherche contribuent à une meilleure compréhension de la géométrie de l'atrium et de son impact sur les températures intérieures de l'air et sur le confort thermique intérieur des usagers. Cette compréhension peut être utilisée pour mieux estimer l'efficacité de certains paramètres géométriques de l'atrium, à savoir : la hauteur (profondeur d'atrium) et le ratio de la couverture vitrée. Celles-ci peuvent aider à trouver une configuration géométrique adéquate de l'atrium à utiliser pour un climat chaud et aride, en évitant la situation de l'inconfort, notamment en été. Le moyen Atrium qui a été exprimé par un moyen SAR, a été choisi comme la configuration la plus équitable pour un milieu à climat chaud et aride, tout en préconisant, une couverture amovible afin de diminuer le ratio de couverture uniquement pour la saison estivale, ainsi de prévoir que le ratio de la surface de l'espace atrium par rapport à la surface totale du bâtiment soit réduit afin d'éviter la surchauffe en été. De côté de qualité d'air, le premier aspect à noter est la performance optimale des systèmes de ventilation mécaniques qui ont permis d'obtenir une haute qualité d'air bien stabilisante.

Perspectives :

Par ailleurs, on ne saurait limiter le problème de conception des espaces atriums à la seule question du confort thermique ou aux deux seules variables étudiées. En effet, les résultats de cette étude peuvent être considérés comme étant au stade initial de la conception d'un atrium plus au moins confortable pour les régions à climat chaud et aride. Les futures recherches doivent inclure d'autres paramètres à savoir notamment:

- Impact de l'inclinaison de la toiture vitrée.
- Impact des protections solaires de la couverture vitrée.
- Impact des diverses formes et géométries d'atriums.
- Impact du type de vitrage.
- Impact du ratio de l'atrium.

De même l'intégration de l'ensemble des aspects suivants semble intéressante :

- Consommation énergétique
- Eclairage naturel
- Identité architecturale
- Qualité acoustique
- Qualité de l'air
- Stratégies des contrôles de la climatisation et de chauffage
- Sécurité des biens et des personnes et protection contre incendie.

Bibliographies



Bibliographies

Adrien Dhalluin (2013) « Etude de stratégies de ventilation pour améliorer la qualité environnementale intérieure et le confort des occupants en milieu scolaire. Thèse de doctorat Université de La Rochelle.

Ahmed Qadir Ahmed.(2013) : “Energy Performance of Courtyard and Atrium in Different Climates”, MSc Renewable Energy and Architecture, Research Methodologies K14RMS.

ASHRAE STANDARD ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2010 (Supersedes ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007) Includes ANSI/ASHRAE addenda listed in Appendix J Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality

Axel Cabl .(2014) « Etude expérimentale et numérique du traitement des ambiances par le vecteur air dans les bâtiments à très basse consommation d'énergie .thèse de doctorat L'Université de La Rochelle Spécialité Génie Civil

AYOOB .A.N, IZARD J.L.(1994) « Study of Comfort in Atrium Design ».Renewable Energy, Vol.5, Part II, pp. 1002-1005.

Ayşe Miray Gemi, (2006)]« An estimation approach for thermal performance of atrium buildings through a case study » these de doctorat, Architecture Faculty, Istanbul technical university institute of science and technology.

A.M. Jones, Software Package for the Thermal Analysis of Building. TAS EDSL Ltd: 13/14 Cofferidge Close, Stony Stratford, Milton Keynes, MK11 1BY, United Kingdom

Barry Smith Jr(2008) . “Inner ‘Green’ Space .A Study of Conservationism in Atrium Spaces Using Academic Buildings in Southern Ontario A thesis presented to the University of Waterloo in the fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Architecture Waterloo, Ontario, Canada.

Claude MH Demers et André Potvin (2005) . « l'atrium :espace bioclimatique viable en milieu nordique, MArch, PhD MOAQ, GRAP (groupe de recherche en ambiances physiques) école d'architecture université laval

CROZET P. (1981) « *Etude du Comportement Thermique des Galeries Couvertes par Simulation en Régime Varié avec prise en compte de la stratification de l'air* ». Thèse de Docteur-Ingénieur de l'Université de Paris VII, Paris.

Esteban Emilio MontenegroIturra, (2011) « Impact de la configuration des bâtiments scolaires sur leur performance lumineuse, thermique et énergétique » Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de Maîtrise en Sciences de l'Architecture

E.Gratia, André De Herde « Thermique des immeubles de bureaux, 2006 »

John Ashley Mabb (2001) « Modification Of Atrium Design To Improve Thermal And Daylighting Performance”, Centre for Medical, Health an Environmental Physics, School of Physical and Chemical Sciences, Queensland University of Technology in partial fulfillment of the requirements of the degree of Masters of Applied Science

JONES J.R. and LUTHER M.B. (1993) « *A Summary of Analytical Methods And Case Study Monitoring Of Atria* ».ASHRAE Transactions, pp. 1070-1081.

Juluria Y. (1980) « *Natural Convection Heat and Mass Transfer* ».Pergamon Press, England.Chapitre 6: Natural Convection in Stratified Media, p173-208.

K. Kaci et al, (2012) « l’Influence de l’angle d’incidence modifié sur les performances thermiques des capteurs solaires plans » , Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER 16340, Algiers, Algeria.

Kittitach Pichatwatana, and Fan Wang,(2013)“Modelling Analysis of Thermal Performance of Internal Shading Devices for a Commercial Atrium Building in Tropical Climates” 3rd International Conférence on Ecological, Environmental and Biological Sciences (ICEEBS'2013) April 29-30, 2013 Singapore.

Leila Moosavi ,Norhayati Mahyuddin, Norafida Ab Ghafar,Muhammad Azzam Ismail.(2014). “Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs, Urban Conservation and Tropical Architecture” (UCTA), Faculty of Built Environment, University Malaya, Kuala Lumpur, Malaysia.

Mak, Nicholas.(1991)“Thermal stratification in atria”, Bachelor of Engineering thesis, Department of Engineering, University of Wollongong.

Michel Capderou.(1986) Atlas solaire de l’Algerie , tome 2, Edition O.P.U, Alger.

M.H. AHMED, M.T.M. RASDI. (2000) « Design Principles of Atrium Buildings for the Tropics ».Penerbit UTM, Malaysia

M.R.Atif . (1992), “Daylighting and Cooling of Atrium Building in Warm Climates: Impact of the Top Fenestration and Wall Mass Area”. Unpublished Ph.D. Thesis, Texas A&M University.

Rahal Samira. (2011). “l’impact de l’atrium sur le confort thermique dans les bâtiments publics cas de la maison de culture à Jijel» . mémoire de magistère Département d’architecture Constantine.

Rafik Bensalem, (1991) « wind-driven natural ventilation in courtyard and atrium-type buildings » Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy at the Building Science Unit School of Architectural Studies University of Sheffield

Rundle, M.F. Lightstone, P.Oosthuizen, P. Karava, E. Mouriki, (2011): C.A. Rundle, M.F. Lightstone, P.Oosthuizen, P. Karava, E. Mouriki., Validation of computational fluid dynamics simulation for atrium geometries, Building and Environment 46(2011) 1343-1353

Shafqat Hussain . (2012) « Numerical investigation of the indoor thermal environment in atria and of the buoyancy-Driven ventilation in a simple atrium building” A thesis submitted to the Department of Mechanical and Materials Engineering In conformity with the requirements for the degree of Doctor of Philosophy Queen’s University Kingston, Ontario, Canada (July, 2012)

Simmonds.(1993),“Experiences with naturally ventilated atriums”, Proc. Of the CIBSE National Conference, Chartered Institute of Building Services Engineers, London, UK, 161-178.

Swinal Samant.(2011) . “A parametric investigation of the influence of atrium facades on the daylight performance of atrium buildings” , Thesis submitted to the University of Nottingham for the degree of Doctor of Philosophy.

W.Y.Hung et W.K.Chow.(2011)“A Review on Architectural Aspects of Atrium Buildings” , Department of Building Services Engineering , The Hong Kong Polytechnic University , Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, China.

W.Y. Hung.(2003) “Architectural aspects of atrium”, Department of Building Services Engineering, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China.

Wang Lan, Huang Qiong, Zhang Qi, Xu Hong, Richard K.K. Yuen. (2017). « Role of atrium geometry in building energy consumption: the case of a fully air-conditioned enclosed atrium in Cold Climates, China » Accepted Manuscript.

Sites internet:

WWW.WBDG.ORG/DESIGN/ENV_ATRIA.PHP

WWW.SHENCIVILWAR.ORGWWW.PRESERVATIONSCIENCE.COM

WWW.ITALIE-DECOUVERTE.COM

WWW.FLICKR.COM

WWW.FACADEDS.COM/PORTFOLIO-ITEMS/BULLRING-BIRMINGHAM

WWW.ARCHDAILY.COM/564959/DEUTSCHE-POST-TOWERS-WINS-CTBUH-10-YEAR-AWARD,2016

WWW.WIKIPÉDIA.ORG / WWW.MTP.GOV.DZ

WWW.GOOGLE earth.com

www.edsl.com

Annexes



ANNEXE I

L'interprétation de Nicol et Humphrey pour le confort thermique :

Un grand nombre d'études à expérimentation in situ ont été analysées à travers le monde sur des bâtiments en situation réelle pour différentes régions aux différents climats afin de déterminer le confort thermique intérieur, leurs analyses ont été basées sur l'interprétation de Nicol et Humphrey, cette dernière permet de calculer la température du confort en fonction des conditions climatiques extérieures notamment la température extérieure moyenne.

Humphrey a utilisé la moyenne mensuelle de la température extérieure comme variable indépendante pour tracer les variations de la température de confort considérée comme variable dépendante.[Nicol.2002]. Et en raison de notre étude qui a été basé sur l'investigation in-situ, il a été proposé que la température de confort soit une fonction de la température extérieure :

$$T_{\text{conf}} = 0,534 T_{\text{ext}} + 11,9$$

Avec : T_{conf} : la température du confort °C

T_{ext} : la température extérieure moyenne du mois en question en °C

Les températures limites du confort T_{conf} :

Limite supérieure de confort : $T_{\text{sup}} = T_{\text{conf}} + 2$

Limite Inférieure de confort : $T_{\text{inf}} = T_{\text{conf}} - 2$

Donc la plage du confort pour le mois du juillet sera :

$$T_{\text{conf}} = 28,4^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{sup}} = 30,4^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{inf}} = 26,4^{\circ}\text{C}$$

Calcul des températures de confort par la formule de Humphrey pour la ville de Laghouat :

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	juin	jui	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T_{ext}	11	11	13	20	23	29	31	30	26	21	13	10
T_{conf}	17,9	17,9	18,8	22,6	24,1	27,3	28,4	27,9	25,7	23,1	18,8	17,2
T_{sup}	19,9	19,9	20,8	24,6	26,1	29,3	30,4	29,9	27,7	25,1	20,8	19,2
T_{inf}	15,9	15,9	16,8	20,6	22,1	25,3	26,4	25,9	23,7	21,1	16,8	15,2

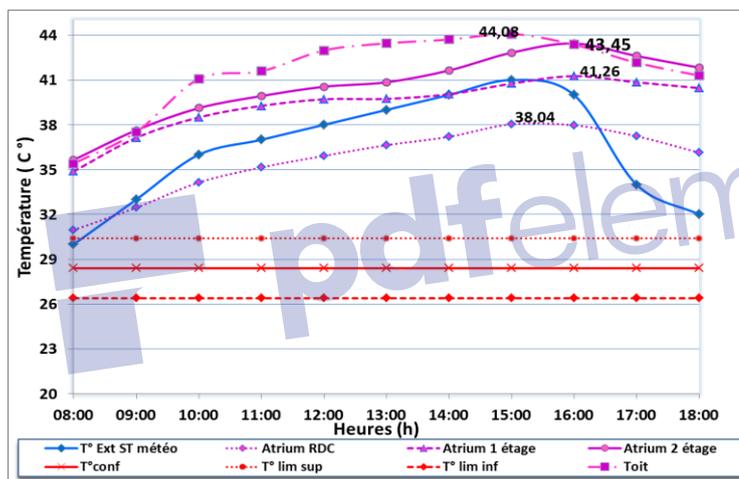
ANNEXE II

Résultats de simulation :

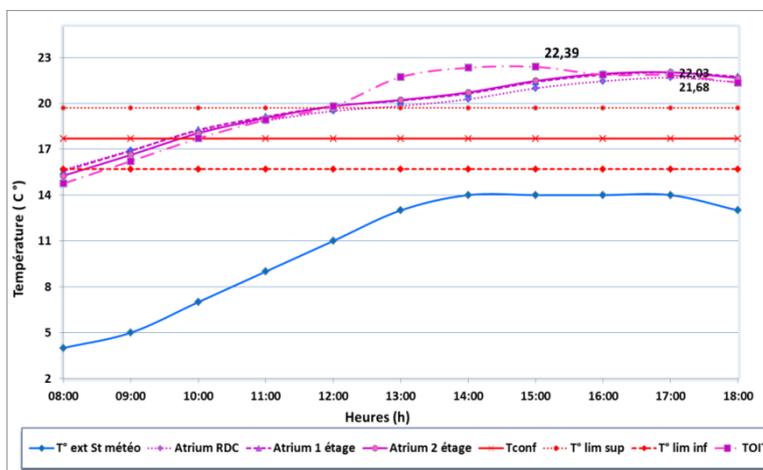
Effet des gains internes :

Afin de quantifier l'impact que peut avoir les apports internes sur l'environnement thermique intérieur, il était indispensable de comparer les profils thermiques de l'atrium sans apports, ce qui correspond au cas initial, et l'atrium lui-même avec les apports internes. Pour ce faire, TAS nous offre la possibilité d'appliquer des modèles qui possèdent des conditions internes aux différentes zones qui correspondent aux gains d'énergie venant de chaque zone. Celles-ci incluent les gains sensibles et latents dû au métabolisme des occupants, des gains des équipements, et d'éclairage. Comme elles peuvent être contrôlées par les scénarios d'occupation qui ont été déjà définis et appliqués au cas initial.

- **Journée d'été (11 juillet) « cas de base » :**



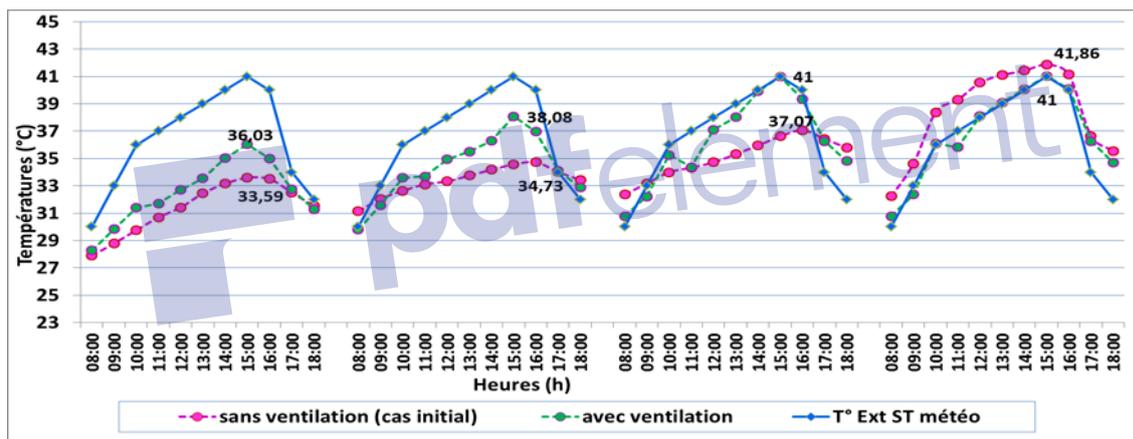
- **Journée d'hiver (26 Février) (cas de base) :**



La présence humaine dans l'espace, ainsi que les charges internes des équipements, d'éclairage,....etc contribuent à élever la température ambiante, et constituent un effet indésirables. Donc les apports affectent la sensation de l'inconfort. Un comportement approprié peut participer à éviter quelques degré Celsius, donc un intérêt particulier doit être porté à un bon contrôle de l'environnement intérieur par une bonne optimisation de la configuration de l'atrium.

Effet de la ventilation par tirage thermique (Journée d'été) :

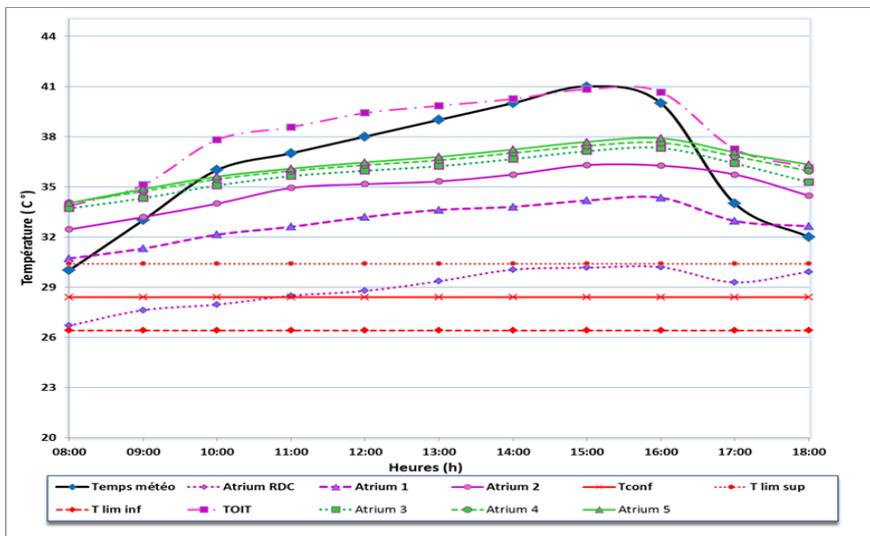
Afin de tester l'impact que peut avoir la ventilation naturelle par tirage thermique, sur l'environnement thermique intérieur, et si cette ventilation peut améliorer le confort thermique intérieur notamment en période estivale. TAS nous a offert la possibilité de créer des ouvertures au niveau de la toiture pour le cas initial de notre atrium. Pour ce faire nous avons modélisé un nombre quelconque d'orifices du côté Nord de la toiture, dans l'optique de capter l'air plus frais venant du Côté Nord. Celles-ci sont modélisées comme étant des entrées/sorties libres, en procurant deux ventilations ; nocturne et diurne.



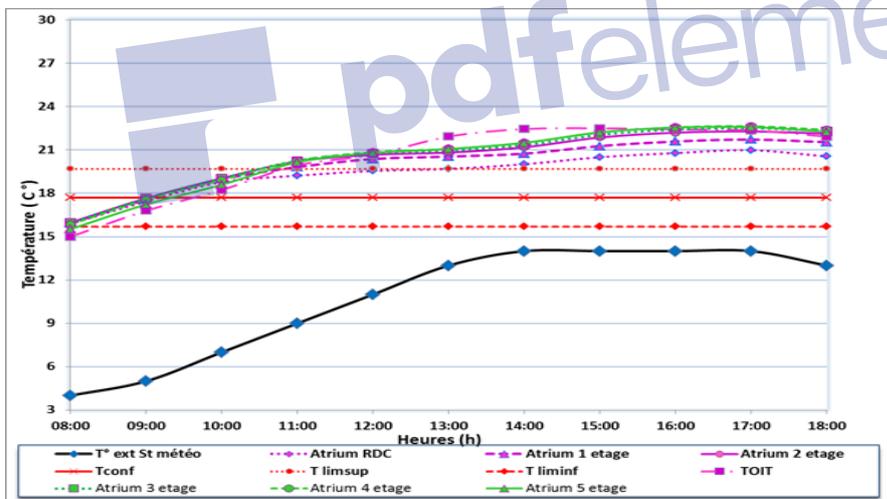
Les résultats montrent à l'exception de la zone très haute près de la toiture, une élévation notable dans les températures, là où en disposant de la ventilation par tirage thermique, dont les différences sont dans l'ordre de 4°C, comme nous remarquons une semblance dans l'allure des profils des températures avec le profil de la température extérieure. Cependant la zone très haute près de la toiture marque une baisse dans les températures, en devenant conforme avec les températures extérieures, ce qui indique que cette zone a eu une température égale à celle de l'extérieure. Selon Givoni [1978]. Dans les zones à climat chaud et sec, il est souhaitable de réduire à un minimum la ventilation pendant la journée. De ce fait la ventilation par tirage thermique pour un atrium dans un climat chaud et aride est inévitable.

Résultats de la simulation du cas Haut atrium

Journée d'été (11 juillet)



Journée d'hiver (26 Fev)



ANNEXE III

Les données du fichier climatique utilisé dans le programme Tas :

Journée d'été (11 juillet 2016)

Hour	Global Radiation (W/m ²)	Diffuse Radiation (W/m ²)	Cloud Cover (0-1)	Dry Bulb (°C)	Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Wind Direction (°)
4585	0.0	0.0	0.0	30.0	29.0	3.1	292.0
4586	0.0	0.0	0.0	29.0	30.0	0.0	0.0
4587	0.0	0.0	0.0	27.0	34.0	0.0	0.0
4588	0.0	0.0	0.0	26.0	36.0	0.0	0.0
4589	0.0	0.0	0.0	25.0	36.0	0.0	0.0
4590	65.0	21.0	0.0	26.0	36.0	0.0	0.0
4591	254.0	44.0	0.0	26.0	39.0	3.1	270.0
4592	470.0	74.0	0.0	30.0	31.0	3.1	247.5
4593	672.0	89.0	0.0	33.0	23.0	3.1	270.0
4594	842.0	49.0	0.0	36.0	27.0	0.0	0.0
4595	965.0	114.0	0.0	37.0	18.0	3.1	247.5
4596	1030.0	120.0	0.0	38.0	18.0	1.0	0.0
4597	1030.0	120.0	0.0	39.0	17.0	2.0	180.0
4598	965.0	114.0	0.0	40.0	14.0	3.1	0.0
4599	842.0	49.0	0.0	41.0	14.0	5.1	360.0
4600	672.0	89.0	0.0	40.0	13.0	8.2	180.0
4601	470.0	74.0	0.0	34.0	13.0	6.2	180.0
4602	254.0	44.0	0.0	32.0	13.0	7.2	180.0
4603	65.0	21.0	0.0	34.0	13.0	4.1	180.0
4604	0.0	0.0	0.0	33.0	14.0	0.0	0.0
4605	0.0	0.0	0.0	33.0	18.0	0.0	0.0
4606	0.0	0.0	0.0	34.0	20.0	14.4	270.0
4607	0.0	0.0	0.0	33.0	22.0	9.3	270.0
4608	0.0	0.0	0.0	32.0	24.0	3.1	202.5

Journée d'hiver (26 Février 2016)

Hour	Global Radiation (W/m ²)	Diffuse Radiation (W/m ²)	Cloud Cover (0-1)	Dry Bulb (°C)	Humidity (%)	Wind Speed (m/s)	Wind Direction (°)
1345	0.0	0.0	0.5	7.0	74.0	0.0	20.0
1346	0.0	0.0	0.5	6.0	78.0	0.0	1.0
1347	0.0	0.0	0.5	5.0	83.0	1.0	24.0
1348	0.0	0.0	0.5	5.0	83.0	2.0	66.0
1349	0.0	0.0	0.5	4.0	83.0	1.0	22.0
1350	0.0	0.0	0.5	4.0	82.0	0.0	71.0
1351	0.0	0.0	0.5	3.0	90.0	0.0	100.0
1352	6.0	6.0	0.5	4.0	91.0	0.0	44.0
1353	173.0	93.0	0.5	5.0	83.0	0.0	0.0
1354	376.0	63.0	0.0	7.0	73.0	0.0	182.0
1355	560.0	71.0	0.0	9.0	63.0	0.0	225.0
1356	691.0	87.0	0.0	11.0	54.0	1.0	247.0
1357	767.0	91.0	0.0	13.0	48.0	1.0	209.0
1358	768.0	93.0	0.0	14.0	45.0	2.0	235.0
1359	701.0	86.0	0.0	14.0	45.0	2.0	187.0
1360	580.0	66.0	0.0	14.0	43.0	3.0	217.0
1361	403.0	54.0	0.0	14.0	44.0	3.0	231.0
1362	197.0	98.0	0.4	13.0	51.0	3.0	205.0
1363	10.0	10.0	0.4	11.0	60.0	4.0	236.0
1364	0.0	0.0	0.4	11.0	72.0	3.0	229.0
1365	0.0	0.0	0.4	10.0	73.0	1.0	232.0
1366	0.0	0.0	0.4	9.0	74.0	2.0	242.0
1367	0.0	0.0	0.5	8.0	77.0	1.0	253.0
1368	0.0	0.0	0.5	8.0	81.0	1.0	176.0

Détails et caractéristiques des éléments de construction utilisés dans le programme Tas

1) matériaux opaques :

Type	Opaque	Opaque	Gas Layer	Opaque	Opaque
Name	Enduit platre	Brique 10	lame d'air	Brique 15	Mortier ciment
Description					
Thickness (m)	0.02	0.1	0.005	0.15	0.02
Convection Coefficient (W/m ² ·°C)	0.001	0.001	1.25	0.001	0.001
Conductivity (W/m·°C)	0.35	0.48	0.01	0.48	1.4
Specific Heat (J/kg·°C)	936.0	936.0	0.0	936.0	1080.0
Density (kg/m ³)	960.0	900.0	0.0	900.0	2200.0
Vapour Diffusion Factor	11.000	8.000	1.000	8.000	19.200
Solar Trans. (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Ext. Solar Refl. (0-1)	0.6	0.28	0.0	0.28	0.6
Int. Solar Refl. (0-1)	0.6	0.28	0.0	0.28	0.6
Light Transmittance (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
External Light Reflectance (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Internal Light Reflectance (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
External Emissivity (0-1)	0.9	0.93	0.0	0.93	0.9
Internal Emissivity (0-1)	0.9	0.93	0.0	0.93	0.9

Type	Opaque	Opaque	Opaque	Opaque
Name	Enduit platre	Plancher corp creux	Mortier ciment	Carrelage
Description				
Thickness (m)	0.02	0.2	0.02	0.02
Convection Coefficient (W/m ² ·°C)	0.001	0.001	0.001	0.001
Conductivity (W/m·°C)	0.35	1.45	1.4	2.1
Specific Heat (J/kg·°C)	936.0	1080.0	1080.0	936.0
Density (kg/m ³)	960.0	1450.0	2200.0	2200.0
Vapour Diffusion Factor	11.000	34.000	19.200	99999.000
Solar Trans. (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0
Ext. Solar Refl. (0-1)	0.6	0.35	0.6	0.3
Int. Solar Refl. (0-1)	0.6	0.35	0.6	0.3
Light Transmittance (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0
External Light Reflectance (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0
Internal Light Reflectance (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0
External Emissivity (0-1)	0.9	0.9	0.9	0.9
Internal Emissivity (0-1)	0.9	0.9	0.9	0.9

Type	Opaque	Opaque	Opaque	Opaque
Name	Herissonage	Beton lourd	Mortier ciment	Carrelage
Description				
Thickness (m)	0.2	0.1	0.02	0.02
Convection Coefficient (W/m ² ·°C)	0.001	0.001	0.001	0.001
Conductivity (W/m·°C)	1.9	1.7	1.4	1.4
Specific Heat (J/kg·°C)	1000.0	1080.0	1080.0	1000.0
Density (kg/m ³)	2500.0	2500.0	2200.0	2200.0
Vapour Diffusion Factor	38.000	37.000	19.200	99999.000
Solar Trans. (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0
Ext. Solar Refl. (0-1)	0.35	0.34	0.6	0.3
Int. Solar Refl. (0-1)	0.35	0.34	0.6	0.3
Light Transmittance (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0
External Light Reflectance (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0
Internal Light Reflectance (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0
External Emissivity (0-1)	0.9	0.9	0.9	0.9
Internal Emissivity (0-1)	0.9	0.9	0.9	0.9
Blind?	False	False	False	False

Type	Opaque	Opaque	Opaque	Opaque	Opaque	Type	Opaque
Name	Enduit plâtre	Plancher corp creux	Mortier ciment	Sable	Mortier de chaux	Name	Bois porte
Description						Description	
Thickness (m)	0.02	0.2	0.02	0.01	0.01	Thickness (m)	0.04
Convection Coefficient (W/m ² ·°C)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0	Convection Coefficient (W/m ² ·°C)	0.001
Conductivity (W/m·°C)	0.35	1.45	1.4	0.6	0.87	Conductivity (W/m·°C)	0.14
Specific Heat (J/kg·°C)	936.0	1080.0	1080.0	823.0	1080.0	Specific Heat (J/kg·°C)	1760.0
Density (kg/m ³)	960.0	1450.0	2200.0	1300.0	1800.0	Density (kg/m ³)	500.0
Vapour Diffusion Factor	11.000	34.000	19.200	99.000	11.000	Vapour Diffusion Factor	11.500
Solar Trans. (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Solar Trans. (0-1)	0.0
Ext. Solar Refl. (0-1)	0.6	0.35	0.6	0.24	0.6	Ext. Solar Refl. (0-1)	0.4
Int. Solar Refl. (0-1)	0.6	0.35	0.6	0.24	0.6	Int. Solar Refl. (0-1)	0.4
Light Transmittance (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Light Transmittance (0-1)	0.0
External Light Reflectance (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	External Light Reflectance (0-1)	0.0
Internal Light Reflectance (0-1)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Internal Light Reflectance (0-1)	0.0
External Emissivity (0-1)	0.9	0.9	0.9	0.91	0.9	External Emissivity (0-1)	0.9
Internal Emissivity (0-1)	0.9	0.9	0.9	0.91	0.9	Internal Emissivity (0-1)	0.9

2) matériaux transparents :

Type	Transparent Layer	Type	Transparent Layer
Name	Simple vitre 3mm	Name	vitrage toiture 6mm
Description		Description	
Thickness (m)	0.003	Thickness (m)	0.006
Convection Coefficient (W/m ² ·°C)	0.001	Convection Coefficient (W/m ² ·°C)	0.001
Conductivity (W/m·°C)	1.0	Conductivity (W/m·°C)	1.0
Specific Heat (J/kg·°C)	0.0	Specific Heat (J/kg·°C)	0.0
Density (kg/m ³)	0.0	Density (kg/m ³)	0.0
Vapour Diffusion Factor	9999.000	Vapour Diffusion Factor	9999.000
Solar Trans. (0-1)	0.82	Solar Trans. (0-1)	0.82
Ext. Solar Refl. (0-1)	0.09	Ext. Solar Refl. (0-1)	0.09
Int. Solar Refl. (0-1)	0.09	Int. Solar Refl. (0-1)	0.09
Light Transmittance (0-1)	0.89	Light Transmittance (0-1)	0.89
External Light Reflectance (0-1)	0.0	External Light Reflectance (0-1)	0.0
Internal Light Reflectance (0-1)	0.0	Internal Light Reflectance (0-1)	0.0
External Emissivity (0-1)	0.84	External Emissivity (0-1)	0.84
Internal Emissivity (0-1)	0.84	Internal Emissivity (0-1)	0.84