



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences et de la technologie  
Département d'Architecture

# MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Technologies  
Filière : Architecture et Urbanisme  
**Spécialité : ARCHITECTURE ET ENVIRONNEMENT**  
Réf. : .....

---

Présenté et soutenu par :  
Saib Mounira

Le : samedi 20 juillet 2019

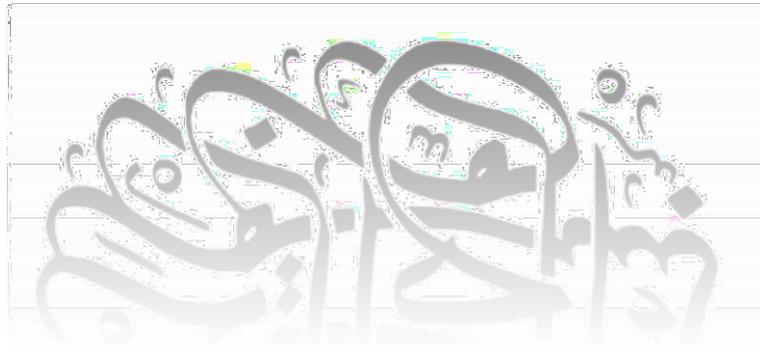
**Thème :**  
**l'impact de l'atrium sur le confort thermo-aéraulique**  
**Projet : center culturel**

---

## Jury

M.	REZIG DJEMOUI	MAB	Université de Biskra	Président
M.	BOUDOUKHA AYOUB	MAB	Université de Biskra	Rapporteur
Mme.	HAMEL KHALISSA	MAA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2018 - 2019



*Aux....*

*Personnes chères à mon cœur*

*... Mes parents*

## *Remerciements*

*Il serait injuste d'omettre d'adresser des mots de reconnaissance à l'égard de tous ceux qui, sans leur aide et contribution, soutien effectif et moral, pensées et prières, ce travail n'aurait eu aucune chance de voir le jour et prendre cette modeste forme d'initiation à la recherche scientifique.*

*Avant tout, j'adresse mes vifs remerciements aux membres du jury qui, ont pris le temps d'examiner ce travail et d'avoir accepté de le juger, donnant lieu à une soutenance riche en discussions.*

## Résumé

Les grands volumes vitrés que sont les atriums, formes répandues auxquelles font appel beaucoup d'architectes dans leurs projets, sont souvent caractérisés par des problèmes thermiques et de circulation d'air, qui peuvent rendre ces espaces impraticables durant l'été. Bien que ces espaces soient attrayants par de nombreux aspects, ils présentent souvent des défauts majeurs qui nuisent au confort des occupants et peuvent provoquer des consommations excessives d'énergie.

L'objectif de ce travail est de déterminer le comportement thermique des espaces atriums sous nos latitudes, et valoriser la ventilation naturelle dans ce dernier comme stratégie passive de rafraîchissement en été, dans l'optique de contribuer à l'amélioration de la conception des atriums adéquats à notre climat. L'objet d'une étude sur les ambiances thermiques- aéraulique.

L'interprétation des données récoltées sur les lieux montre que, effectivement en période estivale l'atrium constitue une source d'inconfort à l'intérieur du bâtiment, illustré par une surchauffe excessive et une stratification accentuée en absence totale d'un renouvellement d'air par ventilation naturelle, l'incorporation de cette dernière a permis une abaissement des températures d'air et par suite, un rafraîchissement des ambiances interne est senti. Tandis que, en période hivernale l'atrium révèle un aspect bioclimatique, jouant le rôle d'un capteur solaire, régulant ainsi les variations des températures, et rapportant des degrés précieux pour le chauffage de l'espace.

**Mots-clés :** Atrium, ambiance thermo-aéraulique, stratification thermique, ventilation naturelle, simulation numérique.

## Table des matières

Table des matières.....	I
Liste des figures.....	VI
Liste des Tableaux.....	X
Nomenclature .....	XI

### **Introduction générale:**

Introduction.....	1
Problématique .....	3
Objectifs.....	4
Hypothèses.....	5
Méthodologie .....	6
Structure Du Mémoire.....	6

### **CHAPITRE I: L’atrium comme forme architecturale**

1.1. Introduction :.....	9
1.2. L’historique des espaces atrium et leurs développements.....	10
1.2.1.L’atrium traditionnel .....	10
1.2.2. L’évolution d’une forme traditionnelle et l’apparition des grands espaces vitrés et leurs développements :.....	12
1.2.3.L’atrium moderne .....	18
1.2.4.Définition de l’atrium moderne .....	20
1.3. Typologie morphologique des atriums .....	22
1.3.1.Les typologies existantes .....	22
1.3.2.Proposition d’une typologie .....	25
1.3.2.1. Critères de positionnement .....	26
1.3.2.2. Critères de proportion .....	28
1.3.2.3. Combinaison des deux critères .....	28
1.4. Destination des atriums.....	29
1.4.1.Fonction des atriums .....	30
1.4.1.1. Sur le plan de l’éclairage naturel.....	31
1.4.1.2. Sur le plan thermique.....	31

1.4.1.3. Sur un plan subjectif .....	31
1.4.1.4. uiy .....	
1.4.2. Organisation interne .....	32
1.5. La fonction paradoxale de l'atrium : .....	33
1.6. L'alternative des concepts pour le design des atriums .....	34
1.7. Conclusion .....	35

## **CHAPITRE II : les ambiances thermo-aérauliques des centres culturels**

### **Caractérisation des ambiances thermiques dans les atriums**

II.1. Introduction .....	36
II.2. Spécificités des ambiances thermiques dans les atriums .....	36
II.2.1. Spécificités liées au vitrage : l'effet de serre .....	36
II.2.1.1. Facteurs de forme .....	40
II.2.2. La stratification des températures d'air .....	44
II.2.3. Caractérisation de la stratification thermique :	
II.2.4. La stratification des températures d'air en été .....	47
II.2.5. La stratification des températures d'air en hiver .....	49
II.2.6. Effets des dimensions de l'atrium sur la stratification .....	50
II.2.6.1. Effets de la hauteur .....	50
II.2.6.2. Effets de la largeur .....	51
II.2.7. Effets de l'organisation interne de l'atrium sur la stratification .....	53
II.2.8. Influence d'autres paramètres sur la stratification .....	56
II.2.8.1. Influence de la surface vitrée .....	57
II.2.8.2. Influence de l'inertie .....	58
II.2.8.3. Influence de l'orientation .....	61
II.3. Conclusion .....	61

### **III Caractérisation des ambiances aérauliques dans les atriums**

III.1. Introduction .....	63
III.1.1. Stratégies de ventilation adoptées dans les atriums .....	63

III.1.1. La ventilation naturelle .....	66
III.1.2. Modèles empiriques employés en ventilation naturelle.....	68
III.1.2.1. Méthode d’Andersen .....	68
III.1.3. Effet de la ventilation naturelle sur la stratification thermique.....	72
III.1.4. Impact de la ventilation nocturne .....	74
III.2.2. Les outils de simulation appliqués aux ambiances thermo- aérauliques dans les atriums :	
III.2.3. Récapitulatif.....	83
III.2. Les études menées dans le domaine des ambiances thermo-aérauliques des atriums :	84
III.2.1. Etudes générales menées dans le cadre des atriums .....	85
III.2.2. Etudes dédiées aux techniques et aux outils de simulation.....	86
III.2.3. Etudes menées dans des atriums existants ou à construire .....	88
III.2.4. Etudes paramétriques .....	90
III.3. Conclusion .....	91

**CHAPITRE IV: Investigation**

IV.1. Introduction .....	93
IV.2. Situation de la ville de biskra .....	93
IV.3. Contexte climatique .....	94
IV.4. Analyse climatique de la ville de biskra.....	95

V.1.

**Conclusion générale et perspectives.....**

**Bibliographie .....**

**Annexes :**

Annexe A.....	
Annexe B .....	
Annexe C .....	
Annexe D.....	
Annexe E.....	

**Abstract**

**ملخص**

**Liste des figures :**

**CHAPITRE I :**

Figure I- 1 : plan et coupe d'une maison de Ur, Mésopotamien.....	10
Figure I- 2 : Coupe d'une maison aFaun, Pompéi .....	11
Figure I- 3 : Plan et coupe d'une maison persane .....	11
Figure I- 4 : Plan, coupe, et façade typique de la conception des maisons magasin en Malaysia et Singapore.....	12
Figure I- 5 : Crystal palace, 1851 .....	13
Figure I- 6 : la Palm House (serre à palmiers) à Kew, 1848 .....	14
Figure I- 7 : Galleria Vittorio Emanuele, 1867.....	15
Figure I- 8 : Familistère 1883, coupe sur l'une des cours.....	16
Figure I- 9 : Bradbury Building, 1893.....	17
Figure I- 10 : à gauche le Larkin Building, 1906, à droite le musée de Guggenheim à New York, 1959 .....	17
Figure I- 11 : Hyatt Regency Hotel, Atlanta by John Portman .....	19
Figure I- 12 : le Ford Foundation headquarters building, New York, par Roche et Dinkeloo .....	19
Figure I- 13 : Coupe sur le sunspace de Cilifton Nureseries par Terry Farrell.....	21
Figure I- 14 : Netley Infant School par Comté d'architectes Hampshir utilisant un conservatoire pour le chauffage passif pendant l'hiver, et équipés de lames réglables direct pour éviter la lumière du soleil dans l'espace pendant l'été. ....	21
Figure I- 15 : typologie générale des atriums .....	23
Figure I- 16 : classification établie par Yoshino.....	23
Figure I- 17 : Type des atriums d'après une étude japonaise sur 200 bâtiments a atrium .....	24
Figure I- 18 : typologie des atriums établie par Saxon .....	25
Figure I- 19 : exemples d'atriums accolés : ils présentent 3 à 4 faces vitrées extérieures .....	27
Figure I- 20 : exemple d'atriums semi-encastrés : ils ont 1 à 2 faces vitrées extérieures, à dominante verticale .....	27
Figure I- 21 : exemple d'atrium encastré : une seule face vitrée horizontale.....	27
Figure I- 22 : atrium ponctuel (à gauche), atrium linéaire (à droite) .....	28
Figure I- 23 : atrium « accolé linéaire » à 3 et 4 faces vitrées et atrium encastré linéaire.....	29
Figure I- 24 : Type d'activité des immeuble à atrium d'après l'étude « Atrium Studies Technical Review » de Lomas et Eppel (1994) recensant 2000 bâtiments à atrium au Royaume-Uni .....	29
Figure I- 25 : Catégorie des constructeurs .....	29
Figure I- 26 : Type d'activité des immeubles à atrium au Japon, d'après l'étude japonaise de Yoshino (1995) sur 200 bâtiments à atrium .....	30
Figure I- 27 : à gauche, un atrium lisse. A droite, un atrium alvéolaire .....	33
Figure I- 28 : approche de la conception pour la construction à atrium et l'évolution des influences.....	34

**CHAPITRE II :**

Figure II. 1 : géométrie des facteurs de forme entre deux éléments de surfaces élémentaires. ....	38
Figure II. 2 : représentation des conditions limites de stratification.....	39
Figure II. 3 gradient vertical des températures d'air dans différents cas de figure .....	41

---

Figure II. 4 configurations des atriums étudiées par Yoshino .....42

Figure II. 6: gradients verticaux des températures d'air pendant l'été .....	43
Figure II. 7 : gradients verticaux des températures d'air pendant l'hiver.....	44
Figure II. 8 : à gauche, gradients verticaux pour diverses hauteurs dans la galerie alors que la largeur reste constante. A droite, évolution des températures en fonction de la hauteur .....	45
Figure II. 9: 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 .....	47
Figure II. 10: gradients thermiques verticaux dans les deux atriums .....	53
Figure II. 11: Modèle de projet.....	59
Figure III. 12: stratégies de contrôle des ambiances thermo-aérauliques dans un atrium .....	64
Figure III. 13: Le modèle utilisé dans les expériences .....	67
Figure III. 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 .	73
Figure III. 15 : Résultats de la ventilation nocturne (Mai) .....	74
Figure III. 16 : Résultats de la ventilation nocturne (Août).....	74
Figure III. 17 : les différentes discrétisations spatiales utilisées pour le cas les atriums.....	76
Figure III. 18 : les différentes stratégies analysées en fonction des positions des ouvertures et de la localisation de la tache solaire .....	88
Figure III. 19: les trois formes d'atrium étudiées.....	90

**CHAPITRE IV :**

Figure IV. 1 : .....	94
----------------------	----

**ANNEXES:**

Figure B. 1 : Diagramme psychométrique de GIVONI avec application sur la ville de Jijel .....	215
Figure B. 2 : les isothermes .....	217
Figure B. 3 : Le diagramme thermo-isoplèthes .....	217
Figure D. 1 conditions internes appliquées aux zones de l'atrium.....	226
Figure D. 2 : conditions internes appliquées aux zones des coursives .....	227
Figure D. 3 : conditions internes appliquées aux zones des espaces adjacents .....	228
Figure E. 1:ventilation naturelle à travers deux ouvertures par tirage thermique.....	229
Figure E. 2: différences de pression .....	229

**Liste des Tableaux :**

**CHAPITRE II :**

Tableau II. 1 : coefficients d'échanges convectifs en convection naturelle .....	42
Tableau II. 2 : comparaison entre les gradients verticaux des trois atriums étudiés.....	54
Tableau II. 3 : caractéristiques des parois testées .....	57
Tableau II. 4 : comparaison des amplitudes thermiques pour le cas d'un atrium central, la température minimale étant de 24,4 °C .....	58
Tableau II. 5 : les cas de simulation .....	60

**CHAPITRE IV :**

Tableau IV. 1: les instruments de mesure utilisés dans l'investigation .....	108
Tableau IV. 2: hauteurs des stations de mesure.....	110

**CHAPITRE V :**

Tableau V. 1 : les caractéristiques thermo-physique des matériaux utilisés .....	159
Tableau V. 2 : composition des constructions utilisées .....	160
Tableau V. 3 : Surfaces des ouvertures .....	163
Tableau V. 4 : les conditions appliquées pour le module « AMBIENS » .....	173

**ANNEXES :**

Tableau A. 1 : Données météorologiques de la ville de Jijel (PERIODE de 1999-2008) .....	202
Tableau A. 2 : Données de la station météo correspondantes aux jours de l'investigation .....	202
Tableau C. 1 : Correspondances entre les valeurs du PMV et l'échelle de sensation thermique (ASHARE) .....	224
Tableau C. 2 : Les plages de confort définissent par la formule de Humphrey pour la ville de Jijel .....	225
Tableau E. 1 : Equations utilisables pour le cas de ventilation naturelle par tirage thermique avec prise en compte de la stratification .....	238

## **Introduction :**

Toute réalisation architecturale concrétise un microcosme en rapport plus ou moins étroit avec l'environnement auquel il appartient. Le but de la conception, de la rénovation et de la construction d'un bâtiment est de réaliser ce microcosme en concordance optimale avec son environnement et de donner ainsi au climat une juste place parmi les dimensions fondamentales de toute intervention de l'architecture sur l'environnement [Liébard. A, De Herde. A. 2005]

La limitation des émissions de gaz à effet de serre est aujourd'hui une préoccupation mondiale en raison des risques liés au changement climatique à l'échelle planétaire. Dans ce cadre, la maîtrise de l'énergie est devenue une composante essentielle de la lutte contre l'effet de serre. Dans le secteur de bâtiment, ceci traduit par des mesures liées à la performance énergétique des bâtiments. Les objectifs de ces mesures sont à la hauteur des enjeux, en raison de l'importance du secteur résidentiel-tertiaire sur la consommation d'énergie [HUMBERT.M 2002]. Notre recherche s'inscrit dans cette logique de maîtrise de l'énergie puisqu'elle vise à améliorer la conception de grands volumes vitrés non climatisés.

Ces deux dernières décennies, les grands volumes vitrés ont été l'objet d'un véritable engouement. Les atriums, formes architecturales faisant partie de la famille des grands volumes vitrés, sont actuellement de plus en plus utilisés dans la production architecturale. Le regain d'intérêt qu'ont les architectes pour ces espaces se traduit par le fait qu'ils les introduisent dans diverses catégories de bâtiments, ils ouvrent virtuellement le bâtiment sur l'extérieur, tout en protégeant les occupants des intempéries, ils sont très appréciés par les architectes pour des raisons esthétiques, mais aussi en raison des symboles qu'ils peuvent véhiculer à travers la transparence et la prouesse technologique. Du point de vue architectural, cela est certainement lié à la volonté d'incorporer un élément fort pouvant participer, par son esthétique, à la bonne image d'un édifice. Les occupants perçoivent positivement ces espaces, par exemple, grâce à la pénétration de la lumière naturelle ou à la fonction sociale de rencontre et de détente. Les promoteurs sont aussi sensibles à la valeur ajoutée qu'ils confèrent au bâtiment. En revanche, l'introduction d'un atrium dans un bâtiment a nécessairement des conséquences sur la qualité des ambiances. Il est alors nécessaire de se soucier, lors de la conception, des problèmes thermiques, de mouvements d'air, de dispersion des polluants, d'éclairage et même d'acoustique.

Cependant, malgré les progrès technologiques réalisés depuis une vingtaine d'années (notamment, sur les propriétés thermiques et optiques des vitrages), on constate très souvent des défauts majeurs dans les grands espaces vitrés qui nuisent au confort des occupants et entraînent des gaspillages d'énergie considérables. En particulier, les phénomènes de surchauffe sont fréquents en période estivale. En outre, la lutte contre les surchauffes excessives passe rarement par des stratégies adéquates de limitation des gains solaires. De telles impasses rendent difficile le maintien de condition de confort thermique acceptable, même au prix d'une consommation d'énergie de climatisation excessive.

Ces problèmes trouvent souvent leur origine dans le processus de construction, que ce soit au niveau de sa conception à proprement dit, créative et technique, ou au niveau du déroulement du projet architectural et de sa construction. Comme dans tout projet, la construction d'un grand volume vitré est soumise aux aléas économiques, à l'erreur humaine et à la pression du temps [Martin 2000].

La particularité des atriums réside dans le fait qu'ils se différencient des autres espaces par leur grande taille et surtout par leur importante surface vitrée zénithale. L'été, cette dernière permet des apports solaires significatifs qui sont fréquemment la cause de contraintes thermiques pouvant générer des surchauffes qui souvent sont accompagnées de la stratification des températures d'air. Ces problèmes sont assez connus, cependant le contrôle de l'ambiance climatique échappe souvent aux concepteurs [Belmaaziz, 2003].

Toutefois, ces difficultés ne doivent pas occulter les problèmes dus à la méconnaissance des phénomènes physique en jeu. A cet effet, la complexité du comportement thermo- aéraulique des grands volumes vitrés, demeure à notre sens, un frein majeur à leur bonne conception en particulier sur le plan de la maîtrise de l'énergie et du confort.

Si du point de vue de la conception, l'esthétique peut être associée au travail de création de l'architecte et donc au savoir architectural, les ambiances thermo-aérauliques quant à elles dépendent du caractère instable des phénomènes climatiques extérieurs. Disons pour résumer, qu'un architecte tend à concevoir un « bel » atrium mais n'est pas en mesure de prédire son comportement parce qu'il n'est pas formé pour cela et surtout parce que les moyens qui lui sont offerts pour prédire son comportement ne sont pas adaptés. Or, pour que la conception d'un atrium soit réussie et que celui-ci soit pleinement apprécié par les usagers, il est nécessaire que l'ambiance climatique soit maîtrisée.

Dans ce sens, la prise en compte de cet aspect dans l'acte de bâtir va de soi puisque l'architecte se doit de concevoir une ambiance thermiquement confortable. Cela peut être aussi vu sous l'angle de l'économie d'énergie. Il est établi qu'un atrium est sujet à des consommations énergétiques plus élevées par rapport à un espace classique. Il est nécessaire alors de garantir une ambiance confortable tout en veillant à ce que l'atrium soit performant au niveau énergétique. Pour englober les deux concepts, nous pouvons aussi parler de la haute qualité environnementale du projet (HQE). Au nom de ce concept, l'atrium doit assurer une qualité d'ambiance optimale.

### **Problématique :**

Les nouveaux modèles architecturaux produits, qu'on appelle « construction moderne » sont de plus en plus inadaptées et gros consommateurs d'énergie. Souvent, ces constructions négligent les aspects climatiques, dans l'importance ne parait pas aux yeux des propriétaires ni même du concepteur dans les premières étapes de projet pour palier à ce problème d'inconfort, on a souvent recours à des dépenses supplémentaires en matière d'énergie soit pour chauffer, ou climatiser.

L'atrium c'est un espace impressionnant, il met en vie l'espace intérieur par l'admission de la lumière du jour, profite des gains solaire direct en hiver, accroît les interactions et la socialisation des gens. Il agit comme un filtre des effets indésirables des facteurs d'environnement extérieur, tels que la pluie, la neige ou le vent, et en conserve les effets souhaités de plein air tel que le soleil, l'air frais et le confort visuel. Le potentiel d'économie d'énergie d'un atrium est associé à la disposition de la lumière du jour dans les espaces occupés, formant une zone tampon entre l'intérieur et l'extérieur [Göçer et al.2006].

En dépit de ces avantages, de grandes surfaces de vitrage atrium engendrer des contraintes, gains excessifs de chaleur solaire en été, et la perte de chaleur en hiver et aussi la stratification de l'air en particulier en été qui ont une incidence sur le confort des usagers, et la performance énergétique des bâtiments atrium.

les rapports qui existent entre des paramètres facilement identifiables et le comportement thermique de l'atrium spécialement pendant la saison chaude.

La conception des atriums doit prendre en compte plusieurs paramètres tels que l'orientation, les proportions, l'inertie thermique, le taux de renouvellement d'air, etc. A ces paramètres s'ajoute le taux de la surface vitrée zénithale, Si la couverture souvent vitrée de ces espaces permet la protection des occupants des intempéries et la diffusion de la lumière naturelle, elle cause des contraintes thermiques principalement solaires qui peuvent provoquer des surchauffes préjudiciables pour le confort des usagers pendant la saison d'été.

Dans un espace grand comme un atrium, L'environnement intérieur est fortement touché par les radiations solaires. Ainsi que l'air étant souvent le vecteur principal d'énergie ou de pollution dans les bâtiments, les transferts aérauliques à l'intérieur vont souvent conditionner la gestion énergétique réelle de celui-ci, mais aussi la qualité de l'air et le confort des occupants. Au cours de la saison d'été, en particulier dans les basses et les régions de latitude moyenne, l'énergie des radiations solaires peuvent causer plusieurs problèmes tels que la surchauffe. L'environnement thermique dans un atrium est caractérisé par une force de flottabilité combinée à l'importante hauteur de plafond de l'espace, et un grand dynamisme généré par la chaleur solaire. Et cela peut donner des températures élevées et une stratification thermique qui sont difficiles à contrôler. Les transferts aérauliques jouent un rôle essentiel. Dans toutes ces interactions des différents phénomènes thermo-aéraulique généré par l'aspect conceptuel de l'espace atrium **qu'elle sera l'environnement thermique dans l'espace atrium sous notre climat chaud ? Comment peut le maître d'œuvre améliorer les conditions thermo-aérauliques au sein du centre culturelle à travers l'atrium, et par la ventilation naturelle comme stratégie passive de rafraîchissement?**

### **Hypothèses :**

L'hypothèse de la recherche est que le grand volume, et la toiture vitrée de l'atrium est à l'origine d'un confort diurne en hiver, et un inconfort thermique en été, mais avec l'adaptation d'une stratégie passive contrôlable pour un rafraîchissement d'été, on introduisant une ventilation naturelle durant la période estivale pour lutter contre les surchauffes et la stratification thermique. L'architecture peut trouver ainsi une réponse à une perspective de développement durable. Trois hypothèses sont à vérifier :

- ✓ L'espace atrium est un espace tampon favorisant le confort en période hivernale.

. Nous pensons que la conception des atriums (dimension, matériau et position) influence directement leur comportement, ce comportement peut être amélioré par :

- ✓ Un bon choix de la position de l'atrium améliore le confort thermo-aéraulique.
- ✓ L'atrium central résulte un bon comportement, vis-à-vis les ambiances intérieures.
- ✓ Certaine optimisation du besoin correspondant à la ventilation naturelle nécessaire qui est générée par l'effet de cheminée, et qui peut être considérée comme un outil bioclimatique important pour contrôler les températures intérieures et pour améliorer le confort aussi bien que les autres facteurs.

### **Objectifs :**

L'objectif principal visé dans le cadre de ce travail, est de déterminer le comportement thermique de l'espace atrium dans les deux périodes hivernale et estivale sous notre climat chaud et aride, dans le but d'une amélioration des conditions de confort de l'espace lui-même et par suite de ces espaces adjacents, et de faire de son volume vitré un élément architectural de valeur pour l'année entière, et l'obtention également d'un niveau de confort thermique convenable, en ayant une économie énergétique optimale.

Par rapport à l'amélioration du confort thermique tout en assurant une économie d'énergie, les préoccupations sont liées à la ventilation naturelle en été pour remédier aux surchauffes en période estivale comme stratégie passive de rafraîchissement favorisé par le grand volume de l'espace. Nombre de fins sont visées par cette étude :

- ❖ Adaptation de cette forme architecturale dans le climat chaud et aride, en le concevant sur la base des principes de la bioclimatique, et des caractéristiques climatiques de la région.
- ❖ Etant bien conçue, l'atrium est une solution du développement durable. Il peut créer une contribution très significative aux économies d'énergie dans le bâtiment qui le contient. Etant à la fois espace intérieur et extérieur, il approvisionne le bâtiment en air et en lumière naturelle, favorise un certain bien être de se trouver à proximité de la nature.
- ❖ Porter une solution définir les paramètres de base pour une conception optimale des espaces atrium dans la région étudiée.

## Méthodologie :

- ✓ La méthodologie suivie pour vérifier les hypothèses émises, et atteindre les objectifs tracés

La première présente un support théorique, et la seconde le volet pratique.

Une analyse exploratoire sur les ambiances thermo-aérauliques concernant les atriums en général constitue la première partie. Dans le chapitre intitulé «L'atrium comme forme architecturale», nous étudions, après un bref aperçu historique sur l'évolution des grands espaces vitrés, les caractéristiques typo-morphologiques des atriums existants. Nous nous

Intéressons ensuite aux aspects fonctionnels que peuvent remplir les atriums et qui font qu'ils sont si prisés par les architectes.

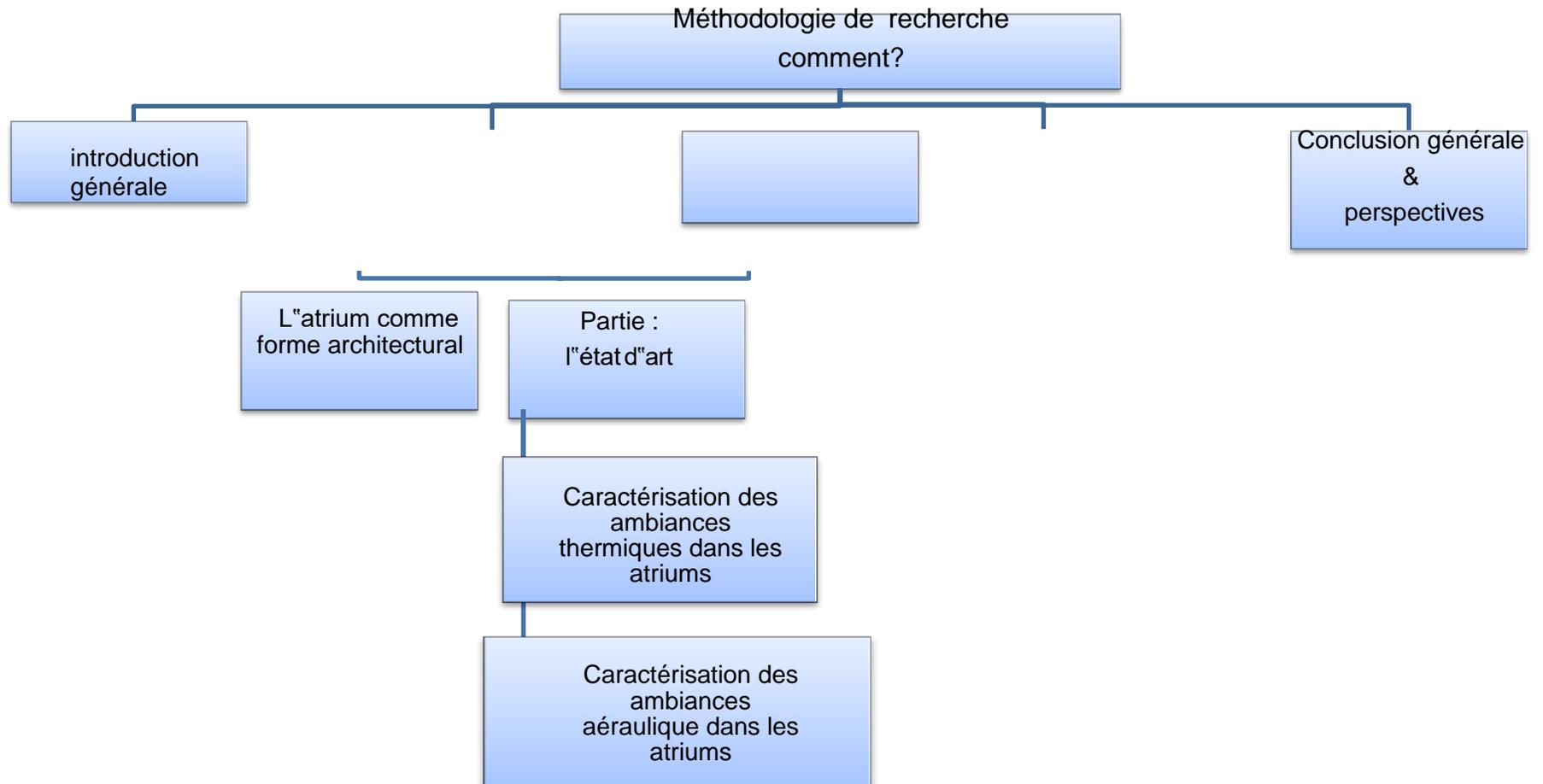
Dans le chapitre suivant « Caractérisation des ambiances thermiques dans les atriums », il s'agit en premier lieu d'un travail bibliographique visant à comprendre en quoi les ambiances climatiques des atriums sont spécifiques par rapport aux autres espaces. Nous décrivons ensuite les phénomènes de transfert de chaleur entrant en ligne de compte dans la modélisation du comportement thermique. Nous nous attardons par la suite sur la description de la stratification thermique en tentant de dégager, à travers des études menées sur des atriums, les paramètres constructifs pouvant avoir un impact sur les surchauffes et en particulier sur la stratification. La ventilation étant un moyen permettant le contrôle du comportement thermique, nous poursuivons cette analyse exploratoire en étudiant les stratégies de ventilation adoptées dans les atriums. Celle-ci est illustrée dans le chapitre intitulé « Caractérisation des ambiances aéraulique dans les atriums » qui sera suivie par la description des différents outils appliqués à la simulation dans les grands volumes. Afin de montrer les différents objectifs que suscite l'analyse du comportement, nous terminons enfin par répertorier toutes les études rencontrées ayant trait avec des aspects proches de ceux que nous étudions

Une récapitulation générale englobe les conclusions pertinentes recueillies lors des différents chapitres qui constituent une base pour des recommandations présentés à la fin dans « conclusion générale et recommandations »

Structure Du Mémoire :

De manière à apporter les éléments de réponse à la problématique posée précédemment ce mémoire s'organise en générale autour de deux parties.

Figure 1: Organigramme de la méthodologie de recherche



# CHAPITRE

—



...l'atrium comme  
forme architecturale

## I.1. Introduction :

Ce que l'on désigne par espace vitré de grande dimension ou plus particulièrement aujourd'hui par le terme d' « atrium » a fait et continue de faire l'objet d'un intérêt particulier dans le monde de l'architecture. Nous pouvons nous en rendre compte à travers les nombreux ouvrages et écrits consacrés à ce sujet [Bednar 1986, Saxon 1996, Bryn 1995].

L'intérêt que portent les architectes pour ce genre d'espace n'est pas anodin. Il est alimenté par un enthousiasme lié à une certaine nostalgie du passé. Cela se traduit par la renaissance de ces espaces dans le paysage architectural d'aujourd'hui comme nous pouvons le constater à travers leurs formes si diverses et si nombreuses. A cela il faut ajouter tous les effets bénéfiques que peuvent apporter ces espaces aux bâtiments au niveau du fonctionnement. En parallèle, mais sur le plan des ambiances et plus précisément celui des conséquences climatiques, cet engouement est accompagné d'un souci relatif aux conditions de confort intérieur qu'un atrium peut engendrer. Il est en effet nécessaire de maîtriser les paramètres physiques qui les régissent. Mais avant d'aborder les aspects d'ordre technique, il est important de s'attarder sur :

- L'évolution des espaces vitrés à travers l'histoire de l'architecture afin de situer les conditions d'émergence de l'atrium actuel,
- L'analyse des espaces largement vitrés par la classification des diverses formes existantes. L'objectif recherché à travers une analyse typo-morphologique consiste à définir les différents archétypes des atriums actuellement édifiés,
- Le rôle que joue un atrium aujourd'hui du point de vue des ambiances et du fonctionnement du bâtiment.

Ces trois points nous aideront à mieux cerner les divers aspects architecturaux qu'il est nécessaire de présenter dans l'optique d'une analyse des ambiances thermo-aérauliques qui constituera par la suite l'essentiel de nos propos.

Dans l'architecture moderne, un atrium (pluriel atriums) est un grand espace souvent ouvert, sur plusieurs étages en hauteur avec un toit vitré ou des grandes fenêtres, souvent situé dans un immeuble de bureaux et généralement situés immédiatement au-delà des principales portes d'entrée.

L'atrium c'est une forme qui a évolué d'une simple idée traditionnelle très complexe en solution au problème de fournir un abri à la cour.

## I.2. L'historique des espaces atrium et leurs développements :

### I.2.1.L'atrium traditionnel :

La forme traditionnelle atrium remonte à 3000 ans avant JC dans les vestiges archéologiques d'une cour d'une maison à Ur, en Mésopotamie [Bednar, 1986] comme il est montré dans la (Figure I-1) et plus tard dans les cours centrales des maisons romaine et grecque, la (Figure I-2) montre une section d'une maison de Pompéi montre deux types d'atriums, Tuscan et Tetrastyle. Dans ces bâtiments l'atrium est à la fois un modificateur de climat et un dispositif donne une fonction sociale à l'espace. Les cours dans les climats chauds et chaleureux sont caractérisés par ces fonctions duelles. La (Figure I-3) montre un exemple de maison persane qui montre l'utilisation de la cour et de badgir dans les régions tropicales d'Asie du Sud-est la conception de "shop house" qui utilise une cour intérieure de cette manière. Ces maisons boutique illustrée à la (Figure I-4), largement construite pendant l'ère coloniale, se trouvent principalement dans les zones urbaines denses du détroit établissements de la Péninsule de Malaisie et de Singapour. Il est généralement prévu pour une activité commerciale ou juste au niveau de rez-de-chaussée, avec des logements à l'étage supérieur [Hamdan, Rasdi, 2002].

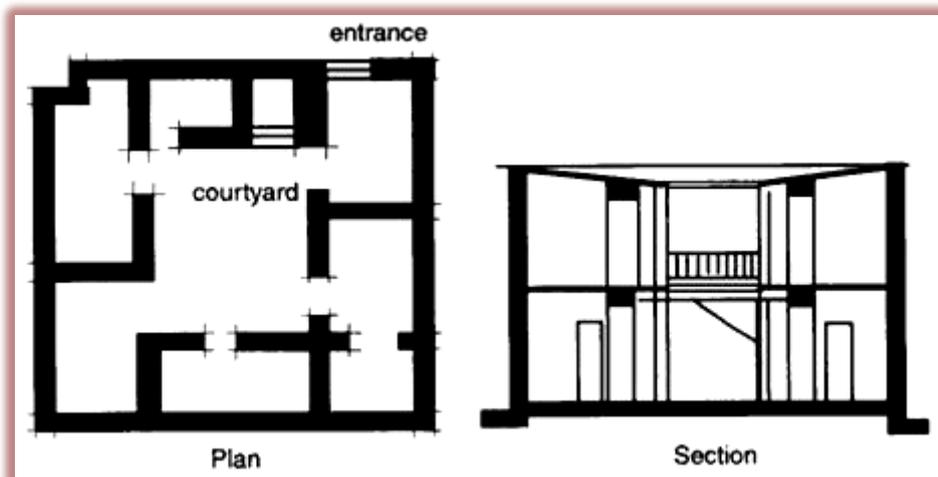


Figure I- 1 : plan et coupe d'une maison de Ur, Mésopotamien

[Source : Hamdan, Rasdi, 2002].

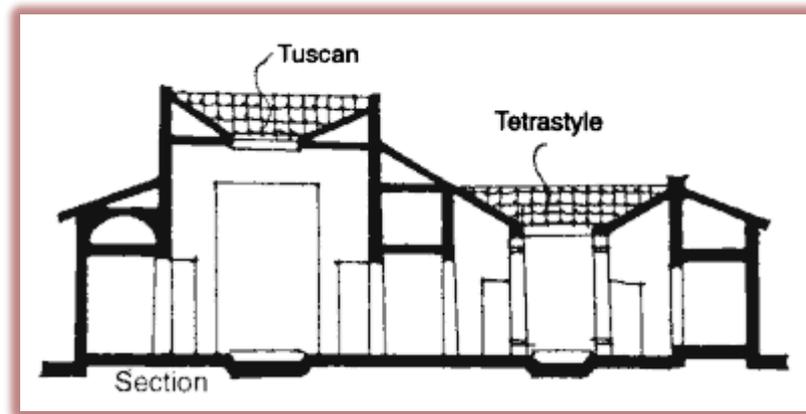


Figure I- 2 : Coupe d'une maison a Faun, Pompeii

[Source : Hamdan, Rasdi, 2002].

La cour de la maison magasin, parfois référée trop comme mur airé, permettent la ventilation naturelle et la pénétration de la lumière dans le centre des bâtiments autrement a plan étroits et souvent profonds. Quelques maisons de magasin sont si profondes qu'elles exigent trois cours [Hamdan, Rasdi, 2002].

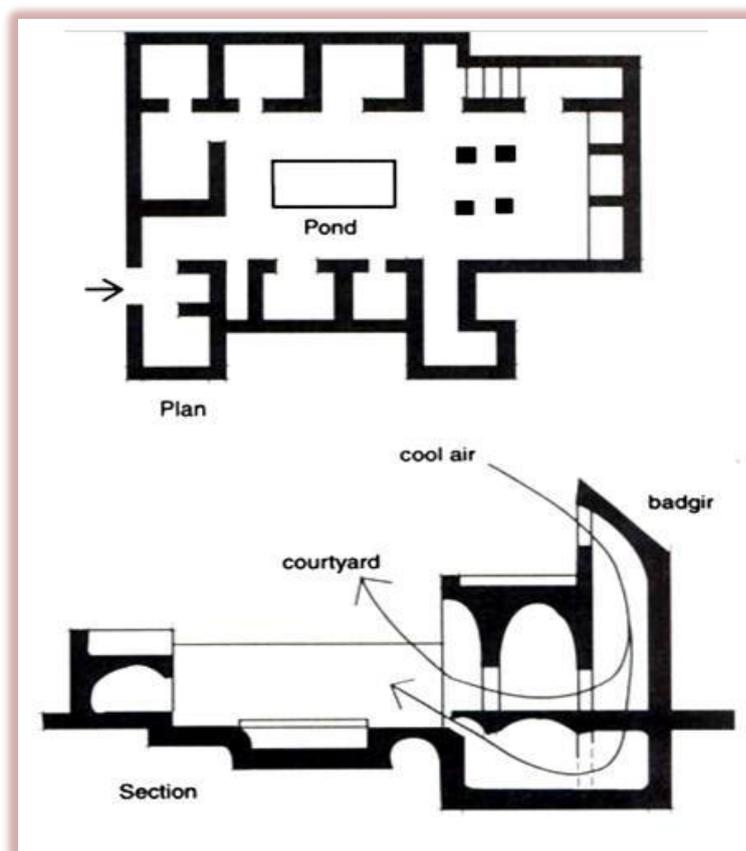
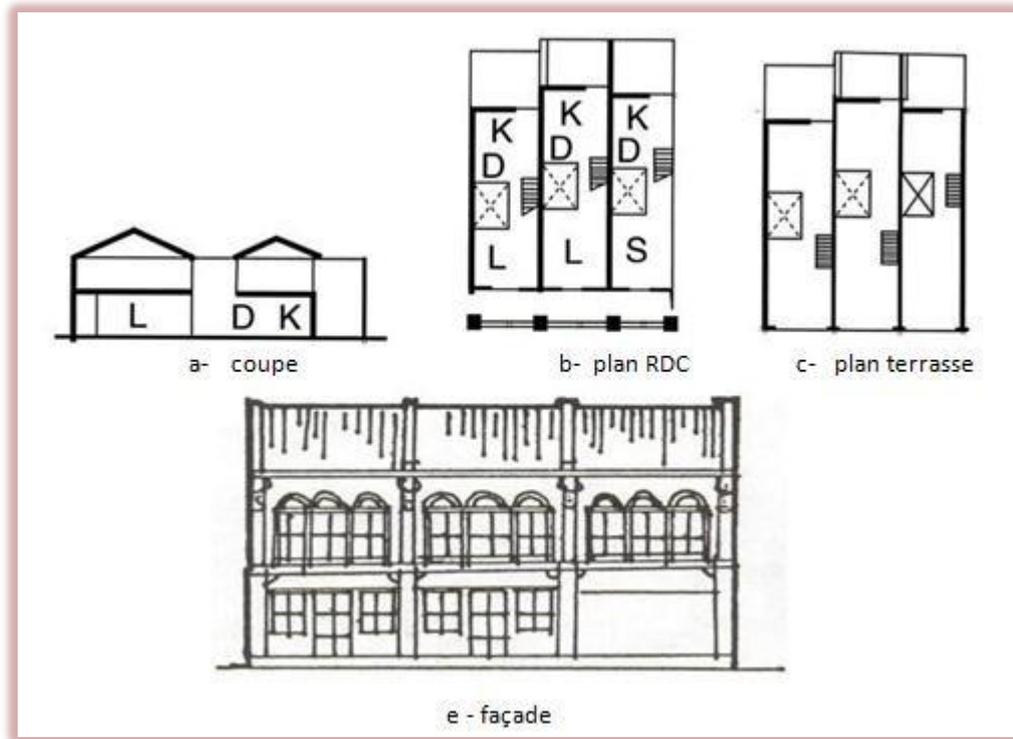


Figure I- 3 : Plan et coupe d'une maison persane

[Source : Hamdan, Rasdi, 2002].



**Figure I- 4 : Plan, coupe, et façade typique de la conception des maisons magasin en Malaysia et Singapore.**

[Source : Hamdan, Rasdi, 2002].

L'évolution d'une forme traditionnelle et l'apparition des grands espaces vitrés et leurs développements :

Si nous nous intéressons au développement des espaces vitrés de grandes dimensions c'est parce que leur évolution est indissociable de celle des atriums ou plus généralement des espaces dont le toit est vitré. Pour cette raison, nous dressons dans ce qui suit un bref aperçu historique traçant les importantes étapes qui ont permis l'avènement de ce type d'espaces.

L'essor des grands espaces vitrés remonte au XIX<sup>ème</sup> siècle, période pendant laquelle les industries du verre et du fer ont connu d'importants développements. La révolution industrielle a ainsi permis l'apparition des structures métalliques de portées de plus en plus grandes. Associées au vitrage modulaire, les colonnes en fonte et les rails en fer forgé sont devenus la technique normalisée de préfabrication rapide et donnèrent naissance à d'innombrables édifices. C'est l'épopée des espaces verriers à l'image des serres botaniques, des terminus de chemin de fer, des passages couverts et des espaces publics.

Le Cristal Palace construit par J. Paxton en 1851 à l'occasion de l'exposition universelle de Londres est sans doute l'édifice qui témoigne le mieux du mariage du fer et du verre (Figure I-5). Entièrement vitré, ce bâtiment aux dimensions considérables (124 par 536 m) fut édifié en moins d'une année grâce à la prouesse technologique du moment [Belmaaziz, 2003]



**Figure I- 5 : Crystal palace, 1851**

[Source : [www.ge35.dial.pipex.com](http://www.ge35.dial.pipex.com) ; [www.commons.wikimedia.org](http://www.commons.wikimedia.org) ; 2009]

A cette époque, les constructions mêlant le fer et le verre étaient rares. On utilisait plutôt le fer et la brique. Le verre quant à lui ne servait qu'aux fenêtres ou aux coupoles pour assurer un éclairage minimum. Avant 1850, les seules constructions en verre sont les serres. Celles-ci ont connu un réel succès auprès des classes aisées à partir de 1820 et jusqu'en 1870 [Bryn 1995]. Parmi les nombreuses serres édifiées durant cette période citons l'exemple de la serre « Palm House » (Figure I-6) construite par l'ingénieur anglais Richard Turner en collaboration avec l'architecte Decimus Berton entre 1846 et 1848 à Kew dans la banlieue de Londres [Hix 1974]. Il est important de préciser au passage que John Claudius Loudon, botaniste anglais, eu une grande influence sur le développement des serres. Il préconisa l'utilisation du verre et du fer pour leurs constructions. Il fut l'auteur de plusieurs études sur les différentes options techniques à mettre en œuvre pour optimiser l'utilisation des serres en verre comme par exemple la pente du vitrage et l'orientation à utiliser ainsi que les systèmes de chauffage et de contrôle solaire à adopter.

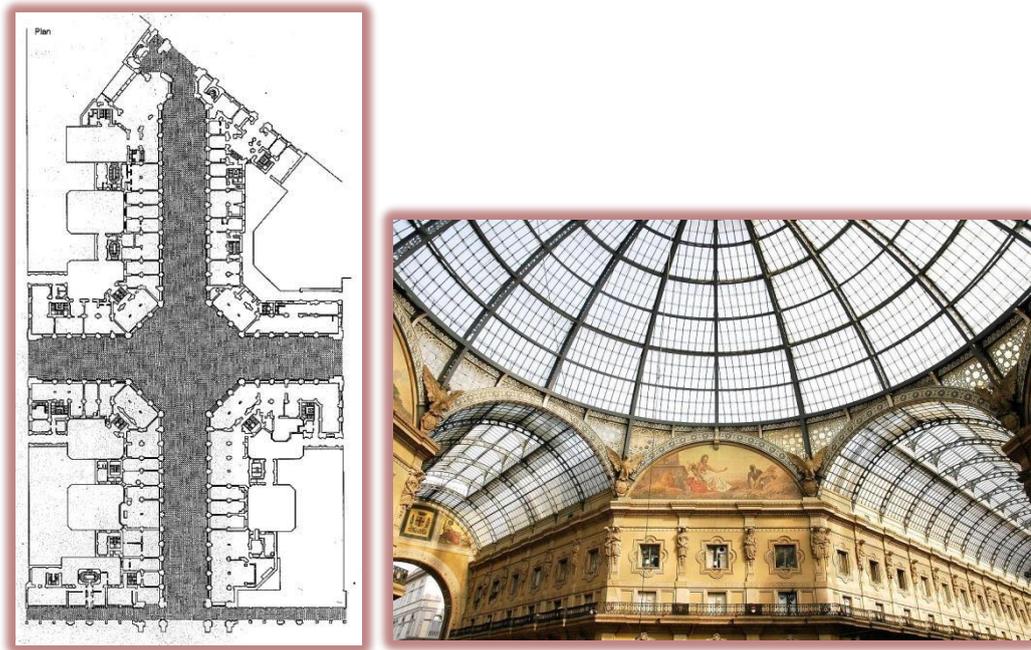


**Figure I- 6 : la Palm House (serre à palmiers) à Kew, 1848**

[Source: [www.y2u.co.uk](http://www.y2u.co.uk) ; [www.golondon.about.com](http://www.golondon.about.com) ; 2009]

Le Cristal Palace fut étroitement lié aux modes de construction des serres, qui sont considérées comme des édifices précurseurs de l'architecture de verre. D'ailleurs, Paxton, qui n'était pas architecte de formation, a dû puiser dans son expérience antérieure, acquise en construisant des serres en verre, pour déterminer les grands traits de ce bâtiment. En effet, de taille plus grande que les serres, il s'en était fortement inspiré puisque son ossature en fer supportait les panneaux vitrés. Cela permettait d'introduire la lumière naturelle en l'absence de l'éclairage électrique. Les préoccupations liées à la ventilation furent aussi intégrées dans la conception. Pour ce faire, Paxton prévint des panneaux en verre coulissants et d'autres pouvant se soulever afin de permettre le renouvellement d'air.

Ce bâtiment, à la fois imposant par sa taille et léger de par les matériaux employés, marqua de son empreinte les édifices de l'époque. Son architecture révolutionnaire est indéniablement le signe d'un renouveau architectural. Bien d'autres réalisations dans d'autres pays seront conçues par la suite en adoptant des techniques de construction semblables. La gare de Kings Cross station (1854), la bibliothèque nationale de Paris (1868) et la gare d'Orsay (1900) sont autant d'exemples qui en témoignent. C'est aussi le cas des passages couverts (ou galeries couvertes) qui existaient bien avant la construction du Cristal Palace comme la galerie d'Orléans (1829) [Geist 1989] même s'il faut reconnaître que le succès de ces espaces tenait aux verrières. Les galeries connurent une importante évolution des dimensions spatiales et une tendance au surdimensionnement à l'exemple de la Galleria Vittorio Emanuele (1867) construite à Milan par Giuseppe Mengoni. Le gigantisme de cette galerie force l'admiration. En effet, cet édifice se présente sous la forme de deux galeries qui se croisent dont la hauteur sous verrière est de 29 m. Un dôme de 39 m de diamètre et de 42 m de hauteur couvre la place octogonale formée par leur intersection (Figure I-7).



**Figure I- 7 : Galleria Vittorio Emanuele, 1867**

[Source: [www.fr.locr.com](http://www.fr.locr.com) ; 2009]

Après une importante évolution au XIX<sup>ème</sup> siècle (période victorienne), les passages couverts connurent leur déclin au début du XX<sup>ème</sup> siècle. En effet, ce concept architectural ne répondait plus aux nouvelles conditions économiques, techniques et sociales. A ce sujet Geist écrit :

*« Le passage connaît avant la Première Guerre mondiale une mort quasiment officielle. Aucune police des bâtiments ne l'accepterait plus sous la forme du XIX<sup>ème</sup> siècle - j'en ai moi-même fait une fois l'expérience -, aucun capitaine des pompiers ne pourrait un seul instant oublier ses catégories si patiemment élaborées - caissons coupe-feu, dégagement de fumée et cage d'escalier pare-feu - au vu d'un tel passage, aucune inspection des bâtiments ne permettait une exploitation de ce genre. Le passage a quelque chose de suspect, qui ne peut être défini dans aucun arrêté, que l'on ne retrouve plus dans aucune directive. Il n peut donc tout simplement plus exister. » [Geist 1989]*

Nous quittons à présent cette brève histoire de l'évolution des passages pour nous intéresser à l'atrium qui est un autre archétype de l'espace vitré de grande dimension. Au-delà de leur raison commerciale, les passages couverts ont suscité un imaginaire social qui a alimenté des utopies sociales. C'est le cas du « phalanstère », forme de passage destiné exclusivement à l'habitation, imaginé par Fourier. Resté utopique, ce concept séduira plus tard l'industriel Godin pour réaliser le « familistère » (construit entre 1859 à 1883) qui lui est une forme d'habitat social de moindre taille destiné à des ouvriers.

Notons qu'à l'époque l'industrie massive a conduit à la surpopulation des villes par l'émergence d'une classe ouvrière qu'il fallait loger. Si nous avons choisi volontairement de présenter cet édifice parmi d'autres programmes qui transposent le concept du passage c'est parce qu'en plus de cela ce bâtiment comporte une autre variante de l'espace zénithalement vitré qu'il est important de mettre au jour. Il s'agit d'un atrium central au sens strict du terme. En effet, cet édifice d'habitation unitaire se compose de trois parallélogrammes reliés par des passages. Identiques d'aspect, ces ailes sont construites autour de trois cours totalement vitrées de 40 x 17 m comme le montre la figure suivante (Figure I-8).

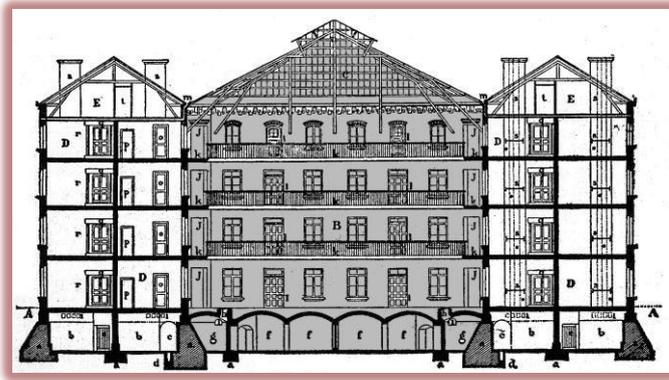


Figure I- 8 : Familistère 1883, coupe sur l'une des cours

[Source : Geist 1989]

A l'image de la cour du familistère que nous venons de voir, le « Bradbury Building » construit en 1893 par George Wyman à Los Angeles est un autre exemple de bâtiments connus comportant une cour vitrée (atrium central totalement vitré) édifié au XIXème siècle (Figure I-9). Des cages d'escalier et deux ascenseurs desservent des coursives se trouvant à chaque étage et parcourant tous les côtés de l'atrium. Ce système de desserte permet d'animer la cour intérieure de cet immeuble de bureaux qui, à l'époque de sa construction, était considéré comme un édifice d'avant-garde.



**Figure I- 9 : Bradbury Building, 1893**

[Source: [www.centercitybrassquintet.com](http://www.centercitybrassquintet.com) ; 2009]

Il existe sans doute d'autres édifices à atrium, comme le montrent les hôtels construits au XIX<sup>ème</sup>, mais il n'est pas possible dans le cadre de cet aperçu historique de tous les énumérer. Pour cela, nous nous sommes penchés sur quelques exemples parmi les plus connus et qui existent toujours, pour signaler l'existence, à cette époque, de la cour vitrée, ancêtre de l'atrium tel que nous rencontrons aujourd'hui.

Comme les passages couverts et les serres, les atriums tombent dans l'abandon à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle. Cependant, il est important de préciser que certains architectes modernes renouent avec le thème de l'atrium au XX<sup>ème</sup> siècle à l'exemple de Wright qui en 1906 construit le « Larkin Building ». Plus tard, en 1936, il édifie le « Wax Headquarters », un autre bâtiment comportant un atrium. Enfin, le musée Guggenheim terminé en 1959, est l'une des dernières œuvres majeures de Wright comportant un atrium (Figure I-10).



**Figure I- 10 : à gauche le Larkin Building, 1906, à droite le musée de Guggenheim à New York, 1959**

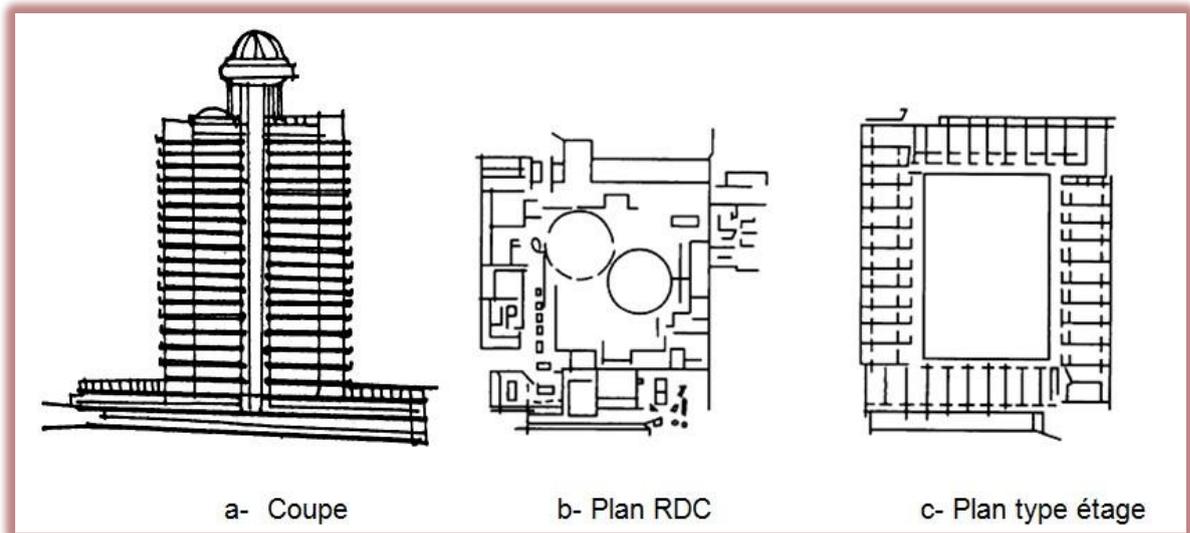
[Belmaaziz, 2003]

### I.2.2. L'atrium moderne:

Après une période de déclin, les espaces zénithalement vitrés de grande dimension, tels que nous les connaissons aujourd'hui, réapparaissent dans les années 60 et 70 aux Etats- Unis et un peu plus tard dans les années 80 en Europe, même si dans certains pays nordiques ils firent leur apparition un peu plus tôt [Wall 1996]. De nombreux projets et réalisations, selon leurs fonctions et leurs programmes, renouent avec les espaces vitrés du XIXème siècle. De nos jours, ces espaces sont incorporés dans divers bâtiments tels que les hôtels, les hôpitaux, les centres commerciaux, les immeubles de bureaux et les bâtiments publics. Le concept de la galerie et de la cour vitrée ou plus généralement de l'espace vitré de grande dimension est réapproprié par les architectes qui en font un élément autour duquel s'articule le projet. En plus de leur vocation classique de lieu d'image, ils deviennent des espaces fonctionnels qui permettent à la fois la desserte de l'édifice, les échanges et la communication. L'engouement des architectes et des maîtres d'ouvrage pour les espaces largement vitrés s'explique par la valeur ajoutée que peut apporter un tel espace à l'édifice. L'identité architecturale, l'effet de transparence entre l'intérieur et l'extérieur et la présence de la lumière naturelle sont autant d'éléments positifs qui concourent au prestige d'un bâtiment. s'il est bien conçu ce dernier sera apprécié par les usagers et donc se vendra et se louera mieux [Lomas 1994]. Toutefois, il convient de noter que les concepteurs n'intègrent pas les grands espaces vitrés uniquement dans les nouveaux espaces bâtis. Ils les incorporent aussi dans de vieux édifices pour relier deux bâtiments ou bien encore transformer l'aspect intérieur pour lui donner une nouvelle fonction.

Les premiers bâtiments influents les bâtiments à atrium dans cette nouvelle période sont le Hyatt Regency Montréal. Atlanta par Edwards et Portman et la Fondation Ford Siège. New York par Roche et Dinkeloo. Le Hyatt Regency est un atrium le long de l'immeuble éclairé par un puits de lumière avec des clerestory vitrés (Figure I-11). L'atrium caractérisé par un vaste espace paysager avec de l'eau. Des plantations et des oiseaux, ce qui reflète la station de la nature. Avec des galeries pour les chambres d'hôtel autour de l'atrium. L'euphorie 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 de l'hôtel offre une occasion de créer un hôtel de clôture encore grandeur intérieure avec des points de vue stimulant et dynamique. Le succès de cet hôtel atrium est devenu

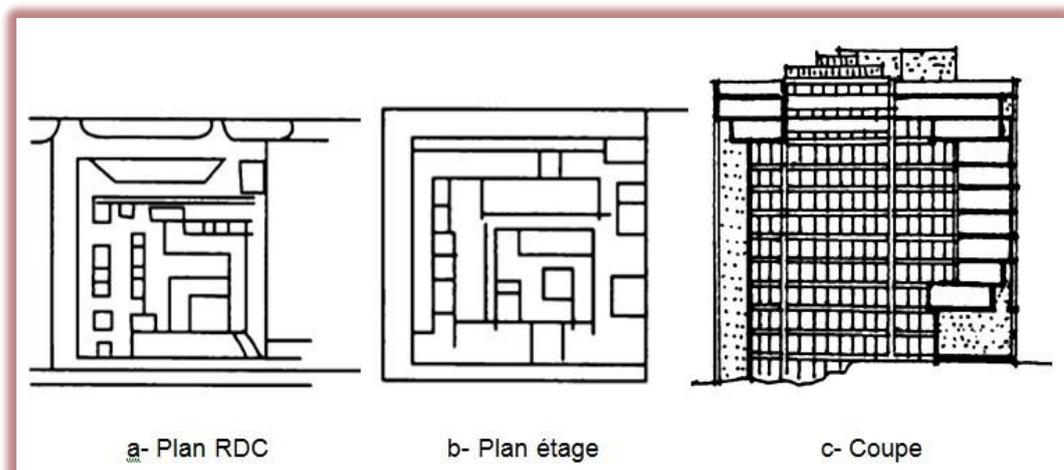
plus tard la norme de prestige pour tous les hôtels de luxe [Bednar. 1986] [Hamdan, Rasdi, 2002].



**Figure I- 11 : Hyatt Regency Hotel, Atlanta by John Portman**

[Hamdan, Rasdi, 2002].

En revanche, la fonction de l'atrium en immeuble de bureaux peut être plus ouvert et se fondre dans le contexte urbain. Par exemple, la Fondation Ford à immeuble avec l'atrium de bureaux à l'angle du plan, agit comme une transition entre l'ambiance de l'atrium et l'environnement urbain, en l'occurrence le parc public menant à la ville dans le quelle l'atrium devient une extension de parc public (Figure I-12).



**Figure I- 12 : le Ford Foundation headquarters building, New York, par Roche et Dinkeloo**

[Hamdan, Rasdi, 2002].

### I.2.3. Définition de l'atrium moderne:

Il est important de noter que, contrairement à l'intérêt environnemental des atriums traditionnels, la relance du nouvel atrium maintenant favorisée principalement pour ses qualités de commande de l'espace et ces expressions dynamiques. Ainsi, il mène Bednar (1986) à une définition de nouveau atrium comme centroïde, intérieure. L'espace de 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 qui dépendant à la haute technologie sont désormais remplacés par les atriums à plus passifs et basse énergie. Les fonctions traditionnelles de l'atrium l'éclairage naturel, chauffage et refroidissement passif est exploité avec sa qualité de son organisation spatiale. Le bénéfice de l'énergie des atriums est 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 bien conçu et compris [Baker, 1992] [Hamdan, Rasdi, 2002].

. L'application directe de la solution tempérée d'atrium pour les climats chauds est l'une des exemples qui doivent être étudiés. Les Atriums selon Baker, est devenue l'espace intermédiaire, sans climatisation, ventilation naturelle et lumière de jour doivent être sélectif à l'environnement externe, plutôt que exclusive (Baker, 1992). Cette définition peut être étendue pour inclure des conservatoires "qui agissent comme intermédiaires entre l'espace située en dehors de climat et d'un environnement plus contrôlé interne» [Hamdan, Rasdi, 2002]. Ces espaces intermédiaire définis ci-dessus, qui favoriser également l'admission de la chaleur solaire utile, ont été appelés «sunspaces».

En Angleterre, par exemple l'utilisation de «sunspaces» peut être vue dans la conception de Terry Farrell (Figure I-13), et les Hampshire Country Architects (Figure I-14).

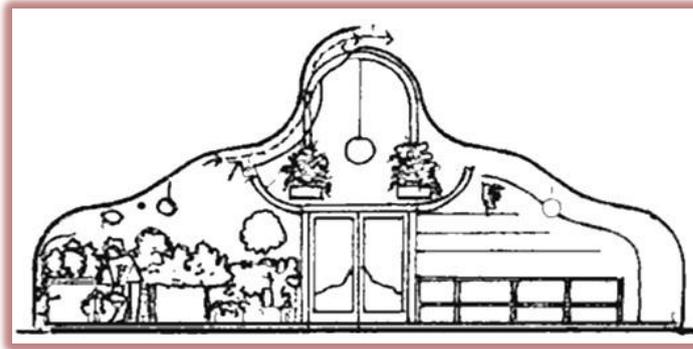


Figure I- 13 : Coupe sur le sunspace de Cilfton Nurseries par Terry Farrell [Hamdan, Rasdi, 2002]

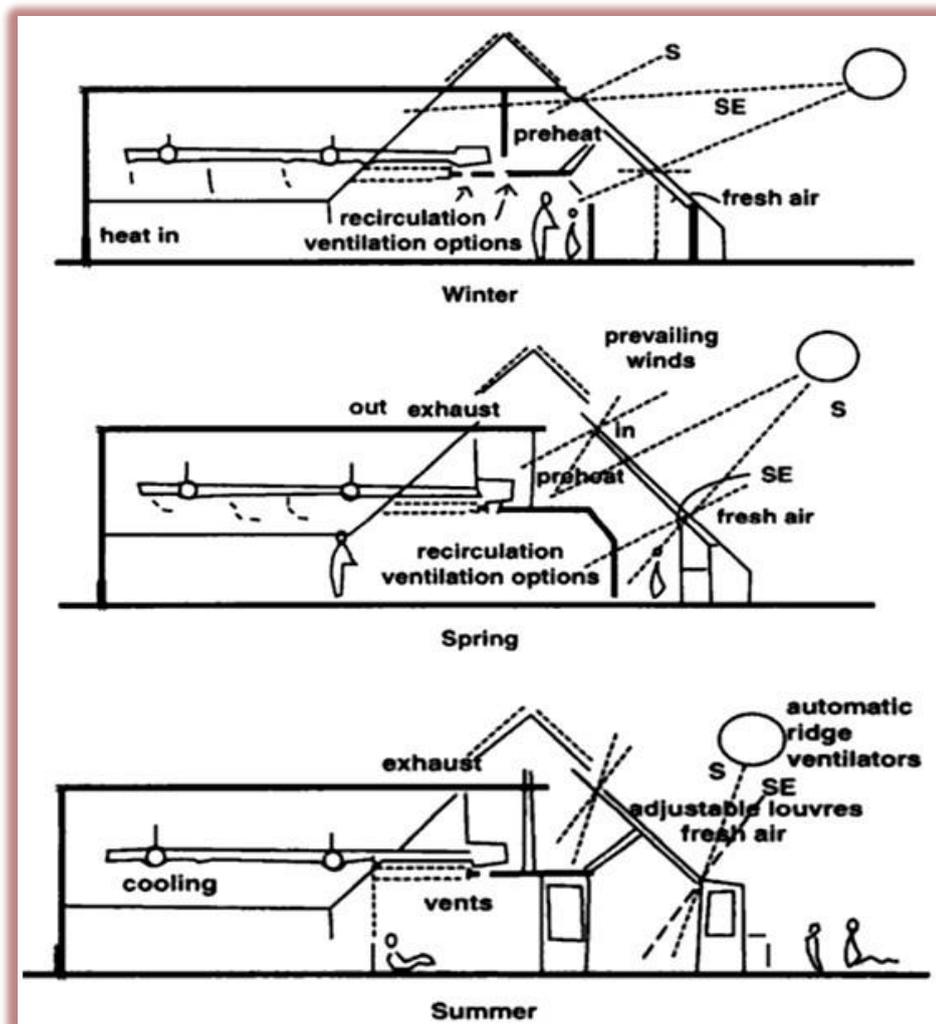


Figure I- 14 : Netley Infant School par Comté d'architectes Hampshir utilisant un conservatoire pour le chauffage passif pendant l'hiver, et équipés de lames réglables direct pour éviter la lumière du soleil dans l'espace pendant l'été.

[Hamdan, Rasdi, 2002].

### **I.3. Typologie morphologique des atriums :**

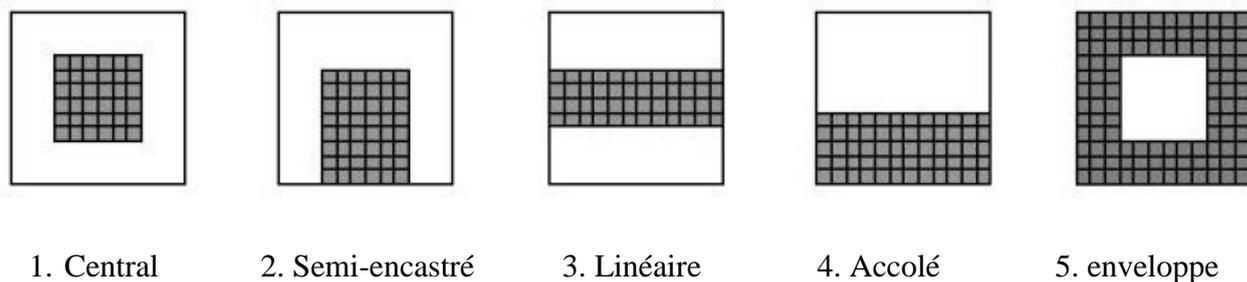
Après avoir survolé l'évolution des espaces vitrés à travers l'histoire, il convient à présent de s'intéresser de plus près aux aspects formels qui les caractérisent. Sous quelles formes existent-ils aujourd'hui ? Existe-il une typologie classifiant ces espaces ? Quels sont les aspects formels qui peuvent nous permettre de classifier la panoplie d'espaces de ce genre ? Telles sont les questions auxquelles nous nous attelons à répondre dans ce qui suit.

Toutefois, avant d'entreprendre cette analyse typo-morphologique, il est important de préciser qu'actuellement les espaces vitrés de grandes dimensions sont généralement désignés par le terme « atrium ». Si dans l'architecture romaine ce terme désignait une cour centrale ouverte vers le ciel [Bednar 1986], dans l'architecture contemporaine il renvoie plutôt à un espace central recouvert par un vitrage. Mais le terme est aussi repris pour qualifier d'autres espaces largement vitrés. Pour éviter toute confusion et parce que le terme « espace largement vitré » nous semble trop général, nous utiliserons dorénavant le terme « atrium » tel qu'il est employé aujourd'hui en le qualifiant selon la morphologie de l'espace.

#### **I.3.1. Les typologies existantes :**

Plus qu'un simple vide inscrit dans le bâtiment, à la manière d'un espace résiduel, l'atrium développe une véritable typologie : sa volumétrie le plus souvent pure et son ossature ainsi que sa forme développent une autre échelle du projet ; ce n'est donc pas un vide mais une architecture propre. Certains le conçoivent comme un vide habité.

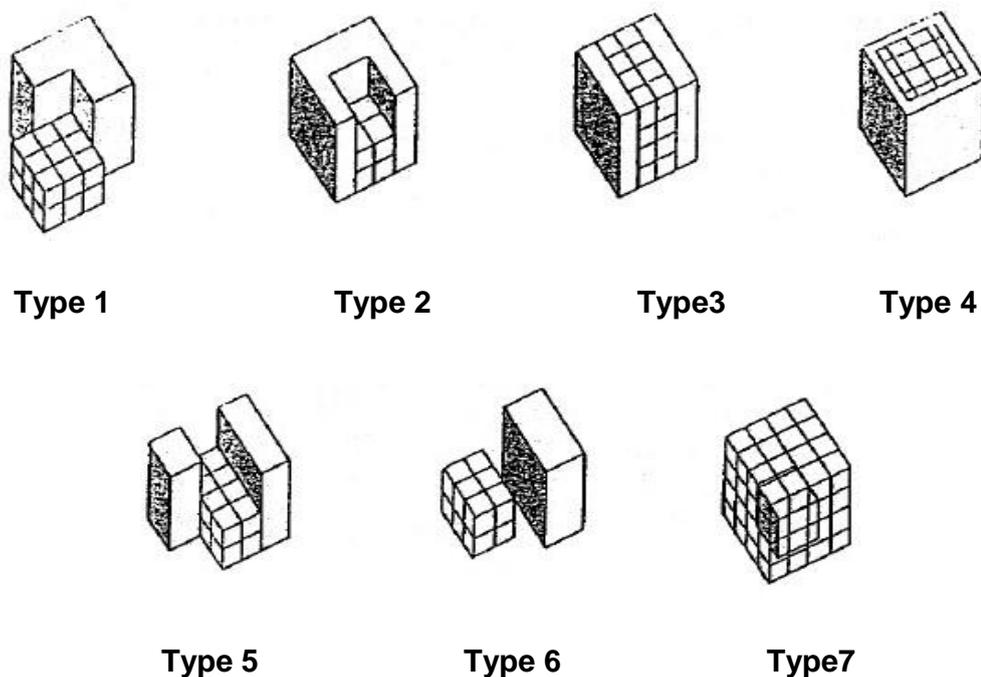
La conception de tels lieux est sujette à la créativité de l'architecte qui souvent veut en faire l'élément autour duquel s'articulent d'autres parties du projet. Cette créativité obéit elle-même à des contraintes liées à des considérations externes comme la forme urbaine, à des exigences du programme architectural (fonction du bâtiment, circulation, desserte, etc.) ou bien aussi à des préoccupations énergétiques ou lumineuses. C'est ce qui explique le fait que l'atrium existe sous une multitude de formes. Compte tenu de cette diversité, il est cependant possible de classifier les formes les unes par rapport aux autres. De nombreuses études menées dans ce sens fournissent les différentes formes sous lesquelles on peut retrouver ces espaces [Kainlauri 1987, Robertson 1991, Scudo et al. 1993, Bryn 1995]. La figure suivante résume les typologies généralement rencontrées.



**Figure I- 15 : typologie générale des atriums**

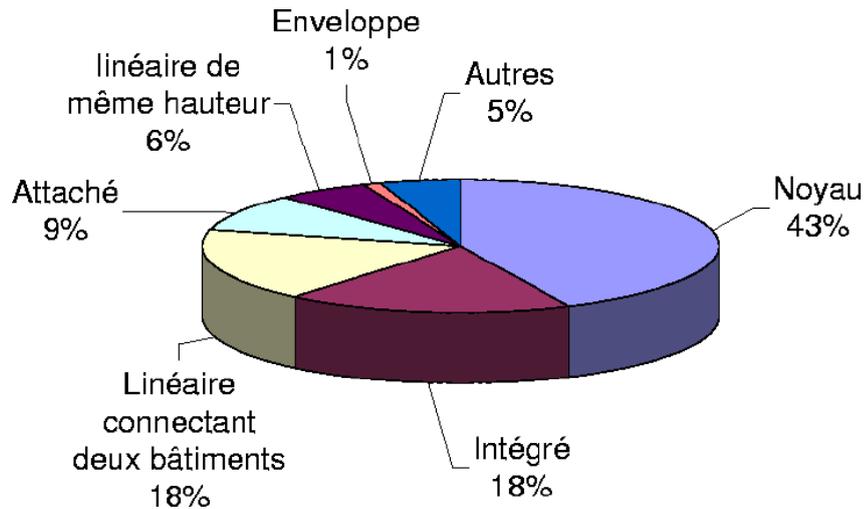
[Belmaaziz, 2003]

Hormis cette classification, qui est essentiellement basée sur l'emplacement de l'atrium par rapport au bâtiment, une typologie plus exhaustive a été établie par Yoshino [Yoshino et al. 1995] à partir d'une étude statistique sur environ deux cents atriums construits au Japon. Ce recensement (effectué en se servant de revues d'architecture) a permis à l'auteur de classer les atriums non seulement en tenant compte du positionnement du volume vitré mais aussi de ses proportions (Figure I-16).



**Figure I- 16 : classification établie par Yoshino**

[Yoshino, 1995]



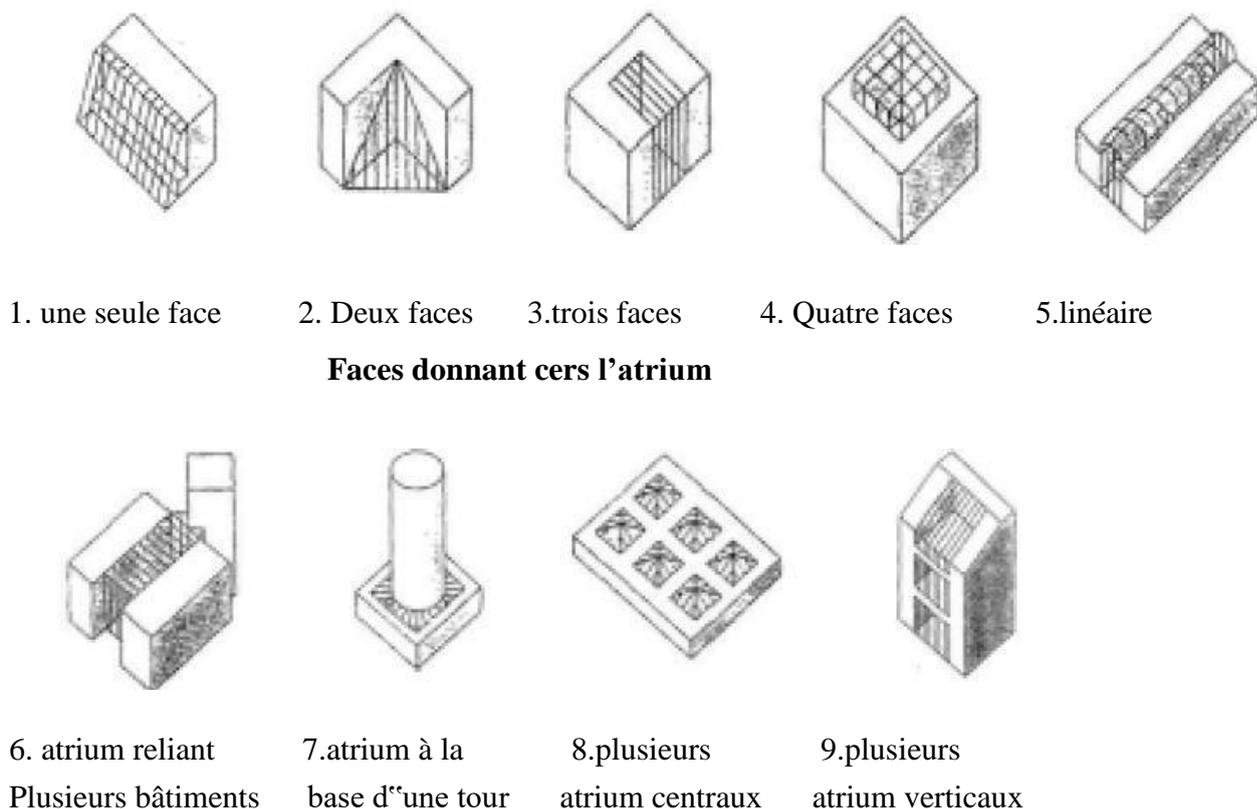
**Figure I- 17 : Type des atriums d'après une étude japonaise sur 200 bâtiments à atrium**

[Yoshine et al.1995]

En comparant cette typologie avec celle plus générale présentée plus haut nous pouvons remarquer l'apparition de trois nouveaux types d'atriums (types 1,5 et 6). Le type 1 peut être considéré comme intermédiaire entre l'atrium accolé et encastré. Le type 5 se présente comme une variante du type accolé bien qu'il soit à la fois linéaire et liant deux parties distinctes d'un même bâtiment. Enfin, le type 6 est un volume totalement vitré et indépendant. Ce dernier ne représente qu'un très faible pourcentage par rapport aux autres atriums. A ce sujet, l'auteur précise que le type le plus fréquemment rencontré est l'atrium central (43,5 %). A l'opposé, le type 7 présente un pourcentage insignifiant par rapport aux autres types. En effet, rares sont les concepteurs s'aventurant à envelopper le bâtiment d'un grand espace totalement vitré surtout lorsqu'il s'agit de climats chauds.

Dans une perspective analogue, une autre étude a été entreprise au Royaume-Uni portant sur environ deux milles atriums construits [Lomas et al. 1994]. Pour classifier l'ensemble des atriums inventoriés, les auteurs s'appuient sur la typologie établie par Saxon [Saxon 1983]. Ce dernier dresse un éventail des formes spatiales d'atriums qu'il classe selon onze catégories (Figure I-18). Parmi celles-ci, certaines peuvent plus être considérées comme des variantes de configurations de base. A titre d'exemple, l'atrium linéaire ouvert des deux côtés (type 5) peut être assimilé à l'atrium du type 6 qui lui aussi est linéaire même s'il est destiné à faire la jonction entre plusieurs bâtiments. Les deux types appartiennent à une même famille, celle des atriums linéaires.

De la même manière, le type 8 composé de plusieurs atriums centraux est une variante de l'atrium centrale du type 4.1.une seule face.



**Figure I- 18 : typologie des atriums établie par Saxon**

Les auteurs précisent, qu'en tenant compte de cette typologie, les atriums étudiés peuvent être classifiés selon quatre grandes tendances. Le premier genre compte les atriums centraux (type 4). Dans ce cas, quatre faces du bâtiment sont ouvertes vers l'atrium. Le second comprend les atriums adossés au bâtiment (type 1). Le troisième couvre les atriums encastrés dont trois faces du bâtiment donnent vers l'atrium (type 3).

Enfin, le dernier genre regroupe toutes sortes d'atriums linéaires (type 5).

**I.3.2.Proposition d'une typologie :**

Les typologies que nous avons présentées, aussi différentes soient-elles, montrent la diversité des formes architecturales sous lesquelles un atrium peut exister. La démarche qui consiste à répertorier toutes les formes d'atriums construits et les classifier a le mérite d'être exhaustive puisqu'elle fait de chaque forme une classe à part entière.,

Cependant cela risque d'aboutir à une classification compliquée. De plus, l'apparition de nouveaux atriums pouvant recouvrir toutes les formes possibles et imaginables peut très vite rendre cette approche difficilement contrôlable. De notre point de vue, les formes si diverses soient-elles, appartiennent toutes à des archétypes de base qu'il est essentiel de définir. Toute nouvelle forme serait dans ce cas à classer, de par sa tendance de conception, selon l'archétype dont elle se rapproche le plus. Pour cela nous proposons dans ce qui suit de définir une typologie de base qui sert à classer toutes les formes rencontrées.

La typologie morphologique (non liée à la taille) des atriums peut être faite à partir de deux critères :

- le positionnement par rapport au volume habité
- la proportion des dimensions de son volume intérieur

#### I.3.2.1. Critères de positionnement :

Bâtir une typologie des atriums revient à recenser les différents cas d'atriums que l'on peut rencontrer dans l'architecture. Une possibilité réside dans une exploration allant de l'extérieur vers l'intérieur des bâtiments, ce qui a le mérite de faire varier l'intérêt fonctionnel de l'atrium ainsi que la manière dont il se présente pour un visiteur : « attribut de façade » ou « volume intérieur ». Ce critère de positionnement va également régler le nombre de faces vitrées en contact direct avec l'extérieur.

Dans cette voie, on peut donc imaginer trois types fondamentaux d'atriums, à l'instar de ce qui avait été fait pour la typologie des serres et vérandas, la différence principale étant de l'ordre de la taille :

- Les atriums « accolés » (aux bâtiments)
- Les atriums « semi-encastés » (dans les bâtiments)
- Les atriums « encastrés » (dans les bâtiments)

Le critère de positionnement par rapport au bâtiment a nécessairement une influence sur la fonctionnalité de l'atrium :

- Les atriums « accolés » servent à marquer et/ou protéger l'entrée d'un bâtiment (fonction de « sas »), ou à couvrir une extension de ce bâtiment (comme une sorte de protubérance).



**Figure I- 19 : exemples d'atriums accolés : ils présentent 3 à 4 faces vitrées extérieures**

[Belmaaziz, 2003]

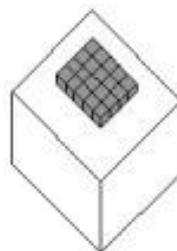
- Les atriums « semi-encastés » peuvent avoir la même fonction, à laquelle on peut ajouter celle de la desserte interne puisqu'il y a pénétration de ce volume dans celui du bâtiment.



**Figure I- 20 : exemple d'atriums semi-encastés : ils ont 1 à 2 faces vitrées extérieures, à dominante verticale**

[Belmaaziz, 2003]

- Les atriums « encastrés » servent avant tout de desserte interne, la fonction d'accès se faisant alors par le bâtiment lui-même qui entoure le volume de l'atrium. On peut citer aussi pour ce type, la création d'une fonction de « centralité » du bâtiment, lieu de rencontre privilégié.



**Figure I- 21 : exemple d'atrium encastré : une seule face vitrée horizontale (ou à composante horizontale dominante)**

[Belmaaziz, 2003]

### I.3.2.2. Critères de proportion :

Pour un positionnement donné, un atrium peut revêtir diverses formes, qui se traduisent par des rapports de proportion entre ses dimensions : longueur, largeur (profondeur), hauteur.

La pertinence de ce critère se mesure essentiellement au plan thermique : la compacité, par exemple, est une caractéristique importante pour les échanges thermiques.

De ce point de vue, on se limitera à deux cas :

- L'atrium « ponctuel », dont aucune dimension n'est prédominante
- L'atrium « linéaire », dont une dimension, en général la longueur, est nettement plus importante que les autres.



Figure I- 22 : atrium ponctuel (à gauche), atrium linéaire (à droite)

[Belmaaziz, 2003]

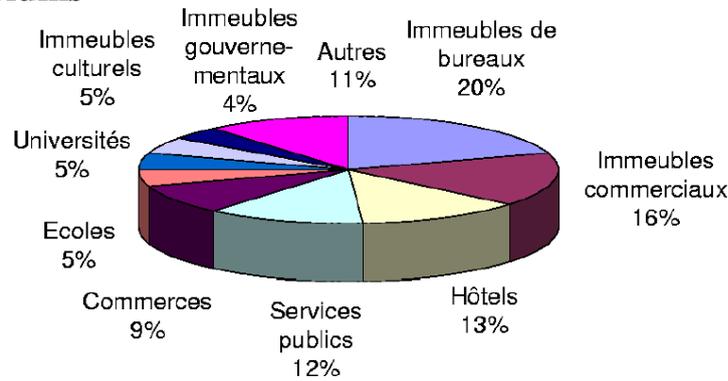
### I.3.2.3. Combinaison des deux critères :

Par combinaison des deux critères, on pourra donc avoir affaire à la typologie complète suivante :

- Les atriums « accolés ponctuels »
- Les atriums « accolés linéaires »
- Les atriums « semi-encastés ponctuels »
- Les atriums « encastrés ponctuels »
- Les atriums « encastrés linéaires »

Le cas « atrium semi-encasté linéaire » n'est pas retenu, car il devient assimilable à un atrium « accolé linéaire ».

## 1.4. destination des atriiums



**Figure I- 23 : Type d'activité des immeubles à atrium au Japon, d'après l'étude japonaise de Yoshino (1995) sur 200 bâtiments à atrium**

La deuxième étude, menée au Japon, spécifie aussi les secteurs auxquels appartiennent les atriiums recensés. Les immeubles de bureaux occupent la première place (20 %), juste derrière on retrouve les édifices commerciaux (16 %), ensuite les hôtels (13 %) et les bâtiments publics (12 %). Cette étude est plus exhaustive que la première car elle va jusqu'à spécifier la vocation de l'atrium par rapport au bâtiment. La majorité des atriiums est exploitée en tant que hall d'entrée au bâtiment (40 %). 25 % d'entre eux jouent le rôle de place intérieure alors qu'à peu près 20 % sont des lieux de détente. Les atriiums restants jouent le rôle de passage, de galerie ainsi que d'autres rôles qui ne sont pas spécifiés (Figure I-26).

Pour conclure, ces deux études, même si elles ne concernent seulement que deux pays, tendent à montrer qu'en général les immeubles de bureaux ainsi que les bâtiments à forte affluence du public comptent parmi les édifices principaux à intégrer un atrium.

### 1.4.1. Fonction des atriiums :

En plus de la valeur esthétique que génère l'introduction d'un atrium dans un édifice, à quoi sent-il vraiment ? En d'autres termes, quelles sont les raisons qui motivent les architectes à l'introduire comme élément constitutif dans un projet ? Cette question renvoie directement aux fonctions que remplit un tel espace. Elles sont de plusieurs ordres :

#### 1.4.1.1 Sur le plan de l'éclairage naturel :

Il est à première vue évident que l'importante surface vitrée zénithale, qui caractérise un atrium est essentiellement destinée à l'éclairage naturel. Cela est d'autant plus évident quand il s'agit d'un bâtiment de grande épaisseur. Le fait d'ouvrir une partie du bâtiment vers le ciel a l'avantage de désenclaver l'espace qui, sans cela, risque de paraître confiné

En effet, un toit vitré offre au concepteur la possibilité d'éclairer à la fois le volume couvert par la verrière mais aussi les espaces adjacents tel que des bureaux par exemple. Favoriser l'éclairage naturel aux dépens de l'éclairage artificiel à l'avantage aussi de réduire les consommations énergétiques du bâtiment et de produire des effets lumineux différents de ceux que procure une baie verticale. La qualité de la lumière naturelle baignant un espace éclairé par le haut justifie en partie l'intérêt que portent les architectes aux atriums.

#### **1.4.1.2. Sur le plan thermique :**

La couverture vitrée ne permet pas seulement l'éclairage naturel. Le rayonnement solaire qui la traverse fait souvent de l'atrium un espace tempéré puisque sa température d'air est souvent plus chaude qu'à l'extérieur. Cet espace tampon entre l'intérieur et l'extérieur peut devenir la raison principale qui motive le concepteur à introduire un atrium surtout dans les pays nordiques où la saison hivernale est longue et rude. Les usagers, tout en étant à l'abri des intempéries, se trouvent dans des conditions d'ambiance nettement plus confortables qu'à l'extérieur. Dans ces régions, l'atrium joue parfois le rôle d'un système passif de récupération de chaleur qui sert au préchauffage de l'air externe en vue de chauffer les espaces adjacents.

#### **1.4.1.3. Sur un plan subjectif :**

Subjectivement parlant, il est important de noter qu'en fermant l'espace par une verrière le concepteur suggère une intériorité sans la réaliser complètement car dans ce type d'espace on ne vit plus dans un volume véritablement clos. En effet, tous deux réunis, les paramètres objectifs que nous venons de citer, à savoir la lumière naturelle et la température participent à favoriser une sorte de dialectique entre le dedans et le dehors de l'atrium. C'est en termes d'opposition que cette dialectique est la plus sensible et semble séduire les usagers. L'effet d'intériorité se joue aussi en toiture ou à travers les murs pignon. L'utilisation d'une couverture translucide diffuse une lumière homogène et intense qui renforce l'autonomie du lieu. Au contraire, au nom de la transparence une couverture transparente associée parfois à des vues vers l'extérieur permet de refléter les variations climatiques tout en étant à l'abri, ce qui accentue le sentiment « d'entredeux », l'intérieur et l'extérieur

. Ceci est un problème spécifiquement architectural et il appartient au concepteur dompter pour un volume introverti ou au contraire extraverti.

#### **1.4.1.4. Sur le plan fonctionnel :**

Dans un tout autre registre, fonctionnel celui-ci, l'atrium permet un bon fonctionnement interne du bâtiment. En tant qu'élément du projet il est d'une part utilisée pour la desserte. Souvent, c'est ce lieu qui donne accès aux différents locaux. D'autre part, l'atrium peut être exploité comme espace de circulation. Il peut servir uniquement à la circulation au niveau du rez-de-chaussée ou bien dans plusieurs configurations, des coursives et des passerelles desservent les niveaux supérieurs. Dans ce cas, la circulation horizontale est associée à une circulation verticale par des escaliers ou des ascenseurs visibles qui participent à l'animation du volume par le mouvement.

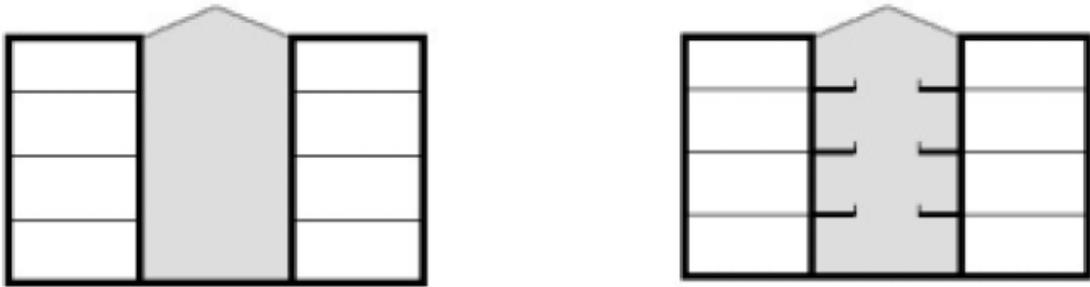
La vocation de l'atrium ne se réduit pas à la circulation et la desserte. Il peut aussi être un lieu d'accueil, de rencontres, de réceptions et d'expositions car le grand volume de l'atrium se prête à l'ouverture au public. Souvent, l'espace est agrémenté de plantes pour renforcer l'hospitalité des lieux. Dans d'autres cas, l'atrium n'a pas de fonction précise si ce n'est l'éclairage naturel. Cela peut être constaté dans certains atriums dont le volume n'est pas accessible.

#### **1.4.2. Organisation interne :**

Les exemples d'atriums construits que nous rencontrons tendent à montrer que la vocation fonctionnelle de l'atrium dans un bâtiment conditionne son organisation interne. Si l'espace est destiné à la circulation au niveau du rez-de-chaussée, l'occupation se réduira au niveau du sol et les espaces adjacents donneront directement vers le vide de l'atrium. Dans ce cas, on peut désigner 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- 27). 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  $C_a = \Sigma.Lh/Sa$ .

$\Sigma.Lh$  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  $m^2$ .



**Figure I- 27 : à gauche, un atrium lisse. A droite, un atrium alvéolaire**

[Belmaaziz, 2003]

Il est cependant possible de rencontrer d'autres variantes de l'atrium lisse ou alvéolaire. Donnons pour exemple un atrium qui comporterait des coursives sur un seul côté. Dans ce cas il peut être considéré comme partiellement alvéolaire ou partiellement lisse. Notons tout de même que les deux tendances univoques de base correspondent tout de même à une majorité d'exemples construits.

### **1.5.La fonction paradoxe de l'atrium:**

Le rôle principal de l'atrium traditionnelles c'est qu'il est un modificateur de climat et un générateur spécial qui donne lieu à un certain nombre d'objectifs secondaires. Par exemple, l'esthétique de ces atriums est utilisé comme un appareil, en projetant l'image de l'entreprise et de statut. Plus tard Les avantages incluent la conservation de bâtiment. Dispositifs de la conception urbaine et de loisirs. Ces différentes raisons de soulever un atrium dans les bâtiments ont contribué a une terminologie contradictoire. Bednar (1986) indication de la confusion des descriptions même du mot « atrium » et « cour » dans des dictionnaires divers. Encore, les différentes approches peut être faire partie de la raison de ce que Baker (1992) et de Saxe (1984) identifient comme plus préoccupant du manque de compréhension lorsque les concepteurs de certains atrium bâtiments ont été interrogés sur les objectifs de contrôle de l'environnement. Ils ont été surpris de trouver certains qui croyaient que l'utilisation d'un atrium entraîneraient automatiquement un bâtiment

Écoénergétique. L'utilisation actuelle des atriums dans les bâtiments modernes de l'Algérie témoigne de ce paradoxe où l'atrium est clairement utilisé comme un dispositif de commande, mais où les conséquences pour l'environnement doivent être examinées plus attentivement. Le coût de l'énergie qui sont engagés dans le maintien d'un environnement acceptable dans ces bâtiments en raison de l'atrium, à peine croire que c'est une modification sensible du climat.

### 1.6.L'alternative des concepts pour le design des atriums :

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-28) illustre ces concepts et les approches qui peuvent être classées en vertu de ces concepts. Sa description d'un "carnivore approche" de la conception de l'atrium. 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, « l'approche herbivore » est plus en accord avec la conception consciente d'énergie, pensée culturelle, historique et à travers des gestes urbains sensible. Par conséquent, l'approche herbivore est responsive à la culture et aux traditions locales de climat.

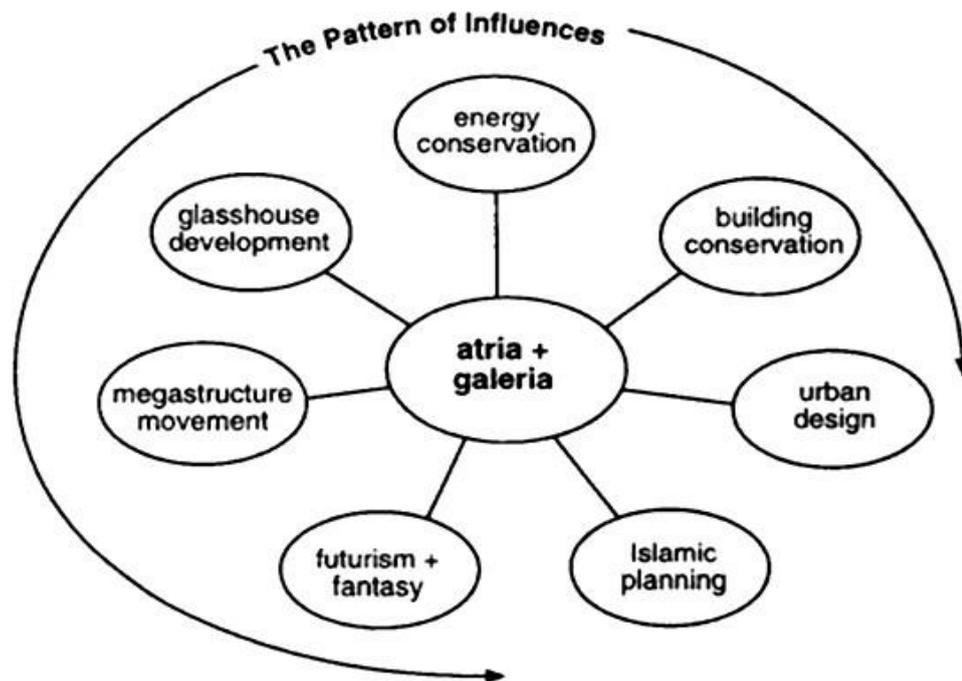


Figure I- 28 : approche de la conception pour la construction à atrium et l'évolution des influences

[Hamdan, Rasdi, 2002].

### 1.7. Conclusion :

Nous avons présenté à travers ce premier chapitre un aperçu historique des espaces vitrés. Sans que l'on puisse prétendre à l'exhaustivité, ce bref résumé nous permet de donner l'essentiel des étapes qui ont jalonné le cheminement qu'ont connu les espaces vitrés de grande dimension jusqu'à devenir les atriums que nous connaissons aujourd'hui. Ensuite, nous avons entrepris une analyse typo-morphologique sur les classifications des différentes formes existantes. Constatant la diversité et la complexité de ces classifications, nous avons proposé d'établir notre propre typologie qui se veut plus simple quant aux critères de classification. Celle-ci est basée sur deux critères architecturaux facilement identifiables qui sont le positionnement par rapport au bâtiment et les proportions de l'atrium. A partir de cette typologie il nous est possible de cataloguer toutes les variantes d'atriums.

Après avoir effectué un tour d'horizon de la représentativité des bâtiments à atrium dans le contexte architectural actuel, les secteurs où ils sont les plus présents et les configurations les plus prisées, nous nous sommes intéressés à mettre en évidence certains aspects qui poussent les architectes à introduire un atrium dans le projet. De notre point de vue, nous considérons que ces aspects sont d'abord liés à la volonté de créer un espace hors du commun de par sa qualité des ambiances et cela à travers :

- La qualité de la lumière naturelle arrivant par la toiture vitrée
- La création d'un espace tampon grâce au climat tempéré qui y règne

Ensuite, il faut tenir compte de la capacité à régler certains problèmes fonctionnels. A ce titre, selon le mode de desserte du bâtiment, cela nous a permis de distinguer deux configurations qui répondent à deux modes de desserte différents. Il s'agit de l'atrium lisse et de l'atrium alvéolaire.

## **Introduction :**

Mises à part les considérations d'ordres formel et fonctionnel, il est important de se pencher sur les aspects liés au comportement thermique qui caractérisent les ambiances dans les atriums. En dépit de ce que peut apporter la toiture vitrée au niveau de l'éclairage, elle est la cause de contraintes thermiques, principalement solaires. En effet, les apports énergétiques solaires sont assez importants lorsque la surface zénithale est grande. Si, comme nous l'avons déjà annoncé, pendant la saison hivernale ces apports sont bénéfiques, parce qu'ils participent au bien être de l'utilisateur, ils peuvent durant la saison estivale être source d'inconfort surtout lorsque l'atrium est localisé sous des latitudes moyennes. Les surchauffes que peut engendrer un atrium sont des phénomènes assez connus de la part des concepteurs et des chercheurs, il suffit de constater le grand nombre de publications qui traite de ce sujet pour se rendre compte que ce problème récurrent reste un souci majeur à ne pas négliger lors de la conception.

A s'intéresser aux ambiances thermiques dans les atriums, nous sommes donc confrontés à l'interdépendance qui existe entre les sollicitations externes et l'intérieur. A ce sujet, il est bien évident que les flux solaires sont, dans le cas d'espace fortement vitré, parmi les sollicitations extérieures principales qui influent sur le confort l'été. En premier lieu, il s'agira dans ce qui suit de mettre au jour les processus par lesquels se produisent les surchauffes en éclaircissant les phénomènes qui y conduisent ainsi que l'interaction entre eux. En deuxième lieu, il sera question d'approcher les phénomènes thermiques spécifiques aux atriums que les concepteurs redoutent tels que la stratification thermique. Compte tenu de la variabilité spatiale et temporelle de ce phénomène, celui-ci sera analysé sous divers aspects. En nous appuyant sur des études déjà menées, notre objectif consistera donc à dégager les paramètres susceptibles d'agir sur ce phénomène.

## **II.1. Spécificités des ambiances thermiques dans les atriums :**

### **II.1.1. Spécificités liées au vitrage : l'effet de serre**

L'effet de serre induit par une surface vitrée est assez connu. Les matériaux dits transparents ou translucides laissent en grande partie traverser le rayonnement solaire incident. C'est le principe du gain solaire tel qu'il existe à travers n'importe quelle surface vitrée. Le rayonnement solaire (de courte longueur d'onde CLO) traverse en partie le vitrage et vient chauffer les matériaux composant les différentes parois (l'enveloppe interne dans le cas d'un atrium) qui l'absorbent.

A leur tour, celles-ci émettent un rayonnement de grande longueur d'onde (GLO). La grande particularité du vitrage est qu'il est imperméable ce type de rayonnement (GLO) émis par les parois ou corps environnants. Ainsi la chaleur ayant pénétré se trouve piégée. Il s'ensuit alors une augmentation de la température ambiante pendant la journée qui peut, si les flux solaires sont importants, conduire à la surchauffe.

Nous pouvons rencontrer ce phénomène dans tout espace vitré soumis à l'ensoleillement. Cependant, dans un atrium, la disposition horizontale du fenêtrage permet en été un ensoleillement des parois bien plus important que lorsqu'il s'agit d'une surface vitrée verticale, ce qui accentue le phénomène d'*effet* de serre. Ajouté à cela, les propriétés du vitrage (transmission, réflexion et absorption) jouent un rôle considérable sur la quantité des flux solaires transmis.

### II.1.1.1. Facteurs 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.

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.

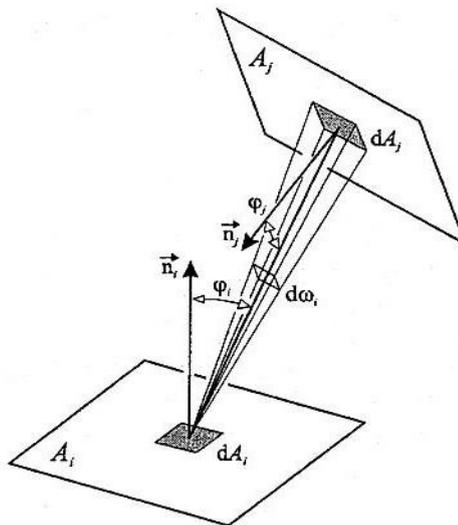


Figure II. 2 : géométrie des facteurs de forme entre deux éléments de surfaces élémentaires.

[Belmaaziz, 2003]

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.

### II.1.2. La stratification des températures 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 segmenté verticalement dans des couches dépendant de son gradient de la température. Elle est maintenant de plus en plus étudiée dans les secteurs tels que le volume d'air interne de bâtiments avec le plafond haut [John Ashley ,2001].

La stratification d'un milieu se produit quand la densité de fluide dans le milieu ambiant est non-uniforme et varie avec la hauteur. Il surgit quand un corps chaud transfère l'énergie dans un milieu fermé faisant monter le fluide chaud, et la stratification du milieu résulte avec le fluide le plus chaud et le plus léger qui recouvre le fluide le plus froid et le plus lourd. Le flux de fluide qui résulte de la perte de chaleur du corps chaud monte au-dessus de lui pendant qu'un écoulement flottable et un recyclage coulent est installé. Si la chaleur est arrêtée, l'écoulement s'arrête avec une variation de température du milieu, avec un fluide plus léger au-dessus d'un fluide plus lourd.

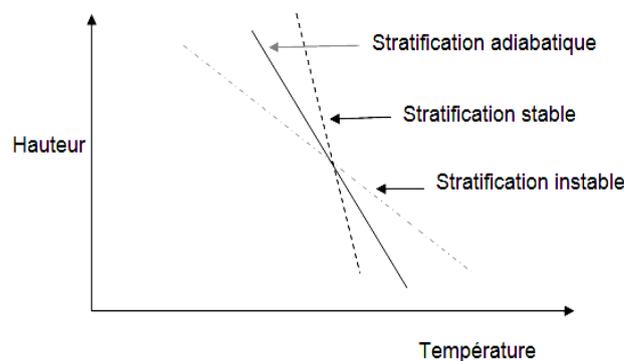


Figure II. 3 : représentation des conditions limites de stratification

[Juluria 1980]

Il y a trois types de stratification comprenant adiabatique, instable et stable. Si la température augmente avec la hauteur ou diminue à un taux moins que le taux adiabatique, alors la stratification stable résulte.

L'état de la stratification adiabatique représente l'équilibre neutre et une diminution de la température plus rapidement que cela a comme conséquence une stratification instable.

La stratification adiabatique se produit quand le milieu est dans un équilibre neutre, et il n'y a aucun changement de température en ce qui concerne 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 pression en ce qui concerne la hauteur. S'il n'y a aucune stratification puis le volume d'air circule jusqu'à ce qu'une température d'équilibre soit atteinte.

La stratification instable se produit si un fluide chaud, plus léger se trouve au-dessous d'un fluide plus froid et plus lourd. La quantité de fluide léger déplace provoque un mouvement d'un fluide convecteur verticalement.

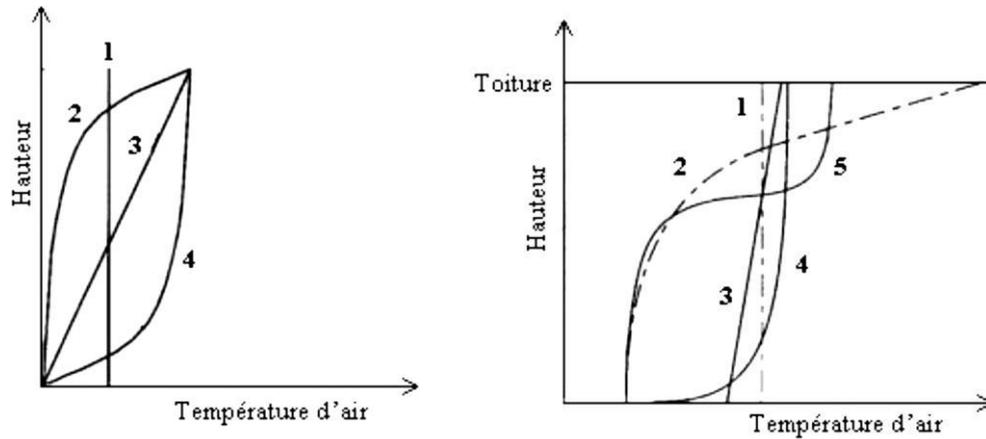
La stratification stable se produit quand le fluide plus chaud et plus léger se trouve au-dessus du fluide plus froid et plus lourd. La densité ( $\rho$ ) du fluide doit diminuer verticalement

(X),  $< 0$ , aussi bien que la diminution comme la température (T) augmente.  $\leq 0$ , ce qui

Est vrai pour la plupart des fluides. Ceci a comme conséquence le rapport de la température (T) augmentant verticalement (x),  $> 0$ . [Juluria 1980] [John Ashley, 2001].

Comme tout grand volume, les atriums sont susceptibles de connaître des champs de températures d'air non homogènes. Généralement cette hétérogénéité se traduit par des variations de températures entre les différentes zones du volume. Plus spécialement, cette variation se manifeste entre les parties inférieures et supérieures de l'atrium. Dans ce cas, il s'agit de stratification thermique verticale. Ce phénomène est de moindre importance dans les locaux classiques. 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 de confort selon l'endroit où l'on se trouve.

On rend compte de la stratification thermique dans un volume à travers le gradient vertical des températures d'air. Celui-ci peut prendre plusieurs allures en fonction de la localisation de la source de chaleur et du système de renouvellement d'air comme le montre la figure suivante :



Heller, 1995

Andersen, 1998

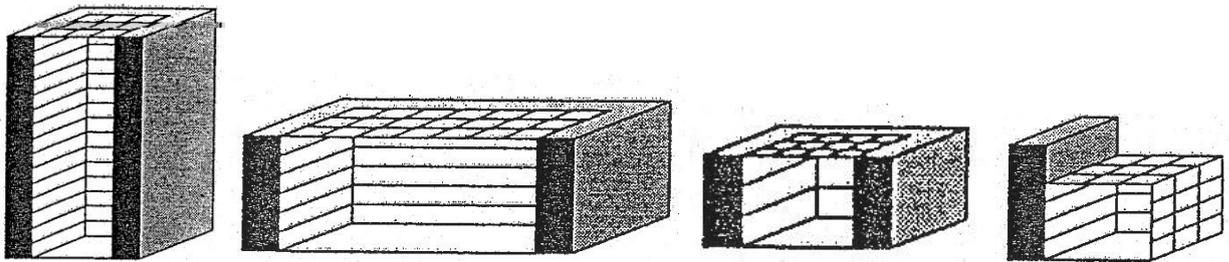
**Figure II. 4: gradient vertical des températures d'air dans différents cas de figure**

Le profil 1 correspond au gradient vertical quand la température du volume est uniforme. Dans ce cas il n'y a pas de stratification. Cette situation théorique peut être approximativement obtenue quand la source de chaleur est uniformément répartie et que l'air dans le local est bien mélangé. Le profil 2 peut être obtenu lorsque la source de chaleur se trouve en partie haute. Dans ce cas les couches d'air chaud restent confinées près de la toiture. Le profil 3 concerne une stratification linéaire dans le cas où la chaleur est uniformément répartie et que le local est soumis à une ventilation par déplacement. Le profil 4 correspond à un gradient vertical qui peut être obtenu lorsque la source de chaleur est localisée en partie basse. Dans ce cas, le profil est convexe ce qui signifie que les températures d'air près du sol sont élevées comparées à celles des couches supérieures. Enfin, le profil 5 mentionné par Andersen peut être obtenu dans le cas où une source de chaleur se trouve à proximité de la toiture ou bien près des parois situées en partie haute.

Comme nous venons de le voir, à part la situation 1 où il n'y a pas de stratification, les quatre situations restantes correspondent aux profils généralement rencontrés dans un local et plus spécialement dans un atrium. Il est cependant nécessaire de s'intéresser de plus près aux gradients thermiques verticaux comme indicateurs thermiques qui caractérisent un atrium en fonction de sa configuration, de la saison, du moment de la journée et l'organisation interne de l'espace.

## II.2. Caractérisation de la stratification thermique :

De nombreuses études consacrées aux atriums traitent de la stratification thermique. Parmi les plus intéressantes, nous avons choisi de présenter l'étude menée au Japon [Yoshino et al. 1995] car elle 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 suivante :



A : 1, 3, 4, 7, 10

B : 6, 11, 12

C : 2, 5, 13

D : 8, 9, 14

Figure II. 5: configurations des atriums étudiées par Yoshino

[Yoshino, 1995]

### II.2.1. La stratification des températures d'air en 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 6). 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.

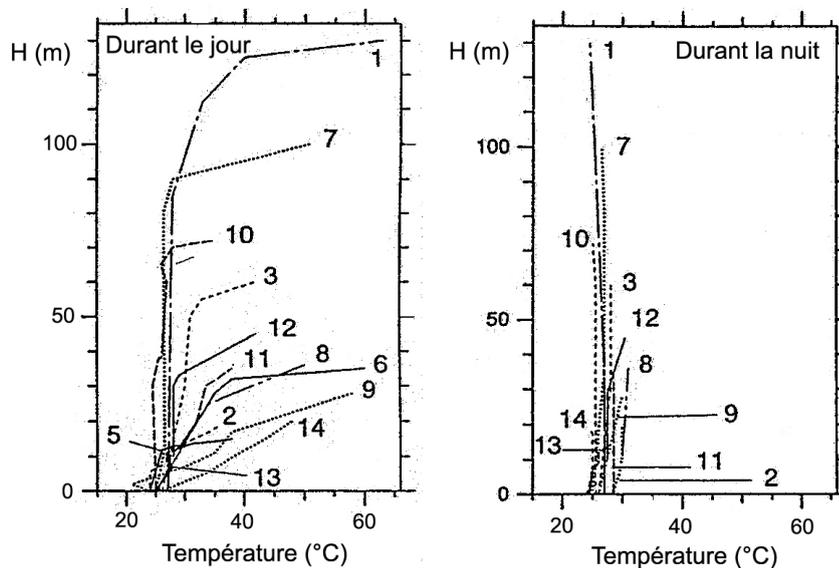


Figure II. 6: gradients verticaux des températures d'air pendant l'été

[Yoshino, 1995]



### II.2.2. La stratification des températures d'air en 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. 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.

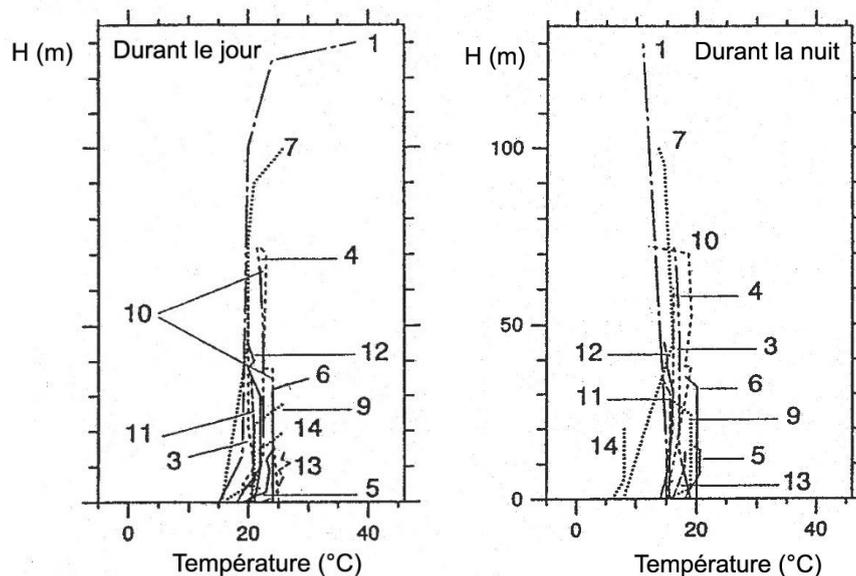


Figure II. 7 : gradients verticaux des températures d'air pendant l'hiver

[Yoshino, 1995]

### II.2.3. Effets des dimensions de l'atrium sur la stratification :

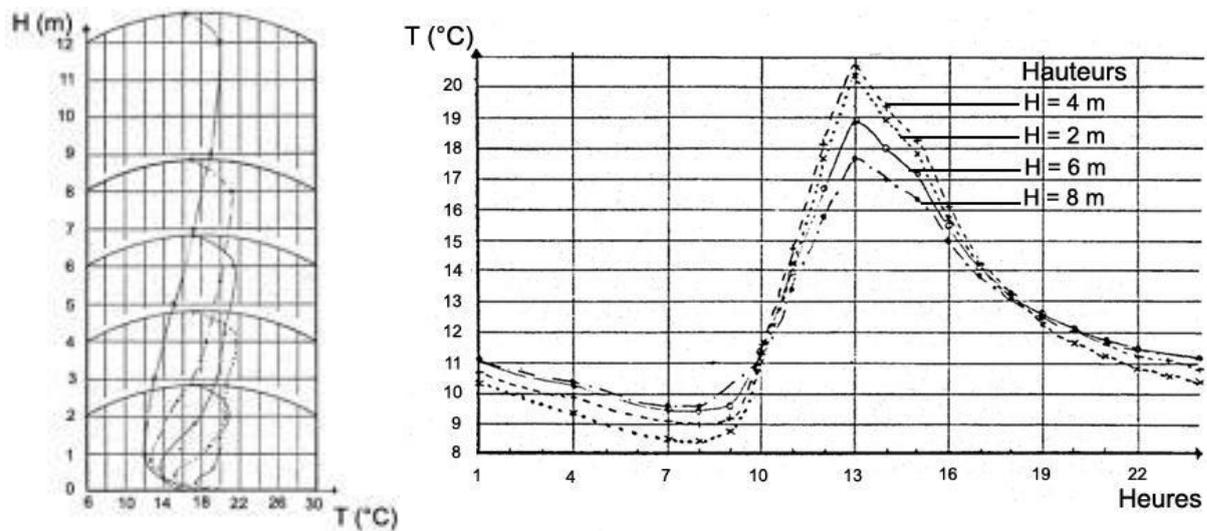
Nous avons vu précédemment que la stratification est tributaire de la configuration de l'atrium surtout durant l'été. Intéressons-nous maintenant aux effets des dimensions de l'espace sur la distribution verticale des températures. Pour cela, nous présenterons deux études différentes effectuées dans ce sens. La première s'intéresse à l'influence de la hauteur sur la stratification. La seconde compare les résultats de deux analyses menées dans deux atriums de largeurs différentes.



### II.2.3.1. Effets de la hauteur :

Les effets de la hauteur sur la stratification ont indirectement été abordés plus haut au travers des différences de hauteurs des volumes analysés. Certes, il s'agissait d'atriums de hauteurs inégales mais les configurations étudiées sont différentes de par leurs géométries. Une étude traitant de ce problème a été entreprise par Crozet [Crozet 1981]. 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.



**Figure II. 8 : à gauche, gradients verticaux pour diverses hauteurs dans la galerie alors que la largeur reste constante. A droite, évolution des températures en fonction de la hauteur**

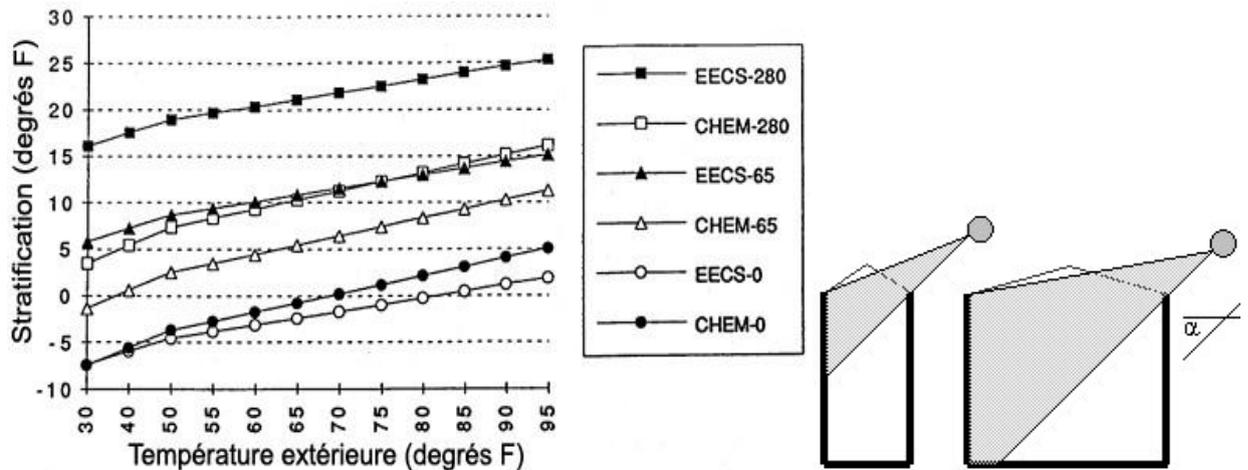
[Crozet, 1981]

### II.2.3.2. Effets 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 m<sup>3</sup>) 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.9), 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.9).



**Figure II. 9:** 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

[Jones, 1993]

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 de 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, d'après les auteurs, une large répartition de la tache solaire ainsi qu'un bon mixage de l'air favorisent probablement un tel comportement.

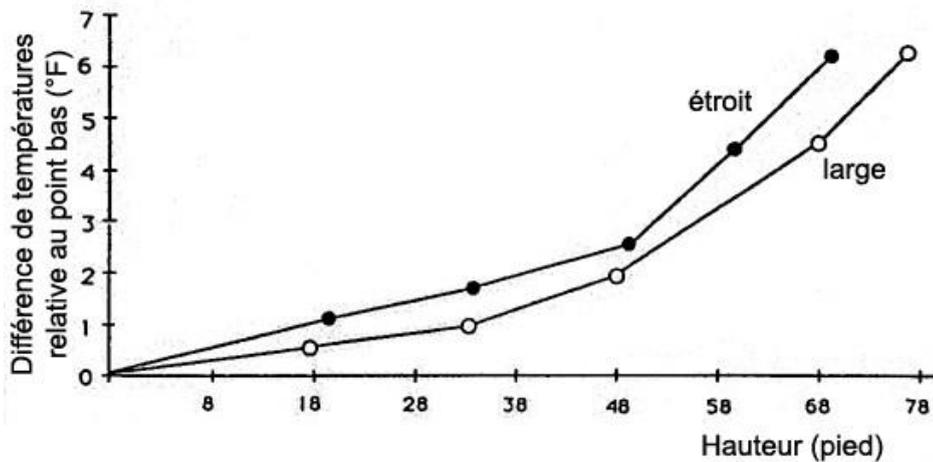


Figure II. 10: gradients thermiques verticaux dans les deux atriums

[Jones, 1993]

#### II.2.4. Effets de l'organisation interne de l'atrium sur la stratification :

Après avoir abordé l'influence que peuvent avoir certains aspects dimensionnels sur la distribution verticale des températures, intéressons-nous à présent aux effets que peut engendrer l'organisation intérieure de l'atrium sur la stratification. Comme nous l'avons déjà abordé lors de l'analyse typologique, l'organisation intérieure est un aspect important qui différencie un atrium lisse (sans coursives) d'un atrium alvéolaire (avec coursives). Dans notre recherche bibliographique, la seule étude que nous avons trouvée qui traite de cet aspect est une analyse comparative effectuée par le laboratoire ABC [Belmaaziz, 2003]. 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 suivant 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.

### II.2.5. Influence d'autres paramètres sur la stratification :

Les études que nous avons abordées nous ont permis de mettre en avant les relations qui existent entre certains aspects dimensionnels et d'organisation sur la stratification. Par ailleurs, nous savons pu rencontrer d'études traitant explicitement de la relation entre le climat, l'inertie des parois, Les cavités des murs de l'enveloppe de bâtiment, Les matériaux de toiture et le taux de vitrage zénithal sur la stratification. De ce fait, nous pouvons évoquer deux études consacrées au comportement global de l'atrium et qui traite de ces paramètres [Atif 1995, Arvind Devikar 2001]. Que nous pouvons considérer comme essentiels, sans aller jusqu'à qualifier les phénomènes de stratification. Les études en question ont pour objectifs d'étudier :

- Le comportement thermique des atriums et notamment les corrélations entre les
- Paramètres physiques (caractéristiques thermiques et dimensionnelles), les conditions climatiques et leurs réponses thermiques en se basant sur un comportement moyen à travers l'amplitude thermique. Celle-ci représente la différence entre la valeur maximale et la valeur minimale de température intérieure de l'atrium sur 24 heures [Atif 1995].
- Et l'impact des aspects suivant sur le comportement thermique des atriums [Arvind Devikar 2001] :
  - Les matériaux de toiture.
  - Les cavités des murs de l'enveloppe de bâtiment.
  - L'isolation de toit pour les volumes autour d'atrium.
  - Les conditions de confort dans l'atrium pendant l'été.

Pour ce qui de la 1ère recherche [Atif 1995]. C'est grâce à la simulation numérique effectuée avec le logiciel TRNSYS, les auteurs ont testé l'influence des paramètres suivants sur le comportement thermique :

- La masse thermique des parois de l'atrium
- Le pourcentage de vitrage zénithal (ici 100% et 50% de la surface de la couverture zénithale)

Ces paramètres ont été testés pour deux climats différents : celui d'Ottawa au Canada (latitude 45,5° N, climat froid) et celui de Fresno en Californie (latitude 36,8° N, climat chaud). Les simulations thermiques effectuées tiennent compte les gains solaires transmis par les vitrages, les transferts de chaleur par conduction (d'une part entre l'extérieur et l'intérieur de l'atrium, de l'autre entre l'atrium et les locaux adjacents) et les transferts de chaleur dus à la ventilation. Les températures d'air ainsi que les flux thermiques transmis par les parois (séparant l'atrium des locaux adjacents) ont été calculés à pas horaire pour une journée d'été (le 21 juin). Les simulations ont été effectuées en faisant varier l'inertie thermique des parois comme le montre le tableau suivant :

**Tableau II. 3 : caractéristiques des parois testées**

[Atif 1995].

Type de parois	Conductivité thermique (W/m <sup>2</sup> . °C)	Masse thermique des parois (kg/m <sup>2</sup> )
parois très légères	2,210	14
parois légères	2,972	54
parois lourdes	2,947	366

### II.2.5.1. Influence 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 %.

### II.2.5.2. Influence de l'inertie :

L'accroissement de l'inertie thermique des parois réduit l'amplitude diurne des températures dans l'atrium et la température maximale d'air. Pour un climat chaud (Fresno), les auteurs ont constaté que la multiplication de la masse thermique des parois par un facteur 7 abaisse l'amplitude pendant la journée de 9,4 °C. La réduction du taux de vitrage de 50 % permet d'obtenir à peu près le même effet puisque l'amplitude est de 10,6 °C. Cela n'est pas le cas pour un climat froid (Ottawa) où l'équivalence entre l'incidence de l'augmentation de masse thermique et le taux de vitrage est moins marquée. En effet, lorsque la masse thermique des parois est forte l'amplitude thermique est de 3,3 °C contre 5,6 °C lorsque la toiture est vitrée de moitié. Le tableau suivant montre les résultats obtenus :

**Tableau II. 4 : comparaison des amplitudes thermiques pour le cas d'un atrium central, la température minimale étant de 24,4 °C**

[Atif et al. 1995]

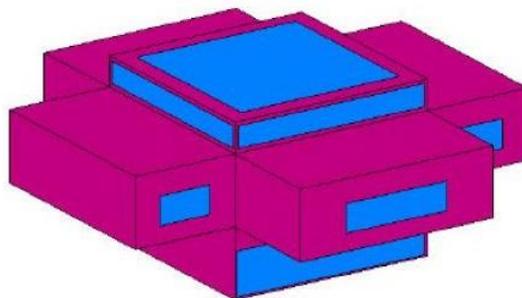
Climat	Masse thermique des parois (kg/m <sup>2</sup> )		Taux de vitrage zénithal	
			100 %	50 %
Chaud (Fresno) (°C)	faible	54	20	9.4
	forte	366	10.6	5.6
Froid (Ottawa) (°C)	faible	54	9.4	5.6
	forte	366	3.3	2.8

Nous voyons à quel point l'influence de l'inertie des parois, et du taux de vitrage zénithal, sont importants à prendre en compte dans la perspective du bon fonctionnement thermique de l'atrium. Les auteurs relèvent le fait que dans les régions froides on favorise plus la lumière du jour que l'atrium peut procurer. Les architectes et les ingénieurs ont donc tendance à ne pas réduire la surface vitrée zénithale mais plutôt à augmenter l'inertie des parois pour remédier à des problèmes de surchauffe. Au contraire, dans le cas d'un climat chaud, la réduction de la surface vitrée est un peu plus efficace que l'augmentation de la masse thermique. La réduction de la surface vitrée est donc recommandée. Toutefois, on peut augmenter la masse thermique si plus de transparence dans l'atrium est exigée.

la masse thermique si plus de transparence dans l'atrium est exigée.

Pour conclure à propos de cette étude, nous insistons sur le fait que les auteurs se soient appuyés sur des résultats moyens pour rendre compte de l'influence du taux de vitrage et de l'inertie (par rapport au climat) sur le comportement thermique. Ils ne vont pas jusqu'à décrire les distributions des températures d'air, qui comme nous l'avons évoqué, doivent être considérées dans la perspective de l'analyse du comportement thermique. Cependant, les variations entre les résultats moyens obtenus laissent penser que les deux paramètres constructifs étudiés ont forcément un impact sur la stratification thermique.

Pour ce qui est de la 2ème recherche [Arvind Devikar 2001], c'est grâce à la simulation numérique effectuée avec le logiciel Derob-lth (Dynamic Energy Response of Buildings), les auteurs ont testé l'influence des paramètres précédemment cités sur le comportement thermique. La simulation est faite pour un projet qui était dans une étape de conception, un bâtiment (complexe de bureaux) situé dans le secteur institutionnel de Gomtinagar Lucknow en Inde. Caractérisé par un climat composé. (Trois types de climat durant toute l'année. Ils sont chauds et secs durant avril à juin, chauds et humides à partir de juillet à septembre, et froid à très froid du



**Figure II. 11: Modèle de projet**

[Arvind Devikar 2001]

Le bâtiment est presque de forme carré. L'atrium est situé au centre du bâtiment. Les activités principales sont orientées vers le sud. Le plan complexe de bâtiment est modifié à une forme plus simple par raison de la simulation. (Figure 11) (Le dôme sphérique transparent proposé sur l'atrium est simplifié à la forme plate sans changer la superficie par défaut que le programme ne peut pas simuler la forme sphérique).

### II.2.5.3. Influence de l'orientation :

L'UN des paramètres que l'architecte est sensé manipuler en tout début du projet concerne l'orientation du bâtiment. De celle-ci vont dépendre les conditions d'ensoleillement des parois internes de l'atrium. Comme pour les deux paramètres étudiés plus haut, nous n'avons pas trouvé d'études consacrées à l'influence de l'orientation sur la stratification thermique. Dans les travaux que nous avons pu rencontrer, les auteurs se contentent d'étudier l'atrium sous une seule orientation. Citons néanmoins l'étude de Wall qui visait à étudier l'influence de l'orientation sur le comportement thermique sur une géométrie d'atrium [Wall 1996]. L'auteur montre que des expositions différentes d'ensoleillement peuvent conduire à des différences de température d'air non négligeables d'une orientation à une autre.

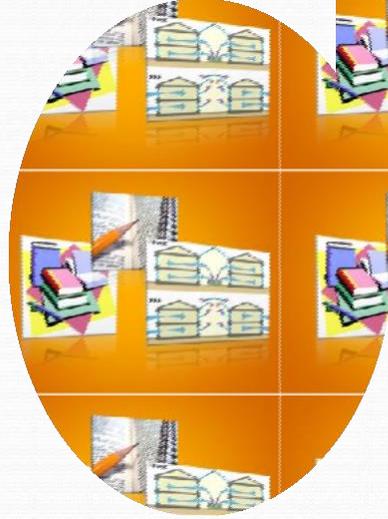
Vu le peu d'informations que nous apporte cette étude et l'absence de travaux clairement dédiés à l'impact de l'orientation du volume vitré sur la stratification, ce paramètre mérite d'être donc approfondi, surtout, sachant que la distribution de la tâche solaire varie sensiblement d'une géométrie à une autre.

## II.1. Conclusion :

Nous avons consacré ce chapitre à établir un état de l'art sur tout ce qui concerne les aspects relatifs au comportement thermique des atriums. En premier lieu nous avons essayé de montrer en quoi le comportement des atriums est différent de celui des autres espaces et quels sont les phénomènes qu'il est impératif de prendre en compte dans l'optique d'une modélisation des paramètres physiques qui régissent le comportement de l'ambiance thermique. Cela nous servira plus tard quand il s'agira d'entreprendre des travaux de simulation.

Par la suite, nous nous sommes intéressés à la stratification thermique, qui est un phénomène auquel nous sommes systématiquement confrontés dans un grand volume surtout quand celui-ci est largement vitré. Ce phénomène est souvent perçu comme un problème car, quand il est présent, il conduit inévitablement à un inconfort selon où l'utilisateur se trouve dans le volume. A travers l'exploration des travaux que nous avons pu trouver traitant du comportement climatique des atriums, nous avons essayé dans un premier temps de caractériser la stratification à partir de l'analyse, de jour comme de nuit et en fonction des variations saisonnières, des gradients thermiques verticaux. En suivant une logique analogue, nous avons tenté de faire ressortir les paramètres qui semblent avoir une influence sur la stratification. Les paramètres identifiés relèvent à la fois des aspects dimensionnels (hauteur et largeur du volume), de l'organisation interne (atrium lisse ou alvéolaire) et de paramètres constructifs (taux de vitrage zénithal, constitution des parois, orientation du bâtiment). Cela peut nous aider à mieux comprendre en quoi consistent les études dans ce domaine et quelles sont les préoccupations par rapport au sujet que nous traitons.

# CHAPITRE



## **...Caractérisation des ambiances aérodynamiques dans les atriums**

### III.1. Introduction :

Suite à notre recherche menée sur les caractérisations des ambiances thermiques dans les atriums établis dans le chapitre précédent, il est important de s'intéresser aux aspects liés aux mouvements d'air qui constitue l'ambiance aéraulique dans les atriums.

Nous aborderons donc les techniques de contrôle des ambiances climatiques en nous attardant sur le cas de la ventilation naturelle. En dernier lieu, nous nous intéresserons aux techniques de modélisation des phénomènes thermo-aérauliques des grands volumes. Enfin, nous ferons une synthèse des études que nous avons pu recueillir lors de notre recherche bibliographique.

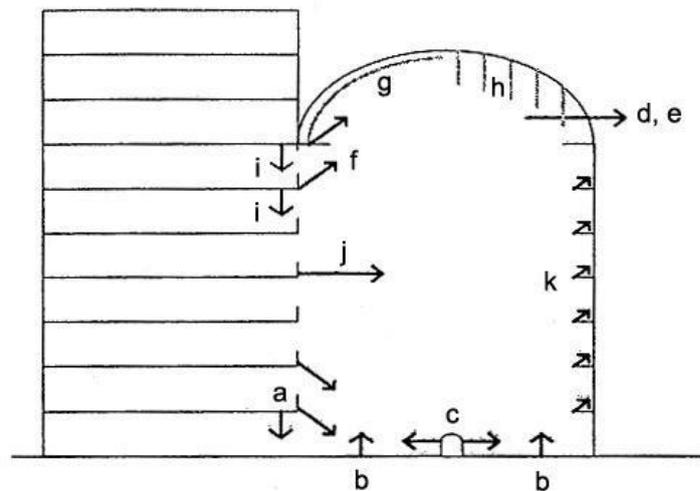
### III.2. Stratégies de ventilation adoptées dans les atriums :

La ventilation est un paramètre majeur à prendre en compte dans la conception d'un atrium. Comme tout grand volume soumis à une occupation fréquente, l'atrium peut être le lieu de concentrations de divers polluants (fumées, odeurs ...). Le système de ventilation doit donc en premier lieu être capable d'assurer un renouvellement d'air permettant d'évacuer l'air pollué. Au-delà de cette considération hygiénique, la ventilation, si elle est utilisée à bon escient, peut résoudre certains problèmes d'ordre thermique spécialement en été.

Les phénomènes de surchauffe et de stratification abordés précédemment peuvent être évités, ou du moins réduits. Pour cela, un renouvellement d'air adéquat doit être assuré. Il est cependant vrai qu'un certain nombre d'atriums existants sont souvent climatisés ou appartiennent à des bâtiments qui sont eux-mêmes climatisés. Bien entendu, cette solution de rafraîchissement permet d'assurer le confort thermique des occupants. En revanche, la climatisation est souvent synonyme de surconsommations d'énergie surtout lorsqu'il s'agit, comme c'est souvent le cas, de conditionner la totalité du volume ou de rattraper des erreurs de conception qui auraient pu être évitées. La ventilation reste une alternative bien plus prometteuse pour l'amélioration des conditions de confort. Le renouvellement d'air permet de jouer le rôle de caloporteur en évacuant l'air chaud généré à l'intérieur de l'atrium. La ventilation peut être gratuite en coût énergétique si elle est naturelle. Elle peut aussi être mécanique. Dans ce cas elle constitue un facteur de consommation d'énergie qu'il faudra contrôler pour éviter les surcoûts d'énergie.

En abordant le rafraîchissement dans les atriums, l'aspect dimensionnel qui les caractérise refait surface. Comme nous l'avons déjà évoqué, nous n'avons pas ici affaire à des locaux de petite taille où un système de ventilation (naturelle ou mécanique) conventionnel suffit à maîtriser l'ambiance thermique. Réguler cette dernière dans un grand volume nécessite de gérer des aspects liés à la circulation de l'air. En effet, les courants d'air qu'entraîne la ventilation doivent être étudiés de manière à ce que les champs de vitesses ne constituent pas, dans les zones fréquentées, une source d'inconfort pour les occupants. Ceci est un aspect important à prendre en considération surtout lorsque la grande taille du volume est associée à une configuration géométrique compliquée.

Il existe plusieurs stratégies de ventilation appliquées aux cas des atriums. Les plus couramment employées sont résumées par Yoshino dans le schéma suivant :



**Figure III. 1: stratégies de contrôle des ambiances thermo-aérauliques dans un atrium**

[Yoshino et al. 1995]

Dans son étude exploratoire sur certains atriums existants, l'auteur rassemble les méthodes adoptées pour le contrôle des ambiances thermo-aérauliques selon quatre groupes. Le premier concerne le traitement réservé aux zones habitables au niveau du plancher bas. Dans ce groupe trois méthodes sont recensées : a, b et c. La méthode a consiste à diffuser de l'air frais conditionné à partir du plancher ou d'un mur du premier niveau. La méthode b permet de rafraîchir l'atrium à l'aide d'un plancher (sol) réversible qui sert aussi au chauffage. La méthode c, quant à elle, est une méthode de contrôle pour un rafraîchissement localisé.

Le deuxième groupe comprend trois méthodes pour traiter l'air chaud qui s'accumule sous la toiture : d, e et f. La méthode d sert à l'évacuer par ventilation naturelle à travers les ouvrants disposés à proximité de la toiture. La méthode e sert à l'extraire au même endroit par ventilation mécanique. Il est aussi possible de se servir de ventilateurs (méthode f) pour évacuer l'air chaud qui s'accumule dans les parties habitables aux niveaux supérieurs.

L'auteur ne s'arrête pas au recensement des méthodes de rafraîchissement par la ventilation. Il évoque aussi deux méthodes de contrôle solaire permettant de réduire les gains de chaleur à l'intérieur de l'atrium. Ces deux méthodes (g et h) constituent le troisième groupe.

Enfin, le dernier groupe inventorie l'ensemble des autres stratégies (i, j et k) susceptibles d'être rencontrées. La méthode i consiste à réaliser un rideau d'air afin de séparer l'atrium des espaces adjacents lorsque ceux-ci donnent directement vers l'atrium. La méthode j adopte le même principe, mais cette fois-ci le rideau d'air est horizontal de sorte à empêcher l'air des premiers niveaux d'atteindre la partie haute de l'atrium. La méthode k est un traitement particulier de diffusion d'air chaud réservé au vitrage en saison hivernale afin d'éviter les condensations.

L'auteur précise que, dans la majorité des cas, des ouvrants en partie haute sont prévus pour favoriser la ventilation naturelle. Dans une moindre mesure, les concepteurs ont recours à la ventilation mécanique. Ces deux stratégies ne sont pas employées seules. Elles sont souvent associées aux autres stratégies énumérées plus haut. En fonction de la configuration et du mode d'occupation de l'atrium des traitements localisés peuvent renforcer l'amélioration des conditions de confort dans ces zones. Par ailleurs, selon le rapport ASTER [Lomas et al. 1995], les auteurs font remarquer qu'il est possible de rafraîchir un atrium uniquement par ventilation naturelle si celle-ci est soigneusement étudiée. Cela dépend des conditions climatiques (climats modérés)

En laissant d'emblée de côté la climatisation comme mode de rafraîchissement, intéressons-nous de plus près à la ventilation naturelle comme mode passif de renouvellement d'air qui peut être favorisé par rapport aux autres techniques.

### III.2.1. La ventilation naturelle :

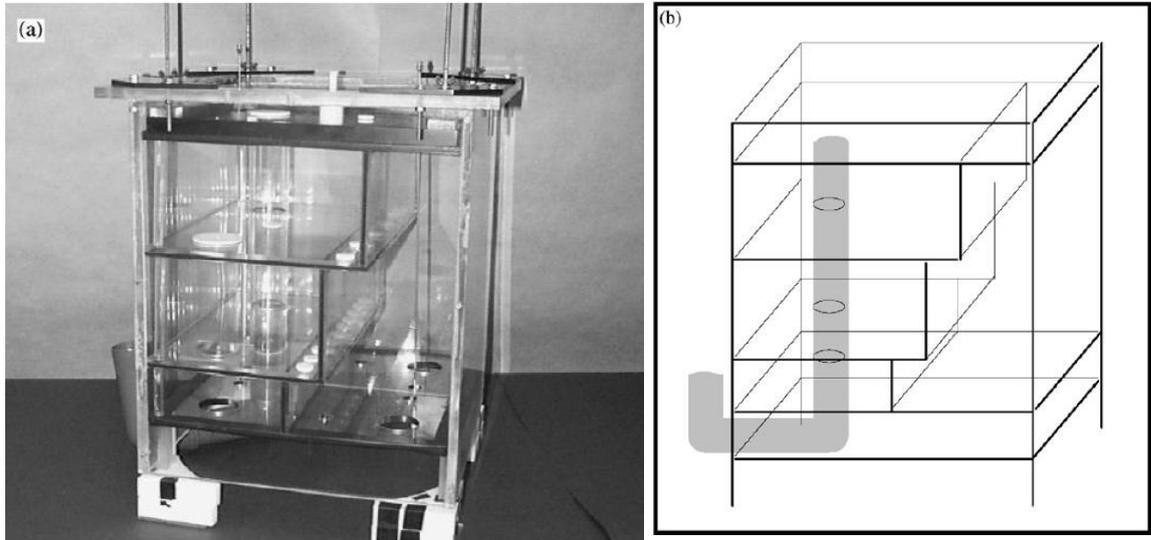
La ventilation naturelle est une stratégie adoptée pendant la saison estivale pour réduire les gains thermiques et par là-même abaisser les températures internes de sorte qu'elles s'égalisent avec les températures extérieures. Le principe de fonctionnement de cette stratégie consiste à remplacer l'air interne chaud par de l'air frais provenant de l'extérieur. Ce renouvellement d'air gratuit peut avoir pour force motrice les différences de températures entre l'intérieur et l'extérieur, dans ce cas il s'agit de ventilation naturelle par tirage thermique. Le renouvellement d'air peut aussi être occasionné par les différences de pressions sous l'effet du vent.

Si la ventilation naturelle est connue pour être une technique plus appréciée par rapport aux autres méthodes de rafraîchissement, elle est à plusieurs titres compliquée à mettre en œuvre. D'une part, les forces motrices (différence de température et vent) dépendent d'une multitude de paramètres qui interagissent entre eux. La taille des bouches d'air, leurs emplacements, les vitesses d'air générées sont autant de paramètres à considérer. En plus de ces aspects d'ordre technique, l'atrium doit aussi se prêter à recevoir les ouvertures vers l'extérieur. Cet aspect est de l'ordre de la conception et donc architectural. D'autre part, lorsqu'il est prévu de ventiler naturellement un atrium, il faut faire face aux effets aléatoires de vent. La situation la plus critique se pose en l'absence du vent durant une journée ensoleillée d'été. Dans ce cas, le système de ventilation doit compter uniquement sur le tirage thermique. Les dispositions techniques (dimension et emplacement des ouvrants) doivent se prêter à se substituer aux effets du vent pour assurer le renouvellement d'air.

Dans cette optique une étude est faite dans le but de déterminer la conception fondamentale d'un espace atrium pour une ventilation naturelle, étude concentrée sur le degré de perfectionnement d'écoulement réalisé par atrium qui est lui-même 'aéré' directement, par un raccordement à l'extérieur au niveau bas. Un modèle théorique est développé pour prévoir la stabilité de l'écoulement des flux d'air par effet de cheminé, et la stratification thermique dans le bâtiment, due aux gains de chaleur des espaces adjacents et aux gains solaires dans l'espace lui-même, et comparé cela aux résultats des expériences de laboratoire.

Des divers régimes de déplacement des flux d'air par effet de cheminé sont décrits, produit dans un seul étage fermé avec une hauteur  $H$  connecté à un espace atrium avec une hauteur  $M$ . un modèle théorique d'un déplacement stable de flux d'air entre l'étage et l'espace atrium est développé, qui représente le chauffage dans les deux espaces,

l'étage (avec un flux de flottabilité B), et l'atrium (avec un flux de flottabilité Bsolar), et qui fournit des prédictions sur le stratification thermique et les débits d'air (Figure III.2, Figure III.3) [Joanne et al. 2003].

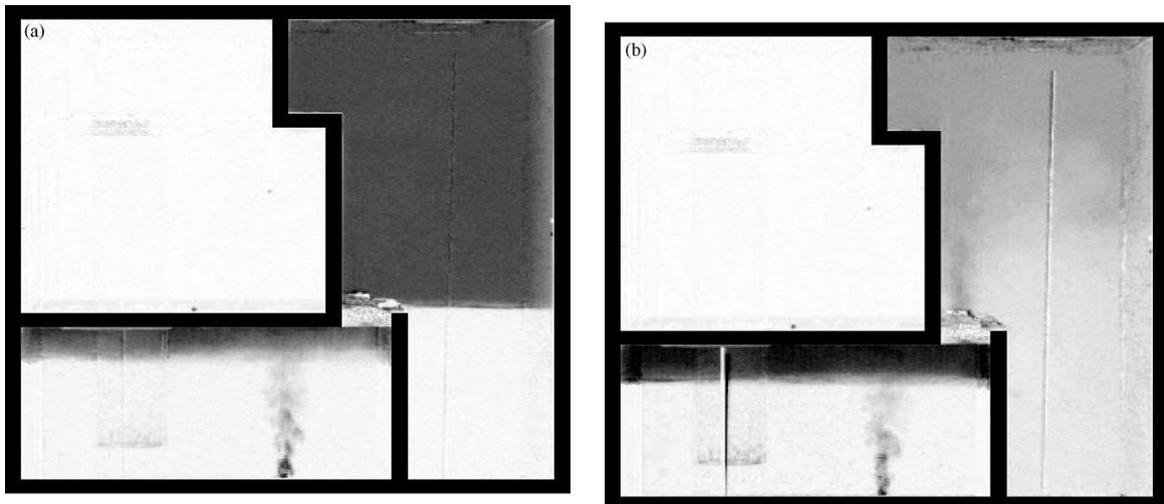


(a) une photographie du modèle acrylique

(b) un schéma de principe illustrant un étage simple, un TDC et un atrium

**Figure III. 2 : Le modèle utilisé dans les expériences**

[Joanne et al. 2003].



(a) Atrium non ventilé

(b) Atrium ventilé

**Figure III. 3 : images montreront le déplacement de flux d'air**

[Joanne et al. 2003].

Les résultats théoriques ont été vérifiés par l'expérience « Salt-bath », qui montrent un accord raisonnable. La différence entre la théorie et l'expérience est due à deux facteurs. Premièrement, quand la couche de la flottable de fluide dans l'étage est très mince, l'hypothèse de gradient de la pression hydrostatique dans l'étage décompose en tant que pression dynamique, les variations de la turbulence dans en sortie d'air devient comparable avec le changement de la pression provoqué par la stratification. En conséquence, une certaine flottabilité de fluide s'accumule même lorsque la théorie prévoit une ventilation complète. Deuxièmement, les flottables des fluides déchargés dans l'atrium sont difficile à modéliser, puisque les murs influencent l'écoulement, et la géométrie des sorties d'air et le coefficient d'entraînement peuvent changer.

Bien que le modèle étudié ici soit beaucoup simplifié, il est une étape utile pour comprendre la conception de la ventilation naturelle dans les bâtiments modernes, tel que les bâtiments à atrium.

### **III.2.2. Modèles empiriques employés en ventilation naturelle :**

Il existe différents modèles empiriques mettant en relation les surfaces des ouvrants, leurs positions, la différence de température et la vitesse du vent en vue de dimensionner un système de ventilation naturelle dans un local. Une série de formules analytiques permettent d'estimer les débits de ventilation induits par la force du vent, par tirage thermique ou bien par la combinaison des deux phénomènes. Ces formulations sont disponibles à la fois pour des locaux ventilés unilatéralement (par une ou plusieurs ouvertures disposées du même côté du local) ou pour des locaux ventilés transversalement [Allard 1998]. Les différentes méthodes empiriques sont d'une aide précieuse lorsqu'il est question d'estimer le potentiel d'un système à ventiler naturellement.

### **III.2.3. Méthode d'Andersen :**

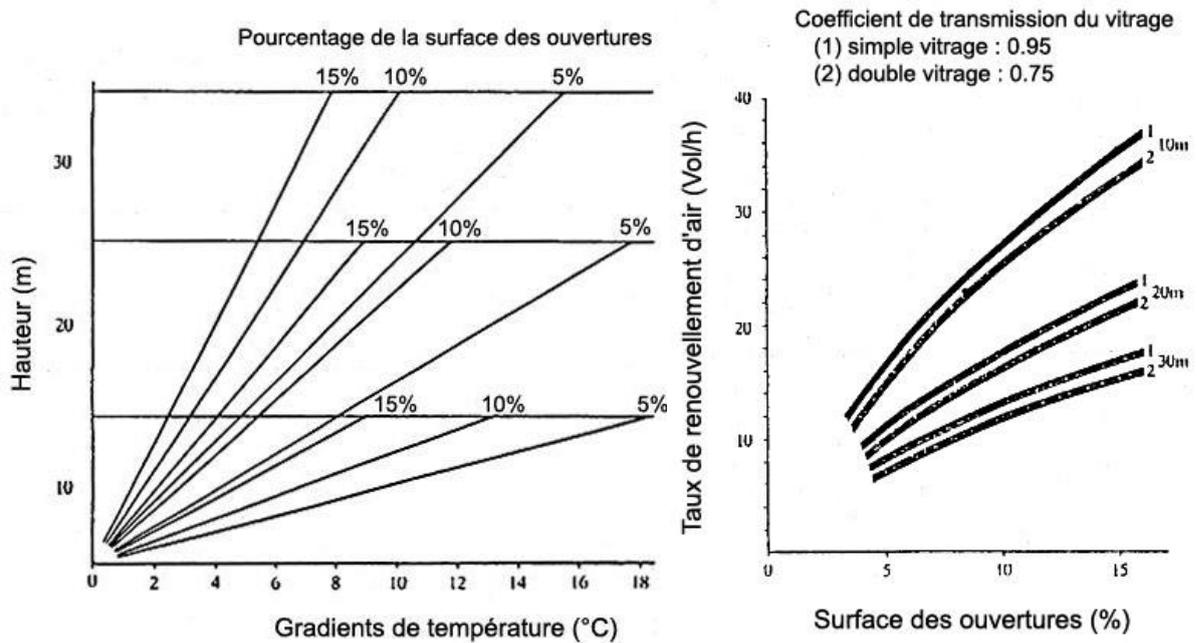
Dans ces travaux portant sur la ventilation naturelle par tirage thermique, Andersen fait remarquer que les modèles existants conduisent à des résultats divergents [Andersen 1995a]. Cela peut conduire inévitablement à des incertitudes pour dimensionner le système de ventilation [Foster et al. 1987]. Ce constat fait, Andersen propose des formulations analytiques dérivées de celles appliquées à la ventilation naturelle d'un local à deux ouvertures.

Ces formulations permettent de dimensionner les ouvrants et d'évaluer les débits de ventilation en se basant sur la différence de température ou de densité de l'air. Il est important de noter, avant de présenter les formulations d'Andersen que celles-ci sont applicables en considérant que la température intérieure est connue. En ce qui concerne les atriums, l'avantage de cette méthode réside dans le fait qu'elle peut être employée aussi bien dans un local classique (où les températures sont sensiblement homogènes), que dans un grand volume soumis à la stratification thermique (notons que peu de références sont disponibles à ce sujet). Dans ce cas, un facteur de stratification ( $\sigma$ ) est introduit dans les formulations. Ce facteur est défini par Andersen comme étant le rapport entre la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur à la sortie de l'air chaud (en haut de l'atrium) par rapport à la différence entre la température moyenne de l'atrium et celle de l'extérieur (Figure III.4).

### III.1.1. Effet 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 surchauffes 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 apporté une réponse partielle à cette question [Owens et al. 1987].

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 III.6). 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.



**Figure III. 6: 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, 1987]

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.

III.1.2. Impact de la ventilation nocturne :

L'impact de la ventilation sur la température interne a été étudié dans la recherche faite par [Arvind Devikar 2001] selon la façon suivante :

- Ventilation continue tout au long de la journée (24 heures)
- Ventilation nocturne de 1 à 9 heures et de 19 heures à 24 heures (Fenêtres fermées pendant 10h à 18 heures).

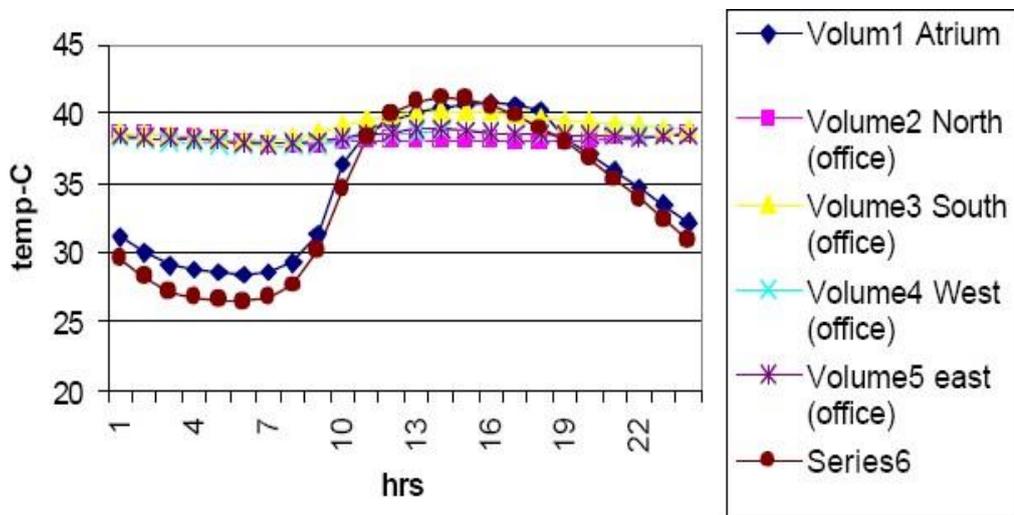


Figure III. 7 : Résultats de la ventilation nocturne (Mai)

[Arvind Devikar 2001]

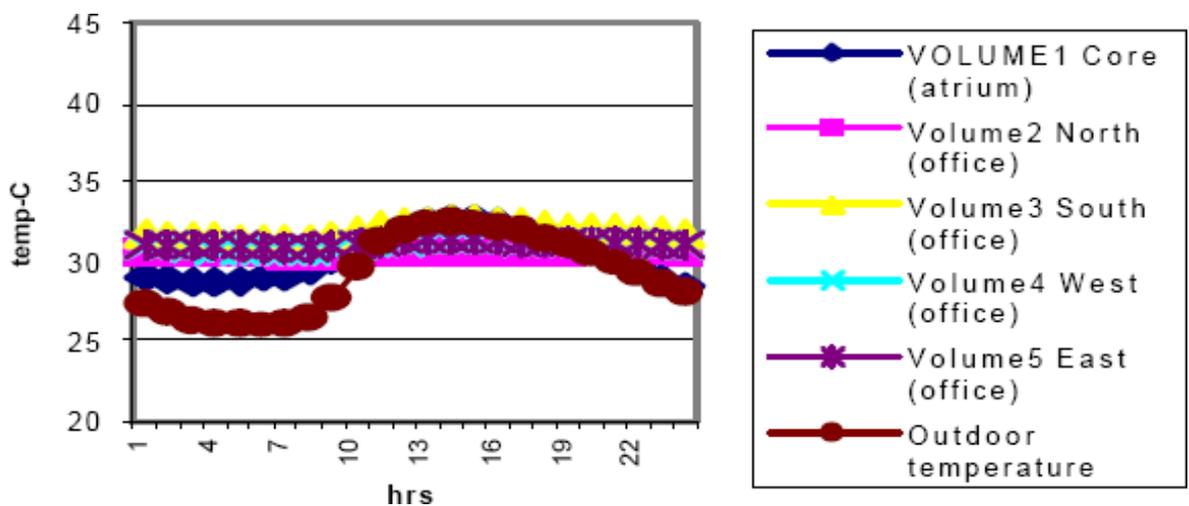


Figure III. 8 : Résultats de la ventilation nocturne (Août)

[Arvind Devikar 2001]

Les résultats de la simulation de cas de base pour l'évaluation de l'impact de la ventilation nocturne sur la température du volume (Figure III.8 / 9) pour les mois de Mai et Août(Humide) montre que :

**Pour le mois de Mai :**

La température de jour pendant des heures 10-18 est moins que la température extérieure. C'est une amélioration de la température de jour de cas de base.

La température d'autres volumes demeurent dans la gamme de 37°C à 38.5°C tout au long de la journée qui est moins que la température de ces volumes dans le cas de base. C'est également une amélioration.

**Pour le mois d'Août :**

Il y a une amélioration remarquable de la température de l'atrium pendant les heures de travail.

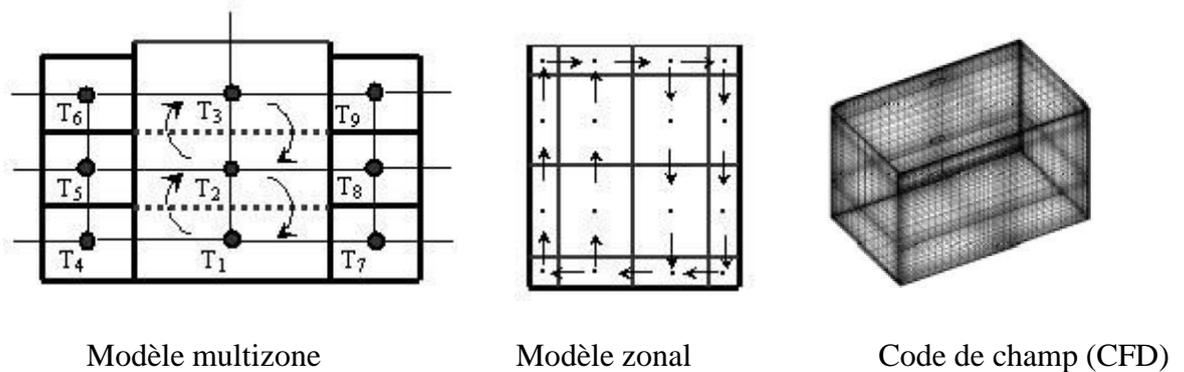
La température des autres volumes est également descendue et elle est constante tout au long de la journée.

### **III.2. Les outils de simulation appliqués aux ambiances thermo-aérauliques dans les atriums :**

La modélisation du comportement thermique dans les atriums ou plus généralement dans les espaces de grandes dimensions est différente de celle appliquée aux espaces de taille plus restreinte tel qu'un bureau par exemple. En effet les atriums de par leur grand volume et l'importance de la surface du vitrage zénithal permettent des apports en flux solaires (CLO) importants. Cela provoque une hétérogénéité des températures qui se traduit par la stratification des températures d'air [Groleau et al. 1994] ainsi qu'une distribution hétérogène des vitesses d'air non négligeable. Ces phénomènes que l'on ne rencontre pas dans les espaces de taille classique sont donc propres aux grands volumes vitrés.

Différentes approches sont possibles pour la modélisation du comportement thermique d'un atrium, elles dépendent du degré de précision attendu. Nous présentons dans ce qui suit les outils de simulations généralement utilisés dans l'étude du comportement thermo- aéraulique des atriums. Nous décrivons à l'aide d'exemples concrets la nature de chaque outil et comment il est exploité. Notre objectif ne consiste pas à dresser un état de l'art

exhaustif sur la panoplie d'outils existants dédiés à la simulation thermique dans le bâtiment mais de préciser les tendances de modélisation les plus répandues.



**Figure III. 9 : les différentes discrétisations spatiales utilisées pour le cas des atriums**  
[Groleau et al. 1994]

### III.2.1. Récapitulatif :

Sans nous être trop étendu, nous venons d'exposer un état de l'art des différents outils qui peuvent être utilisés pour simuler le comportement thermo-aéraulique dans un atrium. Chaque catégorie d'outils nécessite un degré de discrétisation spatiale qui conditionne la précision des résultats. Ainsi, les modèles multizones, peuvent être adaptés aux grands volumes en introduisant certaines hypothèses de modélisation. Cela permet une description sommaire de la stratification mais peut s'avérer bénéfique dans les phases amont de conception d'autant plus que les simulations peuvent être effectuées en régime dynamique. En augmentant l'échelle de discrétisation nous retrouvons les modèles zonaux. Pouvant eux aussi être employés en régime dynamique, ces derniers permettent d'obtenir des résultats bien plus précis que les modèles multizones. En plus du champ thermique, ils sont capables de décrire le champ des vitesses d'air dans le volume. Le recours à un modèle zonal semble adapté à la modélisation de la stratification et des mouvements d'air comme le montre les études menées par IEA. En revanche, ces outils supposent que les moteurs d'écoulement soient connus, d'où la difficulté de leur utilisation. Enfin, les codes de champs sont les plus précis dans la hiérarchie de discrétisation de l'espace car ils permettent une analyse fine du champ thermo-aéraulique.

L'utilisation d'un outil sophistiqué tel qu'un code CFD est surtout requise pour analyser dans le détail une stratégie de ventilation ou pour statuer sur un problème délicat d'expertise. De ce fait, leur usage n'est pas envisageable dans les premières étapes de conception du projet. Par ailleurs, la saisie des données et l'exploitation des résultats est assez lourde, ce qui constitue l'inconvénient essentiel de ces outils. En plus, ils exigent des temps de calculs importants et par conséquent ils se prêtent mal à une étude en régime variable.

### **III.3. Les études menées dans le domaine des ambiances thermo-aérauliques des atriums au Japon [Yoshino et al. 1995]:**

Lors de la présentation des spécificités relatives aux comportements thermo-aérauliques des atriums nous avons essayé, chaque fois que cela était possible, de nous appuyer sur certains des travaux effectués dans ce domaine pour étayer nos propos. Nous n'avons évidemment pas évoqué l'ensemble des travaux existants puisque les études concernant les ambiances thermiques ou thermo-aérauliques dans les atriums sont nombreuses et leurs centres d'intérêt variés. De ce fait, il est intéressant de répertorier le panorama des études que nous avons pu recueillir lors de notre recherche bibliographique selon leurs objectifs. Nous classons ces études en quatre groupes :

- Des études générales visant à capitaliser toutes les informations et les conseils qui concernent le comportement des atriums.
- Des études qui consistent à valider l'application d'outils dédiés à la simulation du comportement thermo-aéraulique.
- Des études menées dans des atriums existants ou à construire afin de tester les potentialités des stratégies de ventilation à adopter afin d'arbitrer entre les différents choix en vue d'optimiser les conditions de confort.
- Des études paramétriques ayant pour objectif d'analyser l'influence de certains paramètres constructifs sur le comportement.

Nous classifions ici les différents travaux par rapport à ces groupes en tentant de présenter des exemples d'études.

### III.3.1. Etudes générales menées dans le cadre des atriums :

Nous qualifions ces études de générales non pas par rapport à l'intérêt qu'elles suscitent, mais parce que d'une part elles constituent des analyses synthétiques faites à partir de plusieurs études de cas et, d'autre part, elles abordent divers aspects. Dans cette catégorie, nous pouvons évoquer deux études déjà citées auparavant. Il s'agit du rapport ASTER (Atrium Studies Technical Review) [Lomas et al. 1994] et de l'étude de Yoshino menée au Japon [Yoshino et al. 1995].

La première étude représente une compilation d'informations, de recommandations et de messages recueillis à travers l'analyse d'une vingtaine de bâtiments parmi les deux mille construits comportant un atrium lors de ces dernières années au Royaume Uni. Ces messages, basés sur l'expérience des concepteurs et des experts, sont aussi bien d'ordre architectural à travers l'étude des fonctions de l'espace, des éléments constructifs, des dispositifs permettant la protection solaire, que d'ordre technique par l'étude des températures intérieures, des stratégies de ventilation employées, des consommations énergétiques, de l'éclairage naturel ou artificiel, de l'acoustique ainsi que les mesures anti- incendie. L'analyse étant faite, les auteurs tentent de juger de la pertinence de chaque message en effectuant un recoupement entre les informations émises d'un bâtiment à l'autre. En guise de recommandations destinées aux concepteurs pour mieux les orienter dans leurs projets, les auteurs dressent une analyse de ces informations selon leurs degrés de pertinence, leurs domaines d'application, et leurs influences sur les conditions de confort des occupants.

La deuxième étude se veut un peu moins exhaustive que la première puisqu'elle aborde, en dehors des aspects d'ordre général de la conception (la fonction, la typologie, configuration), uniquement les stratégies de ventilation et le comportement thermique. Par ailleurs, dans cette étude quantitative l'auteur se focalise surtout sur ces deux derniers points et tente, en s'appuyant sur une analyse comparative des résultats, de quatorze bâtiments à atrium parmi les deux cents construits au Japon. Cette comparaison permet de dresser différentes tendances de comportement thermique rencontrées ainsi que les différentes stratégies habituellement adoptées pour le contrôle des ambiances thermo- aérauliques. Contrairement à l'étude précédente où les auteurs cherchent à dégager des recommandations, les éléments de conclusion émis par l'auteur se présentent sous la forme d'une synthèse des travaux analysés. Celle-ci permet de mettre en avant les risques éventuels de surchauffes et les mesures habituellement mises en œuvre pour les éviter.

### III.3.2. Etudes dédiées aux techniques et aux outils de simulation :

Face aux différents problèmes de modélisation rencontrés dans le domaine de la thermique et des flux d'air dans les atriums, plusieurs études ont été consacrées pour tester divers modèles de simulation en vue de leurs applications pour prédire le comportement thermo-convectif d'un grand volume. Parmi ces études, nous pouvons citer les travaux de IEA dans le cadre de l'annexe 26 concernant la ventilation des grands volumes dans le bâtiment [IEA 1996]. Cette étude met en évidence les problèmes liés aux mouvements d'air, à la stratification et à la concentration des polluants qui sont généralement présents dans les grands volumes. Ces travaux sont aussi axés sur l'analyse et la comparaison des différents outils de simulation et de leurs degrés de fiabilité pour prédire ces phénomènes. Les outils en question concernent les modèles de simulations et les différentes techniques de mesure et de diagnostic.

Les auteurs différencient entre une première catégorie d'outils dit « macroscopiques » qui rassemblent les modèles simplifiés destinés à une évaluation préliminaire du comportement. C'est l'exemple des modèles multizones ou des modèles zonaux présentés auparavant. Le second groupe d'outils dit « microscopiques » comprend des modèles tels que les codes de champs qualifiés comme plus précis que les premiers modèles.

Après avoir décrit les différents modèles et techniques de mesure existants, les auteurs entreprennent l'évaluation d'une série d'outils à travers leurs applications sur des cas d'étude. Parmi les bâtiments pris comme support d'application nous pouvons citer l'exemple de l'atrium de Yokohama au Japon. Un programme de mesure de deux ans a été mis en place dans cet atrium expérimental (à échelle réelle) dans lequel des mesures détaillées de plusieurs paramètres (températures d'air, de surfaces et de vitesses) ont été de simulation de plusieurs équipes de recherche participantes à ce programme. Divers outils de simulation ont été utilisés tels que les codes CFD et les modèles zonaux pour appréhender la distribution des températures et les flux d'air dans l'atrium expérimental en se basant sur des conditions aux limites mesurées. Les objectifs de la simulation consistaient à savoir :

- Comment simplifier les conditions aux limites en utilisant un code CFD,
- Dans quelle mesure la discrétisation (le maillage) peut affecter les résultats des simulations,

- Dans quelle mesure les coefficients de transferts convectifs près des parois ont une influence sur les calculs,
- Quelles sont les performances des modèles zonaux et des codes CFD dans la prédiction de la distribution verticale des températures.

En ce qui concerne les conditions aux limites à appliquer aux codes CFD, les auteurs mettent l'accent sur la nécessité d'utiliser des conditions réalistes. C'est le cas des conditions aux limites thermiques. La prise en charge des températures de surfaces des parois de l'atrium expérimental dans les calculs et la négligence de ceux de la structure métallique supportant le vitrage par exemple peut conduire à des résultats erronés. Cependant, les auteurs signalent qu'une légère variation des conditions aux limites n'affecte pas énormément la distribution des températures et des flux d'air.

Pour ce qui est des maillages appliqués aux codes CFD et des transferts convectifs, les auteurs estiment que ces derniers sont d'autant plus précis que le maillage à proximité des parois est fin. Aucune indication quant à la taille des mailles à respecter n'est précisée. Ils indiquent aussi que le recours à un modèle de turbulence k- $\epsilon$  bas-Reynolds permet une meilleure estimation des transferts convectifs mais demande des temps de calculs élevés et se prête mal à l'utilisation. A ce sujet, les auteurs recommandent plutôt d'utiliser un modèle k- $\epsilon$  associé à une loi de paroi et un raffinement approprié du maillage [IEA 1996]. Par ailleurs, pour les modèles zonaux, des corrélations ont permis d'estimer les coefficients de transferts convectifs (3 W/m<sup>2</sup>K pour le plancher et le plafond et  $1,5\Delta T^{1/3}$  pour les murs verticaux), ce qui semble donner de bons résultats.

Enfin, en se basant sur la comparaison des résultats des mesures et des simulations, les conclusions relatives à l'emploi des outils qui ressortent des travaux de l'IEA montrent que si un code CFD est utilisé avec précaution, il conduit à des prédictions fiables. Les modèles zonaux peuvent eux aussi donner des résultats satisfaisants puisqu'ils décrivent convenablement la distribution verticale des températures dans les grands volumes.

### III.3.3. Etudes menées dans des atriums existants ou à construire :

Dans le champ des études du comportement des atriums, on rencontre souvent des études d'expertise quand il s'agit d'évaluer le système de ventilation à posteriori (dans le cas d'un bâtiment construit) ; cela peut se faire grâce à la mesure ou la simulation. Il arrive aussi, comme c'est fréquemment le cas, de tester les potentialités du système de ventilation à adopter pour un atrium à construire.

Implicitement, cela revient à étudier le comportement de l’atrium en se servant de la simulation numérique. Dans ce cas l’étude peut être vue sous l’angle d’une assistance à la maîtrise d’œuvre. Ce genre d’étude vise à améliorer le projet en proposant un système de régulation qui garantit une bonne ventilation du volume à travers des dispositions spécifiques. La modification de l’emplacement des ouvrants et leurs tailles en est un exemple. Les résultats obtenus permettent d’arbitrer entre telle ou telle solution et permettent de les exprimer en termes de principes correctifs. Parmi les multitudes d’études qui rentrent dans cette catégorie, nous présentons un exemple typique où il est question de transformer un ancien édifice en y ajoutant un atrium et où les auteurs tentent d’analyser la performance de plusieurs stratégies de ventilation pour lesquels ils ont opté comme le montre la figure suivante :

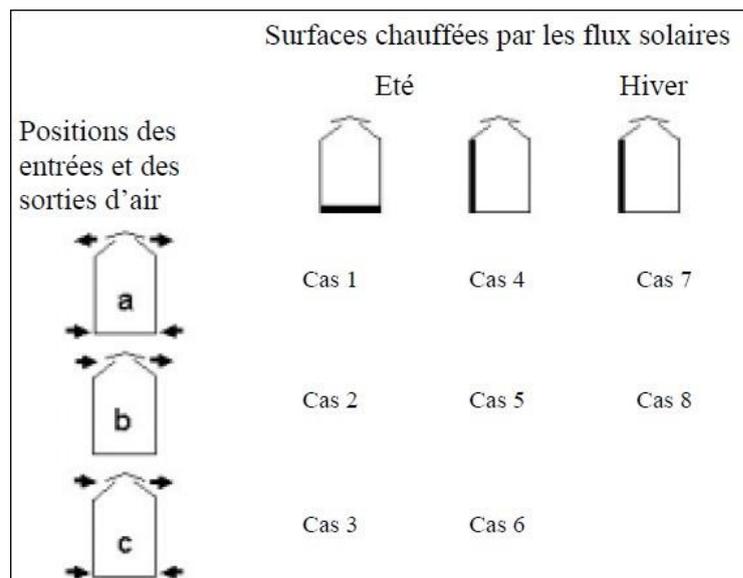


Figure III. 11 : les différentes stratégies analysées en fonction des positions des ouvertures et de la localisation de la tache solaire [Svidt, 1996].

Ayant conscience que des surchauffes sont à craindre durant l’été, les auteurs ont eu recours à la simulation à l’aide d’un code CFD pour tester l’efficacité de certaines options de conception en vue de la ventilation naturelle de l’atrium. Les options proposées sont relatives à l’emplacement des ouvrants qui permettent le renouvellement d’air. La première option (a) testée consiste à ouvrir simultanément les ouvrants haut et bas de même taille dans le cas où la ventilation naturelle se ferait par effet de tirage thermique (absence du vent). La deuxième option (b) représente la configuration où les ouvrants sont placés uniquement en partie haute.

Concernant la dernière option (c), il est supposé que la taille des ouvrants de la partie haute soit plus importante que celle des ouvrants en partie basse. Dans les deux derniers cas (b et c), les auteurs supposent que la force du vent permet la ventilation. Pour analyser les potentialités de chaque option dans des conditions d'ensoleillement différentes, les trois stratégies ont été simulées en début et fin de journée d'été quand la tache solaire est localisée sur le plancher et en milieu de journée lorsqu'elle est localisée sur les parois. En plus de ces cas, deux des trois stratégies (a et b) ont été testées l'hiver.

Au-delà des résultats obtenus qualifiant l'efficacité ou non de chaque stratégie à travers l'évaluation de la distribution des températures et les vitesses d'air et des débits de ventilations résultants, cette étude a permis de tester toutes les éventualités de renouvellement d'air relatives au système choisi. Cela a ensuite permis de trouver des compromis entre les différentes options afin d'ajuster les débits de ventilation nécessaires pour obtenir des conditions de confort satisfaisantes à travers un système de gestion automatisé gérant les ouvrants.

Dans le domaine des atriums, ce genre d'étude, comme tant d'autres, permet de d'apporter des réponses précises sur la pertinence des choix pour lesquels le concepteur aura à opter et pour lesquels il sera amené à trancher. La préoccupation majeure à laquelle celui-ci est confronté concerne les conditions de confort. Ces derniers dépendent des paramètres qui sont liés à des considérations constructives (orientation, composition des parois, taux d'ouverture ... etc.) que le concepteur manipule mais dont l'influence doit être vérifiée par la simulation. Certes, il est bien évident que chaque atrium est, de par sa conception, un cas particulier comme en témoigne les diverses études que nous avons trouvées à ce sujet [Scudo et al. 1987, Drake et al. 1989, Hiwatashi et al. 1996, Hansen et al. 2000, Kuwahara et al. 2000]. Cependant, la nature des préoccupations se ressemble dans la mesure où elles sont toutes consacrées à étudier la stratégie de ventilation à mettre en œuvre et les divers paramètres sous-jacents dont elle dépend (positions des ouvrants, exposition au vent...etc.).

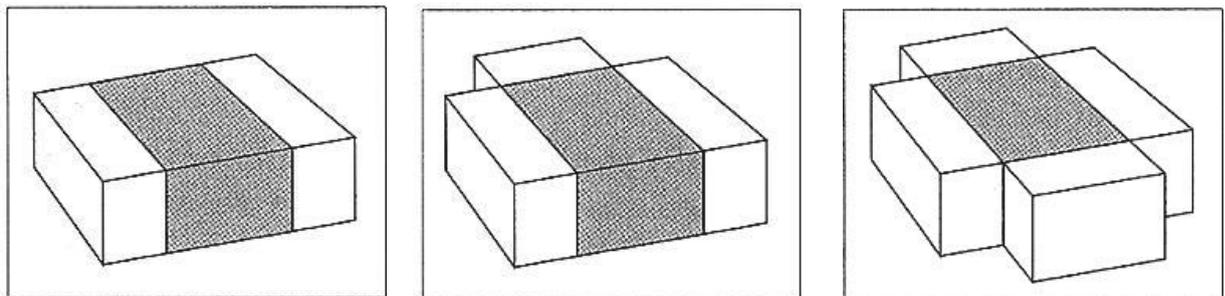
### **Etudes paramétriques :**

Dans le lot des études consacrées aux atriums, on retrouve certaines études paramétriques qui se focalisent sur l'analyse des sensibilités des paramètres entrant en compte dans la conception sur le comportement. Les paramètres étudiés sont souvent d'ordre architectural.

Ces études sont généralement menées sur des géométries fictives (cas théoriques) et n'ont d'objectif que de mettre en évidence l'influence de chaque paramètre ainsi que la combinaison des paramètres entre eux sur les ambiances thermiques. Cela suppose que ces derniers soient testés sur un même bâtiment. Dans certains cas, une analyse peut conduire à comparer les résultats de simulations correspondant à plusieurs formes géométriques. Ces travaux sont généralement menés avec des outils de simulation numériques et débouchent sur la production de règles expertes ou de méthodes simplifiées de prédimensionnement.

Parmi les études dédiées à l'analyse paramétrique nous citons l'exemple des travaux de recherche menés par Wall sur les atriums [Wall 1996]. Ces travaux ont été entrepris sur trois formes géométriques distinctes d'atrium théoriques en faisant varier les paramètres suivants :

- La composition des parois internes (afin d'étudier le rôle de l'inertie thermique)
- Le type de vitrage utilisé en toiture (afin d'analyser l'influence des conditions d'isolation)
- L'orientation du bâtiment (pour étudier les conditions d'ensoleillement)
- Les taux de renouvellement d'air appliqués et les options de ventilation adoptées

**Forme en I****Forme en U****Forme en O****Figure III. 12: les trois formes d'atrium étudiées**

[Wall, 1996]

Même si les moyens utilisés ne permettent pas de prendre en compte les phénomènes des hétérogénéités des températures d'air dans les volumes testés, l'analyse croisée des paramètres cités ci-dessus a permis d'élucider la relation qui existe entre la forme de l'espace et chacun des paramètres (en correspondance avec des conditions climatiques nordiques durant l'été et l'hiver), en se contentant d'une température d'air interne moyenne.

### CHAPITRE III

A terme, l'auteur compte traduire les résultats obtenus en établissant des méthodes de calcul simplifiées utilisables en amont lors de l'avant-projet.

De notre point de vue, les études paramétriques sont d'une grande utilité pour produire de la connaissance experte, cependant les moyens à employer doivent être capables de conduire à des analyses fines afin de décrire le plus précisément possible les phénomènes qui se produisent réellement. Sans cela, une analyse paramétrique n'a d'intérêt que de montrer des tendances de comportement et peut de ce fait difficilement se prêter à produire des règles expertes utilisables par un concepteur. Pour établir des lois simplifiées, il est donc nécessaire d'exploiter les retombées de simulations fines. Si nous comparons, à titre exploratoire, les quelques études que nous avons pu rencontrer, nous nous rendons compte que des travaux faits à l'aide de simulations fines (code CFD par exemple) ont plus de portée que celles où les moyens employés sont moins précis ou mal adaptés.

#### Conclusion :

Nous avons consacré ce chapitre à établir un état de l'art sur tout ce qui concerne les aspects relatifs au comportement aéraulique des atriums. En premier lieu nous avons essayé d'explorer les stratégies mises en œuvre permettant d'amoindrir les désagréments provoqués par les surchauffes et plus spécialement ceux de la distribution inégale des températures. Constatant que la ventilation naturelle, en tant que moyen de rafraîchissement gratuit, est beaucoup sollicitée pour améliorer le renouvellement d'air et le confort, nous nous sommes attardés sur les éléments capables d'agir sur le pré-dimensionnement d'un système de ventilation naturelle. Ceci a été possible grâce à la méthode développée par Andersen. En l'absence de références traitant du problème de la ventilation naturelle dans un volume soumis à la stratification, nous pensons que cette dernière peut nous être d'une grande utilité lorsqu'il sera question par la suite d'évaluer les capacités de la ventilation naturelle à améliorer le renouvellement

d'air.

Nous ne pouvions pas aborder la caractérisation thermo-aéraulique des atriums sans présenter les différents outils qui permettent de prédire leurs comportements. Dans cette partie notre objectif consistait surtout à comparer, à travers les avantages et les inconvénients de chaque catégorie d'outil, les performances et l'aptitude à être employé dans une analyse fine.

Enfin, nous concluons ce chapitre en classifiant l'ensemble des études recueillies lors de notre recherche bibliographique selon leur intérêt. Cela peut nous aider à mieux comprendre en quoi consistent les études dans ce domaine et quelles sont les préoccupations par rapport au sujet que nous traitons.

CHAPITRE III

1. Définition de la culture :

La Culture est un concept très difficile à appréhender et à cerner et cela est dû à l'intérêt porté à ce concept depuis toujours. Les définitions sont innombrables ce qui laisse le chercheur un peu perplexe.

Cette formulation nous permet d'affirmer que l'architecture fait bien partie intégrante de la définition de la culture, c'est une « science » et un « art ».

« La culture, c'est ce qui reste dans l'esprit quand on a tout oublié » attribué à Édouard Herriot.

« La culture est la production spirituelle (principes, idée et idéologie) et Matérielle (science et art) d'une société dans un temps déterminé ». UNESCO -paris 1974.

« Croyances, comportement langage et mode de vie propre à chaque groupe d'individus à une période donnée, la culture englobe les coutumes, les cérémonies, les œuvres d'art, l'invention et la technologie. » UNESCO -paris 1974.

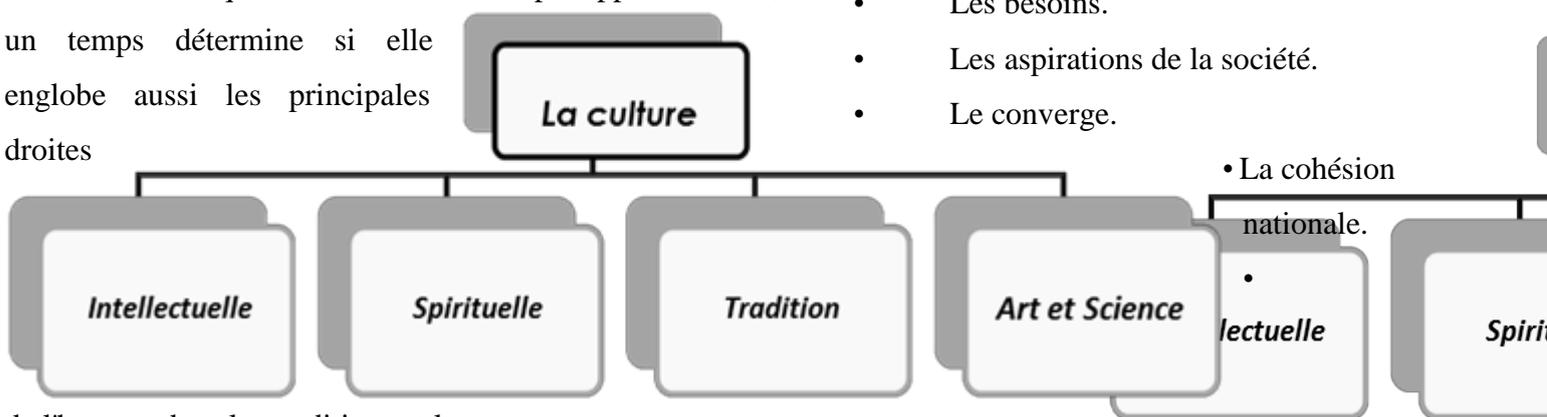
« Le mot culture désigne ce tout complexe comprenant à la fois les sciences, les croyances, les arts, la morale, les lois, les coutumes et les autres facultés et habitudes acquises par l'homme en tant que membre de la société. » E. Tylor.

La culture est un projet infini en actes, elle est à la fois, la transmission d'œuvres de croyance, de connaissances, de valeurs, de traditions et leur remise en cause. Dans un sens général, la culture est l'ensemble de caractéristique spirituelle, intellectuelles et sentimentales qui différent une société par rapport à l'autre, dans un temps détermine si elle englobe aussi les principales droites

2. La culture à travers le monde :

Chaque pays conçoit sa culture en conformité avec les caractères nationaux qui lui sont propres .mais il apparait que la définition de la culture est directement liée à l'idéologie ou à la croyance dominante de la nation concernée. De ce fait, la culture se construit selon :

- Les caractéristiques.
- Les besoins.
- Les aspirations de la société.
- Le converge.



de l'homme dans les traditions et les croyances.

L'affirmation de la nation.

3. La culture en Algérie :

La culture est devenue de nos jours le point repère de l'image d'un pays. L'Algérie comme une bonne partie des pays du monde, évolue d'une manière très croissante envers la recherche de

**CHAPITRE III**

L'identité réel de ces territoires.

L'Algérie, a connu depuis les périodes préhistoire la succession de plusieurs civilisations ; en vue de sa superficie ; ces données en attribué plusieurs termes culturelles a l'identité de notre pays.

Et en trouve :

- Les berbères
- Les numidiens.
- Les romains.
- Les vandales.
- Arabo-islamique.
- Et après la colonisation française.



Ce qui a lissé à l'Algérie un héritage culturel digne de considération et par lequel a pu construire une culture riche et propre à notre pays.

**4.La culture et la politique de l'état algérienne en la matière :**

L'Algérie a mis en place une politique très promouvant envers le développement de la culture, par un plan d'aménagement des bien suivant :

**• Le patrimoine matériel :**

- Des lieux de culte ; mosquée, zawiya, tombeaux.
- Des lieux d'enseignement ; madrasas.
- Des espace résidentiels ;
- Le patrimoine immatériel :

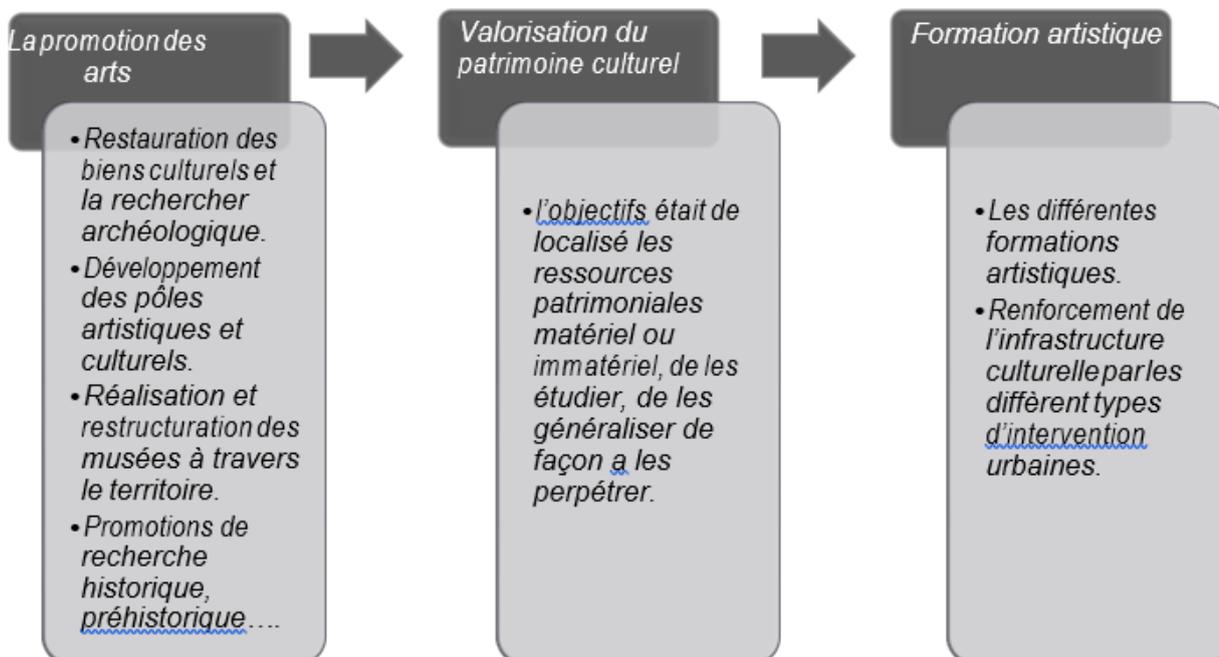
ancienne médina de Tjdit.

Abd.Halid Abdullah, QinglinMeng, LihuaZhao,

FanWang.(2008)

C'est l'ensemble d'éléments qui nous donne une idée sur le mode de vie et la culture d'une société.

La ville de



## CHAPITRE III

Mostaganem est connue par sa diversité culturelle et artistique.

➤ Equipements à fonction régionale

Malheureusement ces données ont connu une forte détérioration

ou nationale :

due à :

- La colonisation française.
- Les propositions politiques inadéquates.
- L'industrialisation.
- L'insécurité qu'a connue l'Algérie durant la décennie noire.

Ils servent à la ville concernée, aux régions déterminées ou aux pays entiers, en égard à l'importance ou à la spécialisation rigoureuse des équipements, ceux-ci sont pour la plus part à vocation unique, implantés soit au centre-ville, soit dans un endroit bien déterminé qui sont généralement, les centre des recherches, les centre culturels scientifiques, les centre de loisirs scientifiques....

### 5. Définition de l'équipement culturel :

Un équipement culturel « Est une institution, également à but non lucratif, qui met en relation les œuvres de création et le public, afin de favoriser la conservation de patrimoine, la création et la formation artistiques et plus généralement, la diffusion des œuvres de l'art et de l'esprit, dans un bâtiment ou un ensemble de bâtiments spécialement adaptés à ces missions »

**Claude Mouillard**

C'est une infrastructure qui développe l'échange culturel et de communication, produite le savoir et le mettre au service de la société, Participe à l'occupation du temps non productif et libre pour les adultes et assure une continuité éducative sur le plan extrascolaire pour les enfants.

### 6. Les types d'équipements culturels :

On peut classer les équipements culturels selon 3 critères :

#### a) Selon l'échelle d'appartenance :

➤ Equipements locaux :

Ils servent aux petites unités « structurelles » urbains aux villages, le périmètre d'actions ne dépasse pas 0.5 à 1 km, en égard à la petite capacité des unités, les équipements peuvent être regroupé dans un seul bâtiment ; on peut incorporer : club scientifique local, salle des réunions et de conférences, bibliothèque.....

La capacité de ces équipements doit être calculée sur la base du nombre d'habitants de l'unité desservie.

#### b) Selon la durée de fréquentation :

- Des équipements d'accueil en plein temps.
- Des équipements d'accueil quotidien.
- Des équipements d'accueil occasionnels.

#### c) Selon les activités : on trouve :

- Tous ce qui est touchent l'éducation et les activités littéraires : auditorium, centre de recherche, bibliothèque....
- Tous ce qui est lié au divertissement et au spectacle : théâtre, cinéma, musée.
- Tous ce qui est touchent les activités socioculturelles.

### 7. Définition d'un centre culturel :

C'est un lieu qui favoriser l'échange culturel et artistique et la communication entre les déférentes catégories sociales.

## CHAPITRE III

### . Etude des exemples :

---

Le choix des exemples s'est basé sur les critères suivants :

- L'équipement doit être un lieu de d'échange social et d'enrichissement culturel.
- L'équipement est destiné principalement à la catégorie estudiantine.
- L'équipement doit être intégré à son environnement immédiat.

1-15 Analyse des exemples :

1-15-1 Centre George Pompidou

1-15-1-1 Présentation:59

### Centre George Pompidou

#### Présentation

Centre George Pompidou conçu par les architectes Renzo Piano et Richard Rogers, il a été inauguré en 1977. Son architecture de métal et de verre, fondée sur la flexibilité et sur sa transparence, a été très controversée.



Figure13 : le centre de l'extérieur

**CHAPITRE III**

---



## Raisons pour choisir une veuve

- Emplacement du terrain à l'entrée de la ville sur le bord de la route nationale 46
- Le trottoir sur le trottoir est facilement accessible
- Le terrain est proche de plusieurs installations d'apprentissage (Institut national de la formation professionnelle, Centre de formation)
- Professionnels et de loisirs ...) ainsi que sa proximité avec l'hôtel et sa proximité avec le musée
- Près du sol d'un tissu urbain

## Un aperçu de Biskra

- Biskra est situé dans le sud-est de l'Algérie sous les pentes sud-est des montagnes de l'Auras
- Au nord-est du Sahara se trouve l'épouse de Zeban, à 600 km de la capitale.
- Elle est bordée au nord par Batna et au nord-ouest par l'état de Mesila et au nord-est par l'état de Khanshla.
- Et du sud-ouest de l'état de Djelfa et du sud et de l'état de Ouargla et de l'état de la vallée du sud-est.
- La superficie totale de l'état est estimée à : Comprend 33 municipalités et quatre districts



La wilaya de Biskra  
<https://fr.windfinder.com/windstatistics/biskra-airport>

## Données climatiques de la ville de Biskra

- Située au nord du Sahara, au pied du massif de l'Aurès et des Monts du Zab (Zibans), Biskra est surnommée la « reine des Zibans », « porte du désert » ou « la Nice saharienne ».
- Une altitude de 120 m au-dessus du niveau de la mer, ce qui fait d'elle une des villes les plus basses d'Algérie.
- Le climat de Biskra est désertique chaud (Classification de Köppen BWh).
- L'hiver, les températures sont froides avec une température moyenne maximale de 17°C, tandis que l'été est long et très chaud avec une température moyenne maximale en juillet qui dépasse 40°C. La pluie y est rare avec seulement 129 mm par an. Les températures en été tournent souvent autour de 46°C et parfois 50°C. Le record de chaleur à Biskra est de 51°C.

### Température de la ville

Selon l'étude climatique Stella, la température moyenne de Biskra est 21,8 c d'environ En ce qui concerne les températures maximales et minimales enregistrées à la surface de la station météorologique de Biskra, nous enregistrons une température maximale estimée au mois de juillet 46,6 c. Et une température minimale est estimée au mois de janvier 0,5 c-

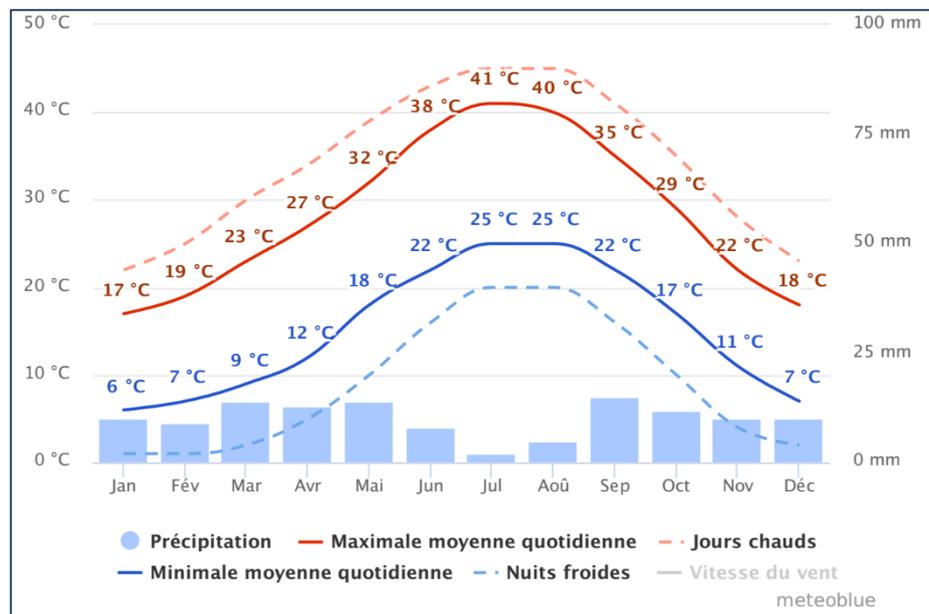
### Quantité de pluie

En étudiant la quantité de précipitations à la surface du projet, le taux de précipitation moyen est estimé à 3,00 mm

- Quant aux taux mensuels des quantités maximales et minimales de précipitations représentées dans

En mars par 10 mm

En juillet et 6 mm



Températures et précipitations moyennes

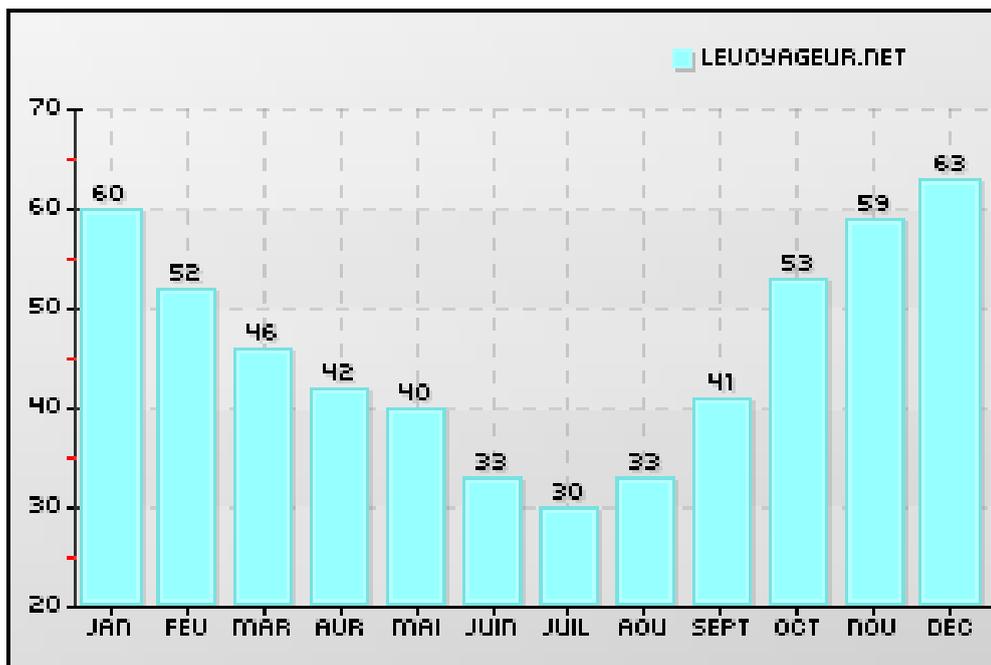
<https://fr.windfinder.com/windstatistics/biskra-ariport>  
05/2014 - 10/2017

**- Taux d'humidité**

En étudiant la teneur en humidité sur le sol du projet Le taux d'humidité moyen était de 46% et les taux mensuels de précipitations maximales et minimales étaient représentés

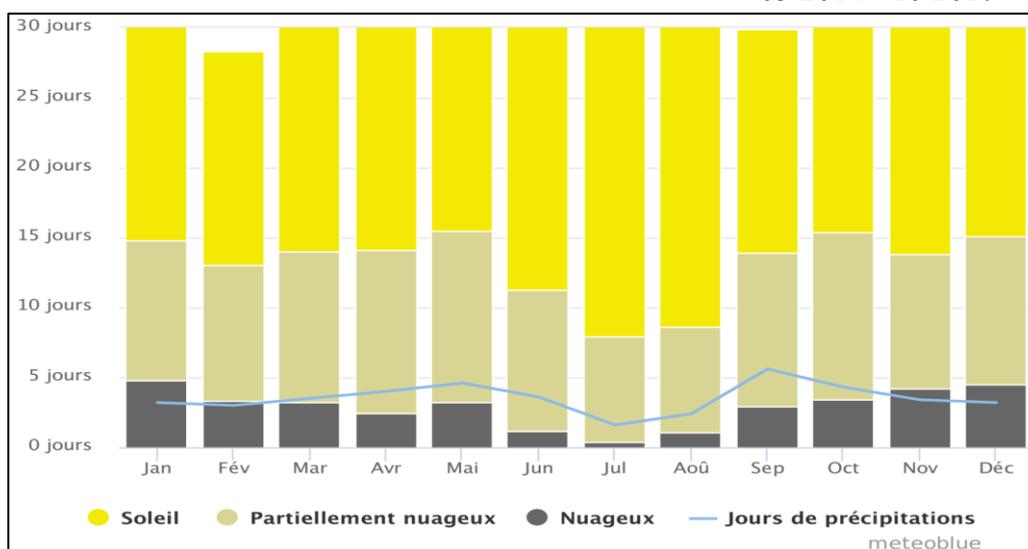
En décembre de 63%

En juillet et juillet



- Taux d'humidité

<https://fr.windfinder.com/windstatistics/biskra-ariport>  
05/2014 - 10/2017

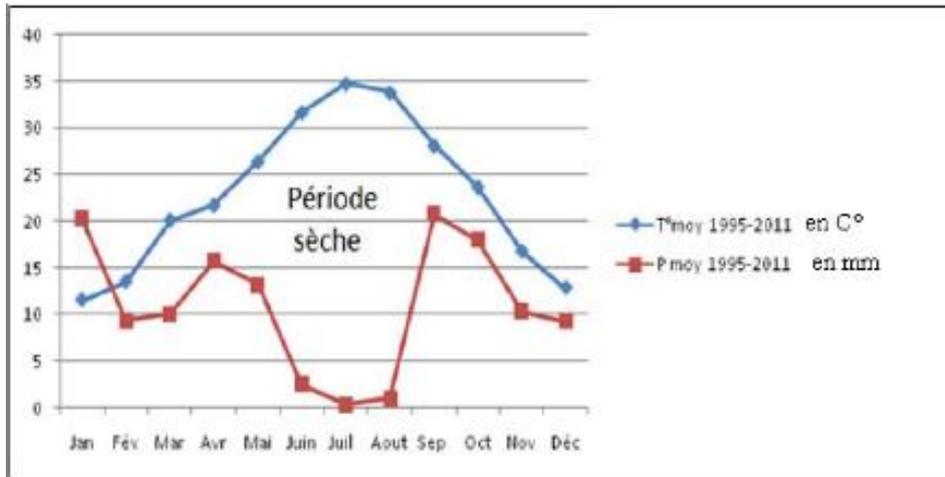


**Ciel nuageux, soleil et jours de précipitations**

<https://fr.windfinder.com/windstatistics/biskra-ariport>  
05/2014 - 10/2017

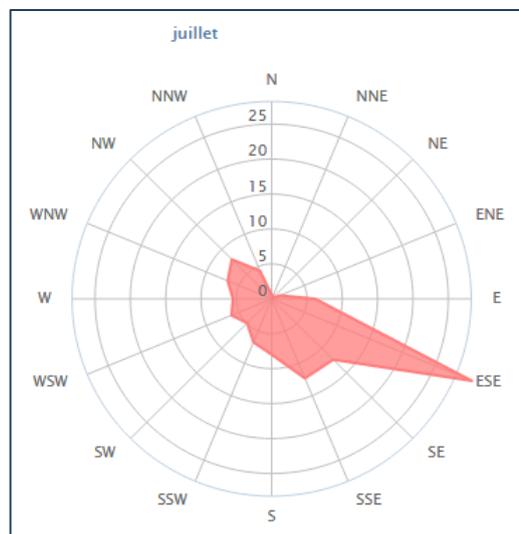
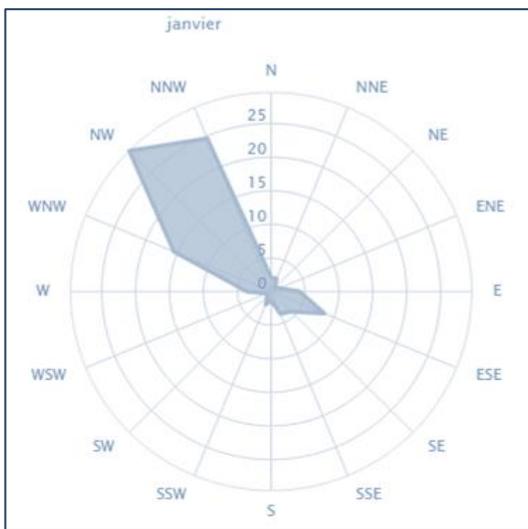
**Vents dominants**

Le vent est un agent important de la désertification. En effet, il accentue l'évapotranspiration et contribue à l'abaissement de l'humidité (Ozenda., 1958). Dans la région de Biskra les vents sont fréquents durant toute l'année. En hiver on enregistre la prédominance des vents froids et humides venants des hauts plateaux et du Nord-ouest, les vents issus du sud sont les plus secs et chauds (Benbouza., 1994)



**Vents dominants**

<https://fr.windfinder.com/windstatistics/biskra-ariport>  
05/2014 - 10/2017



**Diagramme Ombrothermique de Gausson pour la région de Biskra (1995-201**

**Vents dominants**

<https://fr.windfinder.com/windstatistics/biskra-ariport>  
05/2014 - 10/2017

L'aire qui résulte de l'intersection des courbes P et T représente les périodes sèches. A Biskra, la période sèche s'étale sur la totalité de l'année avec une augmentation remarquable pendant l'été.

### - Séismes

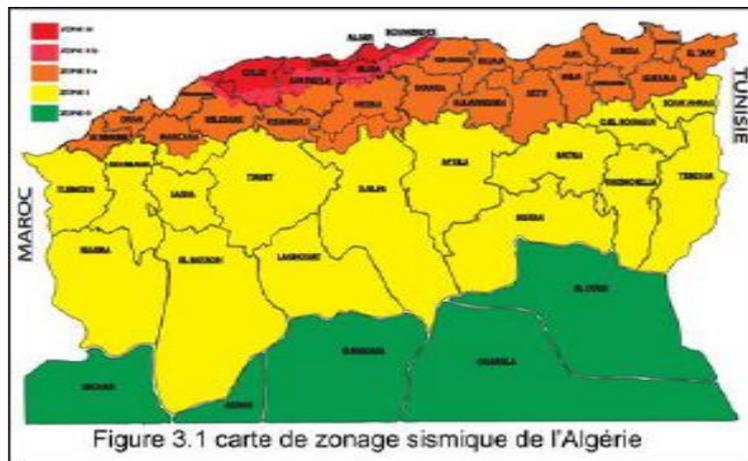
Les zones sismiques en Algérie sont divisées en

Région 3: comprend le grand sud, une région non Séismique

Région 2: comprend le nord du désert et a une activité sismique Pauvre

Région 1: vulnérable aux séismes de degré moyen et comprend des zones Le milieu

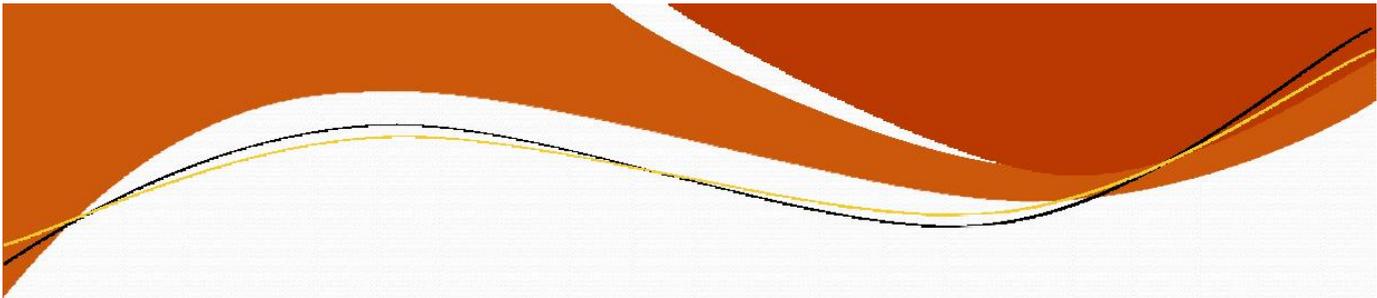
Région 0: comprend les régions du nord et est connue pour sa forte activité sismique



### Les zones sismiques en Algérie

<https://fr.windfinder.com/windstatistics/biskra-ariport>  
05/2014 - 10/20175+





# **Conclusion générale & Perspectives**

### Conclusion générale et perspectives :

Durant ces dernières années, le nombre des atriums construits a considérablement augmenté. Ces espaces qui se caractérisent par leur grande taille et par leur couverture vitrée doivent leur essor aux nombreux avantages qu'ils offrent au bâtiment. Ils permettent souvent de solutionner des problèmes d'éclairage naturel et de fonctionnement. Plus encore, l'atrium devient un élément qui participe, par son esthétique, au prestige de l'édifice. En revanche, le volume hors du commun et la transparence de ces espaces vis-à-vis de l'extérieur les rendent potentiellement soumis à des désordres du point de vue des ambiances et peuvent être source de nuisances puisque le bien-être des usagers s'en trouve affecté. Les différents travaux menés sur le thème des ambiances dans les atriums le confirment. Tous s'accordent à en faire un espace à l'environnement vulnérable et donc délicat à concevoir.

Dans tout projet architectural, la prise en compte des ambiances doit se faire dès les premières phases de la conception. C'est à ce moment, lorsque le projet commence à prendre forme, que l'architecte se doit d'intégrer dans son travail de création des préoccupations d'ambiance. Cela est le cas des ambiances thermiques où, dès le départ, l'impact des phénomènes climatiques extérieurs sur l'environnement construit doit être consciencieusement étudié de manière à ce que l'architecte aboutisse à une conception cohérente. Cela est tout particulièrement le cas des atriums qui sont fortement exposés aux variations des conditions climatiques qui souvent se traduisent par des problèmes thermiques.

L'objectif de ce travail était de contribuer à l'amélioration de la conception des atriums adéquats à notre climat chaud et aride, qui se caractérise par un hiver doux et un été chaud, et c'est durant cette dernière que le problème des ambiances thermiques dans les espaces atrium se démontre par des surchauffes et des stratifications thermiques incontrôlables. Source d'inconfort dans les espaces adjacents, et dans l'espace lui-même. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail, celui de déterminer le comportement de l'environnement thermique des espace atrium sous nos latitudes durant les deux périodes, d'une part, et de valorisé l'effet aéraulique de cheminée présent dans les grands espaces tel que les atriums comme stratégie de rafraîchissement passive en période d'été par ventilation naturelle.

Dans cette optique, il nous a semblé judicieux d'explorer plus avant le comportement thermo-aéraulique des atriums pour forger l'intuition des concepteurs, en ce qui concerne l'appréciation des tendances relatives aux paramètres de conception sur le confort thermique. C'est à partir de cette analyse, en ayant mieux cerné les différents aspects qui entrent en compte dans le fonctionnement climatique d'un grand espace vitré, que nous avons envisagé d'effectuer une étude paramétrique. Celle-ci nous a permis d'aboutir à des conclusions qui pouvant servir d'aide à la conception. Essayons dans ce qui suit de rappeler les éléments qui ont ponctué cette recherche.

Au début dans le premier chapitre, il semblait nécessaire d'introduire ce travail en soulignant les conditions d'émergence des atriums comme forme architecturale à travers un bref aperçu historique. Il paraissait ensuite essentiel d'analyser les caractéristiques formelles et fonctionnelles des atriums tels qu'ils sont conçus aujourd'hui. Ce survol était donc indispensable compte tenu de la nature du sujet que nous traitons. Celui-ci s'inscrit en grande partie dans le champ de l'architecture. C'est par la suite, dans la partie état d'art, que nous basant sur une étude bibliographique, que nous nous sommes intéressés aux aspects comportementaux des atriums. D'une part, cette analyse avait comme objectifs de mieux comprendre les phénomènes physiques qui gouvernent le comportement thermo- aéraulique des atriums et de mettre en évidence les conséquences climatiques estivales. D'autre part, elle nous a permis aussi de cerner les paramètres architecturaux susceptibles d'avoir un impact sur le comportement.. A ce sujet, il faut souligner que la prédiction ou l'analyse de l'ambiance thermo-aéraulique d'un atrium n'est envisageable qu'en utilisant un outil de simulation lourd pouvant décrire précisément le champ thermique et les mouvements d'air.

Cette première partie théorique nous a donc permis l'accumulation des connaissances concernant la phénoménologie du comportement thermique et des mouvements d'air, les aspects de modélisation et les paramètres agissants sur le comportement. C'est une fois cette étape de travail franchie que nous pouvions alors procéder à l'analyse de comportement thermo-aéraulique qui a fait l'objet du volet pratique de la thèse.

A l'issue de ce travail bibliographique, il semblait nécessaire d'étudier de plus près le comportement d'un atrium construit.

Remarquant qu'un espace largement vitré présente, d'une part, une source de chaleur appréciée durant la période hivernale, et des probables

Risques thermiques pendant la saison estivale, d'autre part. La question posée consistait à savoir la repensé thermique de l'ambiance interne de ce type d'espace sous nos latitudes. en premier lieu, de dégagé qu'en hiver, l'espace atriums peut modifier positivement le bilan journalier de la température en relevant la température maximale par les apports solaires, et en maintenant constamment la température minimale, à une valeur au-dessus de la température extérieure. Elles peuvent également apporter une contribution significative à la réduction de la charge thermique pendant l'hiver. Et en deuxième lieu, de mettre en évidence les problèmes de stratification thermique et de surchauffe auxquels est soumis un atrium à certaines heures de la journée pendant la saison estivale. Ces désordres thermiques sont présents dans un volume à toiture vitrée et qui est surtout mal ventilé.

L'effet rafraichissant de la ventilation naturelle à améliorer les températures d'air dans les atriums. Nous avons montré à travers les simulations qu'il est possible de ventiler convenablement ce type d'atrium si des ouvrants sont envisagés au niveau de l'enveloppe de l'espace atrium. Cependant, ces derniers peuvent être conçus d'une façon à introduire un débit d'air assez important pour un renouvellement d'air adéquat. De faite que, la forme de l'espace atrium en tant qu'un grand volume, incite un bon déplacement de l'air par

Différence de densité, qui est amplifié à cause de surchauffe génère sous la toiture vitrée

. De ce faite, la ventilation par tirage thermique a donné un rafraichissement des températures d'air plus prononcés que celle donner par ventilation transversale.

Ce rafraichissement de l'environnement thermique de l'espace atrium a porté une amélioration du confort dans les coursives et les espaces adjacent, dans la mesure où il est considéré comme un environnement extérieur pour ces espaces.

Une amélioration de l'effet rafraichissant de la ventilation par tirage thermique peut être réaliser par un emplacement étudiier des ouvertures, de telles façons à obtenir un maximum de débit d'air traversant le volume, le paramètre d'ordre conceptuel dégagé ainsi est la hauteur entre les ouvertures d'entrées et de sorties, une augmentation de ce dernier donne une augmentation des débits d'air entrant, et par suite une évacuation assez importante de l'air chaud stagné sous la toiture vitrée

Par ailleurs, on ne saurait restreindre le problème de conception des espaces atriums à la seule question du confort thermo-aéraulique. En effet, l'intégration de l'ensemble des aspects suivants semble importante :

1. Comportement thermique et aéraulique
2. Consommation énergétique
3. Eclairage naturel
4. Qualité acoustique
5. Sécurité des biens et des personnes
6. Stratégies des contrôles pour la climatisation et les protections solaires
7. Identité architecturale

Un outil de conception traitant l'ensemble de ces points serait d'une grande aide aux concepteurs. Cet outil pourrait prendre deux formes non exclusives :

- ✓ Un guide ou une « check-list » qui organiserait les connaissances existantes de façon pratique et méthodologique, afin que l'on ne commette pas d'impasse lors du processus de conception et que les technologies adéquates soient utilisées.
- ✓ Conception et que les technologies adéquates soient utilisées.
- ✓ Un outil de modélisation simple ou des abaques, fondés sur les résultats d'analyse des paramètres existants pour chacune des typologies.

Parmi les difficultés majeures à contourner dans l'élaboration de tels outils, on pourra noter les interactions entre différents aspects, abordés le plus souvent à l'heure actuelle de façon indépendante, notamment :

- **Acoustique et aéraulique** : transmission du bruit en milieu avec la ventilation naturelle ou bruit du aux ventilateurs.
- **Sécurité incendie et aéraulique** : la sécurité incendie peut-être un frein à la ventilation naturelle par le cloisonnement aéraulique de l'espace-serre.
- **Thermique et éclairagisme** : la recherche de lumière naturelle peut être en contradiction avec la limitation des apports solaires pour le confort thermique. Les protections solaires permettent à la fois de gérer les surchauffes et les problèmes d'éblouissement.



- ✓ Un outil de modélisation simple ou des abaques, fondés sur les résultats d'analyse des paramètres existants pour chacune des typologies.

Parmi les difficultés majeures à contourner dans l'élaboration de tels outils, on pourra noter les interactions entre différents aspects, abordés le plus souvent à l'heure actuelle de façon indépendante, notamment :

- **Acoustique et aéraulique** : transmission du bruit en milieu avec la ventilation naturelle ou bruit du aux ventilateurs.
- **Sécurité incendie et aéraulique** : la sécurité incendie peut-être un frein à la ventilation naturelle par le cloisonnement aéraulique de l'espace-serre.
- **Thermique et éclairagisme** : la recherche de lumière naturelle peut être en contradiction avec la limitation des apports solaires pour le confort thermique. Les protections solaires permettent à la fois de gérer les surchauffes et les problèmes d'éblouissement.

(M. Hamdani).

La ventilation dans un bâtiment est une fonction fondamentale, mais l'importance d'une bonne qualité de l'air intérieur est également évidente. La ventilation naturelle se produit dans les bâtiments, elle réalise l'échange d'air pour le minimum hygiénique ou même plus, protège de l'humidité Endommagement et peut fournir un bon confort thermique par une ventilation intensive. Il y a aussi des pratiques inappropriées, en particulier dans la zone urbaine où la congestion des routes et la pollution causée par la détérioration de la qualité de l'air intérieur des habitations situées à proximité des routes et cela résulte de la non prise en compte de ces influences.

Des études ont montré que les deux (Chen et Chao, 2011; Leung, ++2015 ; US EPA, 2014). Que les pratiques négatives de la ventilation naturelle puissent entraîner une dégradation de la qualité de l'air intérieur. Où le L'étude réalisée par Zheming Tong a montré que nous avons utilisé un modèle de qualité de l'air basé sur CFD pour quantifier l'impact de la pollution atmosphérique liée au trafic. Pollution de la qualité de l'air intérieur d'un bâtiment à ventilation naturelle. Pour minimiser le problème, nous devons comprendre la relation entre la qualité de l'air dans les environnements intérieurs et extérieurs, en particulier pour la conception, les stratégies efficaces de ventilation naturelle. La ventilation naturelle des bâtiments dépend du climat, de la conception des bâtiments et du comportement humain. Avec une ventilation naturelle du côté interne

La structure du bâtiment est refroidie par des fenêtres ouvertes et / ou des bouches d'aération. Dans la littérature, de nombreuses études ont été entreprises sur l'utilisation de la ventilation naturelle dans les bâtiments, plusieurs des travaux de recherche ont révélé que les solutions de ventilation naturelle du bâtiment ont un effet important sur la performance thermique et le coût de la consommation d'énergie.

## Résultats et discussions

Utilisation des stratégies d'ouverture et de fermeture à travers les fenêtres verticales pour la ventilation de la nature, surtout en été et le refroidissement du bâtiment par système de ventilation utilisant et libérant de l'énergie de l'air extérieur lorsque celui-ci offre une température en dessous de la température intérieure. À Ghardaïa, la température maximale mensuelle moyenne pour 2017 était de 30,15, 35,14, 39,02,45,20, 43,50, 36,62 et 31,98 ° C en avril jusqu'en octobre, respectivement. La nuit, les températures minimales mensuelles moyennes pour L'année 2017 est estimée respectivement à 15,10, 20,11, 24,22, 26,13, 25,69, 22,40, 17,01 ° C allant d'avril à octobre. Pour le mois d'avril, mai, juin, septembre et octobre, cette différence de température entre les valeurs maximales et minimales a pour conséquence différence de pression et contrôle ainsi la circulation de l'air. Grâce à la ventilation nocturne, le refroidissement permet de préserver la fraîcheur nocturne Puis en le restaurant pendant la journée pour minimiser la surchauffe ou réduire les besoins en refroidissement.

L'avantage de cette stratégie est de rafraîchir l'air intérieur même lorsque les températures diurnes sont relativement élevées en cas de diminution de la température extérieure nocturne. Malheureusement, dans ma ville de Ghardaïa, durant les quatre mois de l'été, de juin à octobre, la température est à son maximum.pic à travers les résultats suivants.

Trois jours de juillet ont été choisis du 4 au 7 juillet 2016 dans un ciel clair ont été sélectionnés pour mener à bien ce travail. Températures ambiantes varie de 28,4 ° C à 45,6 ° C pour les jours d'été. La vitesse du vent était de 0 à 5,5 km / h. L'humidité relative de l'air ambiant dans l'air libre est très variable ; il varie entre 15,5% et 67,3%.

En période estivale, les valeurs initiales pour toutes les températures (surfaces isothermes des couches de murs et air intérieur) sont fixées à 30 ° C L'humidité relative de l'air intérieur est calculée pour une teneur en eau initiale fixée à 10–2 Kg d'eau / Kgdry\_ air. Le débit massique d'air peut être maintenus à une valeur fixe de 5 10–4 kg / s.

Le premier a été comparé entre les deux cas pour montrer l'importance de la ventilation, où nous observons dans le premier cas où il y a un studio complètement non isolé (avec une exposition totale)

Nous avons quatre stratégies :

Sans ventilation (été) valeur moyenne d



# Thermal performance of atria: An overview of natural ventilation effective designs

Leila Moosavi , Norhayati Mahyuddin, Norafida Ab Ghafar, Muhammad Azzam Ismail  
Urban Conservation and Tropical Architecture (UCTA), Faculty of Built Environment, University Malaya,  
Kuala Lumpur, Malaysi

L'atrium, grand espace central presque vitré, en particulier dans les bâtiments non résidentiels, est un espace populaire qui a été utilisé avec une tendance à la hausse à travers les siècles depuis Les temps anciens commençant en Mésopotamie.

Atrium fournit un espace esthétique impressionnant, exposant les espaces intérieurs adjacents à la lumière du jour, maximiser les bénéfices des apports solaires directs et augmenter la socialisation et les interactions des habitants. Il fournit également de l'air la circulation et la communication entre les différentes histoires du bâtiment. De plus, l'atrium est considéré comme un facteur contribuant à l'augmentation de la valeur marchande des bâtiments.

L'atrium moderne a ses origines dans les régions à climat tempéré et a été développé pour la première fois au début des années 1990, puis s'est répandu et proliféré simplement en adoptant leur esthétique dans différentes régions avec des climats plus inappropriés sans matériaux adéquats et conditions. L'intérêt d'utiliser la nouvelle technologie et murs de verre, en particulier dans certains immeubles de bureaux et commerciaux, en négligeant les potentiels environnementaux (rayonnement, vent, et autres conditions naturelles) .

Par conséquent, malgré tous les avantages mentionnés ci-dessus, fournir un confort thermique dans l'oreillette nécessite quantité d'énergie élevée due à un gain excessif de chaleur solaire pendant Journée d'été et perte de chaleur pendant les saisons froides à partir de grands vitrages murs et stratification continue de l'air.

Cependant, il est estimé que la consommation d'énergie dans ce type de bâtiments avec optimale la conception est inférieure à 150 kWh / m<sup>2</sup> / an dans certaines régions d'Europe. La ventilation naturelle dans ces bâtiments joue un rôle clé dans la fourniture Qualité optimale de la circulation de l'air à l'intérieur du bâtiment et maintenir un niveau de confort thermique acceptable sans nécessité pour l'emploi de systèmes mécaniques tels que le chauffage, la ventilation, et climatisation (HVAC). Par conséquent, la ventilation naturelle est capable diminution de la consommation d'énergie de CVC, ce qui a contribution aux économies d'énergie dans les bâtiments avec plus de 60% de la consommation totale d'énergie du bâtiment.

Bien que d'autres études aient été menées au cours des dernières décennies système de ventilation naturelle ans les oreillettes, les enquêtes Les paramètres de conception des oreillettes sont encore limités. En raison de sa complexité et du manque d'outils de mesure précis, la prévision de la performance thermique dans l'oreillette est difficile. Beaucoup d'études sont sans des résultats paramétriques détaillés ou simplement se concentrer sur la validation de l'analyse méthodes dans leurs expériences. Par conséquent, un examen complet de toutes les conceptions de bâtiments atrium peut

aider à trouver une utilisation efficace de la ventilation naturelle dans un large éventail de bâtiments à oreillettes pour une meilleure efficacité énergétique.

Ceci maximise les économies d'énergie dans les atriums potentiel dans divers climats en remplaçant ou en aidant mécanique systèmes de ventilation naturelle, ce qui entraîne une diminution des frais de maintenance et d'exploitation tout en offrant meilleur confort thermique et meilleure qualité de l'air intérieur. Cet article tente de réunir les études précédentes réalisations sur les oreillettes à ventilation naturelle et influent paramètre de conception de l'atrium.

Cela démontre comment ils peuvent être appliqué et amélioré pour fournir une meilleure condition thermique pour atrium et espaces adjacents. Il commence par passer en revue l'évolution des approches de conception des oreillettes au cours de l'histoire, les formes génériques de L'atrium et considérations récentes sur les facteurs de conception efficaces des atriums.

### **Recommandations pour des études ultérieures**

Selon la littérature citée, application potentielle du pré refroidissement, du refroidissement par évaporation intégré à la ventilation naturelle, et le contrôle de l'humidité dans les climats chauds et humides doivent être couverts dans les études futures. De plus, les données disponibles sur l'efficacité de certains paramètres de conception tels que la forme du toit, matériau et fixation, fixation de l'ouverture (comme la forme de l'amortisseur, taille et angle) et des composants de l'enceinte de l'atrium sur le flux d'air et la distribution de la température dans les espaces environnants est minimale. Il est également recommandé que davantage d'études soient menées sur capacité des ventilations naturelles éoliennes et assistées par le soleil dans les oreillettes à maximiser leurs performances thermiques. Bien que de nombreuses études aient été menées sur l'efficacité de la ventilation naturelle dans l'atrium, les connaissances sur l'oreillette conception passive est incomplète en ce qui concerne sa complexité et le manque de outils de mesure précis. De nombreuses études pertinentes se concentrent sur validation des méthodes analytiques. En comparant avec d'autres similaires sujets, les paramètres étudiés des oreillettes à ventilation naturelle avoir des résultats moins détaillés. Par conséquent, il est nécessaire de recherches supplémentaires sur des solutions innovantes pour la ventilation naturelle oreillettes et développement de procédures de test fiables

# **Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public :**

## **Cas du département d'Architecture de Tamda (Tizi-Ouzou)**

Introduction Le confort thermique, dans des espaces de vie et de travail, constitue une demande reconnue et justifiée, à laquelle le concepteur doit apporter des solutions durables afin d'éviter toute opération de réhabilitation thermique prématurée. Le besoin de construire beaucoup, vite et pas cher, a engendré une rupture entre l'architecture, victime d'une nouvelle technologie de chauffage et de climatisation, et son environnement le plus proche. Nous assistons aujourd'hui à la réalisation d'édifices transparents, à travers l'utilisation excessive du modèle d'enveloppe mur-rideau, à cela s'ajoute le non-respect d'une meilleure conception architecturale soucieuse de la contrainte climatique et sans oublier la non-maitrise des paramètres thermiques de l'enveloppe de l'édifice. La maîtrise des éléments passifs, contribuant au confort thermique, tels que l'isolation thermique, l'orientation des façades, les ouvertures, la compacité de l'édifice et l'utilisation d'un vitrage à hautes performances thermiques minimisera sans aucun doute les déperditions et gains thermiques dont souffrent les édifices à caractère public. C'est dans cette optique que vient s'inscrire notre travail en mettant en relief l'étude du nouveau département d'architecture de Tamda, récemment réalisé, nécessitant malheureusement une opération de réhabilitation thermique prématurée. A cet effet, un des aspects de notre méthodologie de recherche sera basé sur une enquête de terrain, réalisée auprès de notre communauté universitaire, et sur une campagne de mesures des paramètres d'humidité et de températures (ambiantes et de surfaces)

### **I. Problématique**

Notre travail s'inscrit dans une optique globale de recherche sur l'amélioration de l'aspect qualitatif, notamment le confort thermique dans les bâtiments publics et particulièrement les bâtiments d'enseignements. A travers cette recherche, nous allons essayer de répondre aux préoccupations suivantes :

- Quelles sont les stratégies de conception à adopter, les dispositifs architecturaux à utiliser pour assurer le confort thermique à l'intérieur du bâtiment ?
- De quelle manière interviennent les aspects passifs, climatiques dans l'amélioration du confort et des performances énergétiques des bâtiments ?

### **II. Hypothèses**

- Pour répondre à la problématique posée, nous avons construit les hypothèses suivantes :
- Contrairement à la rigueur quant à l'application des normes antisismiques en vigueur, nous assistons aujourd'hui à la négligence totale du volet thermique ;
- Le respect d'une conception architecturale bioclimatique de départ, la maîtrise des déperditions et gains thermiques de l'enveloppe du bâtiment minimisera sans aucun doute les déperditions et gains thermiques dont souffrent les édifices à caractère public.

### III. Objectifs

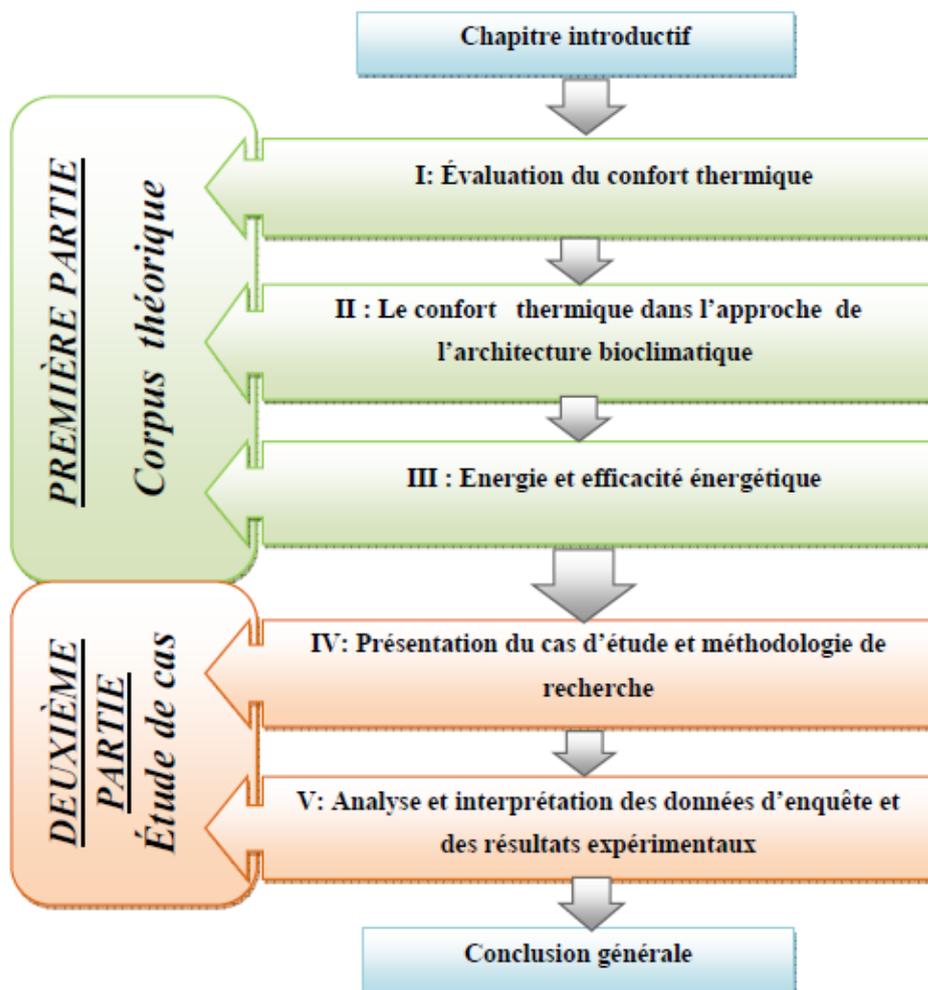
Afin de situer les problèmes du confort thermique dans les bâtiments publics, particulièrement notre cas d'étude (département d'architecture de Tamda), notre recherche a pour objectif de chercher les stratégies de conception à adopter, les dispositifs architecturaux à utiliser pour assurer un niveau de confort thermique acceptable en étudiant l'influence de l'enveloppe du bâtiment sur les ambiances intérieures et comment intégrer le concept bioclimatique afin d'apporter des solutions aux exigences du confort thermique et de réduire les besoins en chauffage et en rafraîchissement. Cet objectif est tributaire d'une enquête auprès des occupants de ces espaces et d'une campagne de mesure des paramètres thermiques de confort.

### IV. Méthodologie de recherche

Notre mémoire est structuré en deux parties : La première concerne le corpus théorique, il s'agit d'introduire le thème de recherche, à travers un état de l'art sur le confort thermique.

Chapitre introductif 3 La deuxième partie, expérimentale, basée sur l'usage de deux outils de recherche : les mesures in situ à l'aide d'instrumentation technique (mesures des températures, d'humidités relatives et des températures de surfaces intérieures et extérieures des salles) et l'enquête par questionnaire auprès de la communauté universitaire

### V. Structure du mémoire



## **Conclusion**

De cette investigation, les résultats montrent, que la température intérieure des ateliers d'architecture dont les ouvertures ne présentent aucune occultation, est conditionnés par le rayonnement entrant par une surface vitrée importante ainsi que le rayonnement absorbé partout la paroi, donc le confort thermique dépend de la réduction de l'énergie transmise et absorbée à travers les parois vitrées en particulier et l'enveloppe en général. L'enquête a montré l'existence d'un inconfort pour les étudiants, lié à un problème de surchauffe de leurs ateliers dû à une orientation défavorable des baies vitrées, à un manque de protections solaires pour la période d'été et à l'inexistence d'une ventilation nocturne. On retiendra de ce chapitre que le bâtiment étudié, présente des insuffisances en matière de prise en charge du confort intérieur. En effet, les conditions vécues par les étudiants dans leurs ateliers déterminés par l'enquête sur le terrain, met en évidence des carences en termes d'inconfort thermique confirmé par notre campagne de mesure sur site qui se résume par : a) La température de l'air élevée est la première manifestation d'inconfort, notamment en été où les étudiants souffrent de surchauffe dans les salles de travail. C'est ainsi que ces derniers sont contraints, de chercher des actions d'adaptations pour améliorer leur confort qui s'avère insuffisante pour parer à cet inconfort et nécessitant donc d'autres moyens et dispositifs de contrôle.

b) Le taux d'humidité élevée est la deuxième manifestation d'inconfort. Après examen des résultats de mesures, il s'avère que les principales raisons de cet inconfort sont :

- 1) La faible inertie thermique de l'enveloppe du bâtiment ;
- 2) Absence de protections solaires ;
- 3) Une surface vitrée très importante, ainsi que la nature du vitrage ;
- 4) Du fait que l'occupation des locaux est intermittente, il est quasiment impossible de créer une ventilation nocturne qui est très importante pour éviter les surchauffes, d'autant plus, en hiver le chauffage central reste allumé le jour comme de nuit.

### **En résumé,**

L'enveloppe du bâtiment ne joue pas son rôle protecteur, ce qui fait que pour atteindre les conditions de confort requises dans ces espaces de travail en été, il faut recourir à des équipements de rafraichissement.



# Bibliographie

## Bibliographie :

### Livre :

1. **B. GIVONI.**(1998) « *Climate considerations in building and urban design* ».Edition John Willy and sons
2. **B. GIVONI.** (1978). « *L'Homme, L'Architecture et le Climat* ». édition : Edition Le Moniteur, paris,
3. **BEDNAR, M.J.** (1986) « *The new atrium* ».McGraw-Hill Inc, New York (USA).
4. **CAPDEROU Michel.** (1984) « *Atlas Solaire De L'Algérie* », tome1, Edition O.P.U, Alger.
5. **CAROLYN ALLEN.** (1984) « *AIRGLOSS : Air Infiltration Glossary (English-French /Français – Anglais) Supplement* », Air Infiltration Centre, Old Bracknell Lane, Grest Britain.
6. **GEIST J.F.** (1989) « *Le passage, un type architectural du XIXème siècle* », Ed Pierre Mardaga, Edition française traduite de l'Allemand par Brausch M, Paris, 623 p
7. **J.L. IZARD.** (1993) « *Architecture d'été: Construire pour le confort d'été* ».Edition Edisud, Aix-en-provence.
8. **MARK LIMB.** (1992) « *Air Infiltration and Ventilation Glossary* », AIVC Air Infiltration and Ventilation Centre, University of Warwick Science Park, Great Britain.
9. **M.H. AHMED, M.T.M. RASDI.** (2002) « *Design Principles of Atrium Buildings for the Tropics* ».Penerbit UTM, Malaysia.
10. **HAZIM.B AWBI.** (2003) « *Ventilation of Buildings (Second edition)* ».Spon Press, London.

11. **HEISELBERG. P, MURAKAMI. S, ROULET.C. A.** (1998) « *Ventilation of a Large Spaces in Buildings: Analysis and Prediction Techniques* ». IEA (energy conservation in buildings and community systems), Kolding Trykcenter A/S, Denmark,
12. **HIX J.** (1974) « *The Glass House* ».Great Britain: Phaidon Press Ltd, London.
13. **LIEBARD.A, DEHERDE.A.** (2005) « *Traite D'architecture et D'urbanisme Bioclimatiques* ». le Moniteur, paris.
14. **MAZRIA .E.** (1981) « *Le Guide de L'énergie Solaire Passive* ». édition Parenthèse, Traduction BAZAN P., illustration BALL R, Paris.
15. **P.LAVIGNE et coll.** (1994) « *Architecture Climatique : Une Contribution au Développement Durable* ». Édition Edissud. Tome1.
16. **P.LAVIGNE et coll.** (1994) « *Architecture Climatique. Une Contribution au Développement Durable* ».Édition Edissud. tome 2.
17. (1993) « *Recommandations architecturales* ». Edition Enag.
18. **SAXON R.** (1983) « *Atrium Buildings: Development and Design* ». Great Britain: The Architectural Press Ltd, London.
19. **U.R.E. Bâtiment.** (1999) « *Guide d'Audit Energétique : 4.VENTILATION ET INFILTRATIONS* ».
20. **V. Olgay.** (1962) « *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism* ». Edition Princeton university press. 1962.

### **Mémoires et thèses :**

1. **BADECHE MOUNIRA.** (2008) « *Impact de la loggia vitrée sur le confort thermique, Dans la région de Constantine* », Mémoire de Magistère, option architecture Bioclimatique, département d'architecture, université de Constantine.
2. **BELMAAZIZ Mohamed.** (2003) « *Les Ambiances Thermo-aérauliques dans les Atriums Linéaires : Contribution à la constitution de règles expertes utilisables dans la conception du projet* ». Thèse de Doctorat, Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy.

3. **BOUCHAHM Yasmina.** (2004) « *Investigation sur la performance thermique du capteur à vent pour le rafraîchissement passif dans les régions chaudes et arides, cas 'Ouargla* », Thèse de Doctorat, université de Constantine.
4. **CORDIER Nicolas.** (2007) « *Développement et Evaluation de Stratégies de Contrôles de Ventilation Appliquées aux Locaux de Grandes Dimensions* ».Thèse de doctorat, Ecole Doctorale MEGA.
5. **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.
6. **DJOUIMAA Ahmed.** (2008) « *Réalisation et Vérification de la Performance Thermique d'une Tour a Vent pour un Rafraîchissement Passif dans les Régions Chaudes et Arides. Cas de Hassi Messaoud*», Mémoire de Magistère, option architecture Bioclimatique, département d'architecture, université de Constantine.
7. **JOHN ASHLEY MABB.**(2001) « *Modification Of Atrium Design To Improve Thermal And Daylighting Performance*, Centre for Medical, Health and 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.
8. **KLEIVEN Tommy.** (2003) « *Natural Ventilation in Buildings: Architectural concepts, consequences and possibilities* ».These de doctorat, Faculty of Architecture and Fine Art, Department of Architectural Design, History and Technology, Norwegian University.
9. **Maxime TROCMÉ.** (2009) « *Aide aux choix de conception de bâtiment économes en énergie* ». Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, France.
10. **MIGUET F.** (2000) « *Paramètres Physiques des Ambiances Architecturales : Un modèle numérique pour la simulation de la lumière naturelle dans le projet urbain* ». Thèse de doctorat, Université de Nantes, France.
11. **MOUJALLED Bassam.** (2007) « *modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés* ». Thèse de doctorat, institut des sciences appliquées de Lyon, France.
12. **PFROMMER P.** (1995) « *Thermal Modeling of Highly Glazed Spaces* ».Ph-D thesis,. Monfort University, Leicester

13. **SIRET D.** (1997) « *Proposition pour une Approche Déclarative des Ambiances dans le Projet Architectural: Application à l'ensoleillement* ».Thèse de doctorat, Université de Nantes.
14. **MIGUET F.** (2000) « *Paramètres Physiques des Ambiances Architecturales : Un modèle numérique pour la simulation de la lumière naturelle dans le projet urbain* ». Thèse de doctorat, Université de Nantes, France.
15. **MOUJALLED Bassam.** (2007) « *modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés* ». Thèse de doctorat, institut des sciences appliquées de Lyon, France.
16. **PFROMMER P.** (1995) « *Thermal Modeling of Highly Glazed Spaces* ».Ph-D thesis, Monfort University, Leicester.
17. **SIRET D.** (1997) « *Proposition pour une Approche Déclarative des Ambiances dans le Projet Architectural: Application à l'ensoleillement* ».Thèse de doctorat, Université de Nantes.
18. **VINET J.** (2000) « *Contribution à la modélisation thermo-aéraulique du microclimat urbain, caractérisation de l'impact de l'eau et de la végétation sur les conditions de confort en espace extérieurs* ». Thèse de doctorat, Université de Nantes.
19. **VOELTZEL A.** (1999) « *Modélisation du comportement thermo-aéraulique des grands volumes vitrés en régime dynamique* ». Thèse de l'ENTPE.
20. **WALL M.** (1996) « *Climate and energy use in glazed spaces* ».Ph-D thesis, University of Lund, Lund Institute of Technology, Department of Building Science.

#### **Revue et articles :**

1. **Abd.Halid Abdullah, QinglinMeng, LihuaZhao, FanWang.**(2008) « *Field study on indoor thermal environment in an atrium in tropical climates* ».Building and Environment 44, pp431– 436
2. **ALDAWOUD .A, CLARK .R.** (2008) « *Comparative Analysis of Energy Performance Between Courtyard and Atrium in Buildings* ».Energy and Buildings 40, pp209–214.
3. **ANDERSEN K.T.** (1995) « *Theoretical Considerations on Natural Ventilation by Thermal Buoyancy* ». ASHRAE Transactions, Vol 101, Part 2, pp 1103-1117.

4. **ATIF MR.** (1993) « *Atrium Buildings: amenities, energy costs and environment* ». Construction Canada; 36(1):43–7.
5. **ATIF M.R., CLARIDGE D.E., BOYER L.L. and DEGELMAN, L.O.** (1995) « *Atrium Buildings: Thermal Performance and Climatic Factors* ». ASHRAE Transactions Research, ASHRAE Winter Meeting. Vol 101, Part 1, Chicago, IL, pp. 454-460.
6. **ARVIND Devikar.** (2001) « *Energy Consumption in Building with Atria In Composite Climate* ». Senior Architect VIII .Central PWD, New Delhi India, pp. 1-21.
7. **AYOOB .A.N, IZARD J.L.**(1994) « *Study of Comfort in Atrium Design* ». Renewable Energy, Vol.5, Part II, pp. 1002-1005.
8. **BAKER Nick.** (1992) « *Atrium Design Guidelines* ». In Building 2000, Vol1, Dordrecht (NL): Kluwer Academic publishers.
9. **BRYN Y.** (1995) « *Atrium Buildings from the Perspective of Function:indoor Air Quality and Energy Use* ».ASHRAE Transactions. Vol 101, Part 2, pp. 829-840.
10. **DEMERS, POTVIN.** (2004) « *L'atrium : Espace Bioclimatique Viable en Milieu Nordique* ». Esquisses, bulletin d'information de l'Ordre des Architectes du Québec, volume 15, numéro 4, Novembre-janvier.
11. **DORER V. and WEBER A.**(1999) « *Air Contaminant and Heat Transport Models: Intergration and Application* ». Energy and Buildings. Vol 3, N° 1, pp. 97-104.
12. **FOSTER M.P. and DOWN M.P.**(1987) « *Ventilation of Livestock Buildings by Natural Ventilation* ». A review. Journal of Agricultural Engineering 37, pp. 1-13.
13. **ÖzgürGöçer, AslihanTavil, and ErtanÖzkan.**(2006) « *Thermal Performance Simulation of an Atrium Building* ». Proceedings of eSim 2006 Building Performance Simulation Conference Faculty of Architecture, Landscape, and Design, University of Toronto, Canada, May 4 & 5.
14. **GROLEAU D. et MARENNE C.**(1992) « *Evaluation Géométrique Des Facteurs De Forme Dans Une Scene Avec Prise En Compte Des Masques et de L'ensoleillement* ». In : journée d'étude SFT, sur les méthodes de calcul des échanges radiatifs, Paris, 25 mars
15. **GROLEAU D., MARENNE C. ET LEFEUVRE M.** (1994) « *Simulation Des Ecoulements D'air Dans Les Espaces Vitres Ensoleilles : Le cas d'une rue couverte* ». In: Proceedings European Conference on Performance and Indoor Climate in Buildings,.Lyon, France, 24-26 Novembre, pp. 161 - 166.
16. **HALID. A. A, MENG. Q, ZHAO. L, WANG .F.**(2009) « *Field Study on Indoor Thermal Environment in an Atrium in Tropical Climates* ». Building and Environment, Volume 44, Issue 2, February, Pages 431-436.
17. **IOANMoga, LIGIAMoga.** (2009) « *The Thermal Performance of the Building Envelope*

18. , **GROLEAU D., MARENNE C. ET LEFEUVRE M.** (1994) « *Simulation Des Ecoulements D'air Dans Les Espaces Vitres Ensoleilles : Le cas d'une rue couverte* ».In: Proceedings European Conference on Performance and Indoor Climate in Buildings,.Lyon, France, 24-26 Novembre, pp. 161 - 166.
19. **HALID. A. A, MENG. Q, ZHAO. L, WANG .F.**(2009) « *Field Study on Indoor Thermal Environment in an Atrium in Tropical Climates* ».Building and Environment, Volume 44, Issue 2, February, Pages 431-436.
20. **IOANMoga, LIGIAMoga.** (2009) « *The Thermal Performance of the Building Envelope Elements Having Glazing Surfaces* ».Building simulation.
21. **IZARD J.L. AYOUB A. et BRASSELET J.P.** (1994) « *Le Confort D'été Dans Les Atriums : recherche de mise au point d'outils simplifiés de prédimensionnement* ». Rapport ADEME, décembre.
22. **IZARD J.L., BELMAAZIZ M., FRUSTAS F. et MAZOUÉ F.**(1997) « *Le Confort D'été Dans Les Atriums* ». Rapport de recherche du Laboratoire ABC, OASIIS, ADEME, juin, 110 p.
23. **IZARD J.L, BELMAAZIZ .M, DESTOBBELEIRE .G, DEPECKER .P.**(1998)« *Le Confort Thermique D'été Dans Les Atriums: Comment prédire le comportement thermique de ces espaces architecturaux?* », EPIC 98, 2ème conférence Européenne Performance énergétique et Qualité des Ambiances dans le bâtiment, Lyon, 19-21 Novembre.
24. **JAYESH.H, S. FARUQ, PE, P.R. RITTELMANN, FAIA.**(2003)« *Atrium Design Strategies for Daylighting and Natural Ventilation* ».USGBC: International Conference, Pittsburgh, Pennsylvania, November 12 – 14.
25. **JOANNE M. HOLFORD, GARY R. HUNT.** (2003) « *Fundamental atrium design for natural ventilation* ». Building and Environment 38, pp409 – 426.
26. **JONES J.R. and LUTHER M.B.** (1993) « *A Summary of Analytical Methods And Case Study Monitoring Of Atria* ».ASHRAE Transactions, pp. 1070-1081.
27. **JOSEPH M. HORAN, DONAL P. FINN.**(2008)« *Sensitivity Of Air Change Rates In A Naturally Ventilated Atrium Space Subject To Variations In External Wind Speed And Direction* ». Energy and Buildings 40, pp 1577–1585.
28. **JP BRASSELET.** « *Confort D'été, Rafrachissement ou Climatisation Des Bâtiments* » (logiciel de simulation thermique TAS et méthode opti clim).
29. **JULURIA Y.** (1980) « *Natural Convection Heat and Mass Transfer* ».Pergamon Press, England. Chapitre 6: Natural Convection in Stratified Media, p173-208.
30. **LAOUADI A, ATIF MR, GALASIU A.** (2000) « *Development of Design Tools of Atrium Skylights in Canadian Climates, Part 3: thermal and energy performance* ».Report B-

31. **LAOUADI A., ATIF M.R. GALASIU A.** (2002) « *Towards Developing Skylight Design Tools for Thermal And Energy Performance of Atriums In Cold Climates* ». Building and Environment, 37 (1289-136).
32. **LOMAS K.L. and EPPEL, H.** (1994) « *Atrium studies technical review: Final report. Environmental computer aided design and performance* ». (ECADAP) Group School of Built Environment, ETSU, Cambridge.
33. **PAN. Y, Y. Li, Z. HUANG, G. WU.**(2008) « *Study On Simulation Methods Of Atrium Building Cooling Load In Hot-And-Humid Regions* ».Energy and Buildings, doi:10.1016/j.enbuild.2010.04.008.
34. **ROBERTSON, G.** (1991) « *Atria-Temperate Climate Responses* » In: Proceedings of the 9th International Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA 91). Seville, Spain, September, pp. 251-256.
35. **SCHILD P.**(1996) « *CFD Analyse of an Atrium Using a Conjugate Heat Transfer Model Incorporating Long-Wave and Solar Radiation* ». In: Proceedings of the 5th International Conference on Air Distribution in Rooms (ROOMVENT 96). Yokohama, Japon, le 17 July, pp. 185-194
36. **WANG. X, HUANG. C, CAO. W.** (2009) « *Mathematical Modeling and Experimental Study on Vertical Temperature Distribution of Hybrid Ventilation in an Atrium Building* ».Energy and Buildings 41, pp 907–914.
37. **YOSHINO Hiroshi, ITOKuniaki, AOZASA Ken.** (1995) « *Trends in Thermal Environmental Design of Atrium Buildings in Japan* ». ASHARE Transaction, vol 101 n°2, p858-865.
  - Systran professionnel v 6 : logiciel de traduction Français - Anglais / English-French

**Sites internet:**

1. <http://www.ademe.fr>.
2. <http://mrw.wallonie.be/energieplus>
3. [http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page\\_16218.htm](http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_16218.htm)
4. <http://www.outilssolaires.com/Archi/prin-ventilation2.htm>
5. <http://espace.lecolededesign.com/2009/06/la-ventilation-naturelle/>
6. <http://www.marseille.archi.fr/ABC/Atriums.htm>
7. <http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/idp/irc/sc/ctus-n47.html>
8. <http://www.umc.dz>
9. <http://www.souchier.fr/Atriums.html>
10. <http://books.google.fr/>: CHRISTIAN SCHITTICH : Construire En Verre [en ligne]
11. <http://sun-swes.com/>: Sun-Swces. Design Guidelines for Solar Buildings System. [en ligne]
12. <http://www.sciencedirect.com/>
13. <http://www.archi.fr/RECHERCHE/annuaireg/pdf/ABC.html>
14. <http://www.wikipedia.com>
15. <http://www.ashrae.org>
16. <http://download.reedexpo.fr/salons/interclima/conferences/Le-lycee-Kyoto.pdf>
17. <http://www.ibgebim.be/soussites/energieplus/fr/CDRom/Ventilation/etudescas.htm>
18. <http://perso.orange.fr>
19. UCL-architecture et climat.2000.[Enligne]www energie2.arch.vcl.ac.be.données%20
20. <http://www.colt-france.fr/les-produits-et-les-systemes-colt/ventilation-naturelle/>
21. [http://www.batimentenergie.org/fileadmin/user\\_upload/climhybu/Climhybu\\_annexe1pdf](http://www.batimentenergie.org/fileadmin/user_upload/climhybu/Climhybu_annexe1pdf)
22. <http://cat.inist.fr>
23. [http://www.thermistop.com/files/Telechargements/Fournisseurs/4/Brochure\\_Ventilation\\_naturelle\\_F-F.pdf](http://www.thermistop.com/files/Telechargements/Fournisseurs/4/Brochure_Ventilation_naturelle_F-F.pdf)
24. [www.batir-sain.com](http://www.batir-sain.com)
25. <http://webzine.cstb.fr>.
26. [www.xella.be/html/bel/fr](http://www.xella.be/html/bel/fr)
27. [www.sun-swes.com](http://www.sun-swes.com)  
[www.edsl.com](http://www.edsl.com)