UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE

MEMOIRE DE MAGISTER

Spécialité : **Architecture**

Option : **Architecture et développement durable**

Sur le thème :

Confort thermique dans les constructions en béton préfabriqué : cas de la faculté des sciences médicales de l'université de Tizi-Ouzou

Présenté par :

M^r^. **DEHMOUS M'hand**

Devant le jury composé de :

M^r^ MAKHLOUF Saïd	Professeur	UMMTO	Président
M^r^ BOUSSAFEUR Kaci	Maitre de conférences (A)	UMMTO	Rapporteur
M^r^ LAMROUS Nacer	Maitre de conférences (A)	ENPEI Rouiba	Examinateur
M^r^ AICHE Boussad	Maitre de conférences (B)	UMMTO	Examinateur

Soutenu le : 13 / 01 / 2016

REMERCIEMENTS

Avant toutes choses, louanges à dieu le seul maitre de notre destinée, pour m'avoir donné la force et le courage de mener à terme ce travail.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à mon directeur de mémoire, Monsieur BOUSSAFEUR Kaci, Maitre de conférences à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour m'avoir accueilli dans son équipe et m'avoir épaulé dans la réalisation de ce mémoire. J'ai eu la chance de bénéficier d'un encadrement attentif, plein de confiance et de sérénité. Je remercie également, Monsieur MAKHLOUF Saïd, professeur à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour avoir accepté de présider mon jury de soutenance et Monsieur LAMROUS Nacer, Maitre de conférences à l'Ecole Nationale Préparatoire aux Études d'Ingéniorat (ENPEI) de Rouiba ainsi que Monsieur AICHE Boussad, Maitre de conférences à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, pour avoir accepté d'examiner et d'évaluer mon travail de recherche.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de :

Professeur AIT ALI Hocine, doyen de la faculté des sciences médicales de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou et le personnel du service des moyens généraux, en particulier Monsieur SAÏB Cherif, Monsieur YAKOUBI Mahieddine et Monsieur KHENNACHE Med Akli, pour leur consentement et contribution quant à mon travail in-situ et pour les documents et renseignements précieux qu'ils m'ont fournis.

Mes collègues de la Société Algérienne d'Expertise - Centre d'expertise de Tizi-Ouzou - en particulier les experts du service Bâtiment et Risques Divers ainsi que le chef de centre pour leurs compréhension et soutien moral.

Mademoiselle KHAINES Yasmina, Architecte urbaniste, Doctorante en Géographie, Laboratoire ENeC, Université de la Sorbonne (Paris IV), pour tous les livres et les thèses qu'elle m'a procurés auprès des bibliothèques universitaires parisiennes.

Tout le personnel de la bibliothèque du département d'architecture à « l'habitat » et à Tamda et la bibliothèque du département du génie mécanique pour leur compréhension et leur disponibilité.

Tous les membres de ma famille, mes parents en particulier, pour leur aide, leur encouragement et leur soutien incessants durant l'accomplissement de ce travail.

Toutes les personnes ayant participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Au lendemain de la seconde guerre mondiale, face à l'urgence de la reconstruction, des pays comme la France ou l'URSS ont lancé de vastes opérations de construction de logements, d'équipements, voir de villes entières en employant des méthodes constructives nouvelles dites industrialisées. Bien que l'Algérie ne soit pas directement affectée par l'effet dévastateur de cette guerre, étant sous la colonisation française, elle bénéficiera en 1959 de l'implantation, à Constantine et à Philippeville (actuelle Skikda), de deux usines de préfabrication. Après l'indépendance, dès 1970, une politique d'industrialisation du bâtiment sera mise en œuvre par les autorités en important une armada de procédés de préfabrication et de coffrages outils.

Il faut dire qu'aujourd'hui, les travaux de recherches qui abordent la production industrielle du bâtiment d'une façon autre que quantitative sont très rares. En effet, dans une poignée de publications, certains architectes, sociologues ou économistes ont décrié les défauts et les inconvénients de ces programmes de construction massifs. Pour notre part, nous nous sommes intéressés au confort thermique des bâtiments en béton préfabriqué, un aspect qualitatif qui incarne, lorsqu'il est négligé, la rupture entre l'architecture et le climat et qui est la source de gaspillage d'énergie.

Ces dernières années, l'Algérie a lancé un programme de construction de logements et d'équipements publics à très grande échelle et dont les exigences semblent être les délais de réalisation et les coûts réduits négligeant un temps soit peu la maitrise de la consommation énergétique. C'est dans cette optique que notre pays a opté pour la relance de la construction industrialisée et a programmé la réalisation de cinq grandes usines de préfabrication à travers le territoire national. Notre travail de recherche se veut comme une contribution à cet effort et vise à élargir le débat et la réflexion autour de la question du confort thermique dans le bâtiment, et chercher les moyens de réduire le recours systématique aux appoints mécaniques de climatisation et de chauffage source de beaucoup de gaspillage énergétique. Pour mener cette étude, nous nous sommes servi du cas particulier de la faculté des sciences médicales de l'université de Tizi-Ouzou, qui constitue un parfait exemple de construction en béton préfabriqué au regard des multiples particularités qu'il renferme en terme de structure et de dispositif d'isolation thermique, entre autres.

Mots-clés : Constructions industrialisées, béton préfabriqué, confort thermique, bilan thermique, faculté des sciences médicales de Tizi Ouzou, simulation thermique.

Abstract

The next day of the Second World War, the urgency of the reconstruction pushed countries as France and the USSR to launch huge operations of house building, equipments and whole cities using new constructive methods called industrialized. Although Algeria is not directly affected by the devastating effect of this war, being under the French colonization, it will benefit in 1959 from the implantation at Constantine and Philippeville (current Skikda) of two factories of prefabrication. After the independence, from 1970, a policy of industrialization of the building will be implemented by the authorities by importing an armada of prefabrication processes and coffering tools.

It is necessary to say that today the research works which approach the industrial production of the building is mainly based on quantity. Indeed, in some publications, some architects, sociologists or economists slandered the defects and the inconveniences of these massive programs of construction. In our part, we were interested in the thermal comfort watertight buildings prefabricated, a qualitative aspect which is embodied when it is neglected, the break between the architect and the climate which is the source of wasting energy.

These last years, Algeria launched a program of homebuilding and a public equipments in a very large-scale where the requirements seem to be lead in terms of realization and reduced costs as well as the control of the energy consumption. From this perspective our country opted for the revival of the industrialized construction and scheduled the realization of five big factories of prefabrication through the national territory. Our research work aims to widen the debate and the reflection around the question of the thermal comfort in the building and looking for the ways to reduce the systematic appeal to the mechanical supplements of air conditioning and heating the source of a lot of energy wasting. To lead this study, we used the particular case of the faculty of the medical sciences of the University of Tizi-Ouzou as a perfect example of concrete construction prefabricated with regard to the multiple peculiarities which contains in term of structure and device of heat insulation, among others.

Keywords : Industrialized constructions, concrete prefabricated building, thermal comfort, thermal balance, faculty of medical sciences of Tizi-Ouzou, thermal simulation.

ملخص

بعد الحرب العالمية الثانية، وبالنظر إلى الحاجة الملحة لإعادة البناء و التعمير، بلدان مثل فرنسا أو الاتحاد السوفياتي أطلقوا عمليات بناء مساكن ومرافق واسعة أو حتى مدن بأكملها و ذلك باستخدام أساليب بناء الجديدة تدعى "صناعية". على الرغم من أن الجزائر لم تتأثر مباشرة من دمار هذه الحرب، كونها تحت الاستعمار الفرنسي، استفادت في عام 1959 من إنشاء محطتين للتصنيع المسبق بالخرسانة و ذلك في مدينتي قسنطينة و سكيكدة. بعد الاستقلال، ابتداءا من عام 1970، تم تنفيذ سياسة تصنيع من قبل السلطات الجزائرية في مشاريع البناء عن طريق استيراد اعداد هائلة من منظومات التصنيع المسبق بالخرسانة وكذلك أدوات البناء المصنعة.

لابد من القول في الوقت الحاضر، أن البحوث العلمية التي تتناول بطريقة نوعية الإنتاج الصناعي للمباني نادرة جدا. في الواقع، توجد بضعة منشورات علمية قام فيها بعض المهندسين المعماريين و علماء الاجتماع و الاقتصاد بانتقاد عيوب هذه البرامج البنائية الضخمة. من جانبنا، وجهنا اهتمامنا الى الراحة الحرارية في المباني المسبقة التصنيع بالخرسانة، ذاك الجانب النوعي، الذي يجسد، عندما يكون غائبا، قطع العلاقات بين الهندسة المعمارية والمناخ، وكذلك مصدرا لإهدار الكثير من الطاقة.

في السنوات الأخيرة، أطلقت الجزائر برنامج بناء مساكن و مرافق عامة على نطاق واسع، مع هدف تخفيض تكاليف و مهل البناء و كذلك التمكن من التحكم في استهلاك الطاقة. و في هذا السياق، اختارت بلادنا إحياء البناء الصناعي و قررت إنشاء خمسة محطات كبيرة للتصنيع المسبق بالخرسانة في جميع أنحاء البلاد. يهدف بحثنا هذا الى المساهمة في هذا الجهد، و كذلك توسيع النقاش والتفكير حول مسألة الراحة الحرارية في المبانئ، والبحث عن سبل للحد من الاعتماد على الاستعمال الضروري لإجهزة تكييف الهواء والتدفئة. لإجراء هذه الدراسة، وقع خيارنا على مبنى كلية العلوم الطبية لجامعة تيزي وزو، الذي يعتبر حسب رأينا خير مثال للبنايات المسبقة التصنيع بالخرسانة و ذلك نظرا للميزات المتعددة التي يحتوي عنها مثل الهيكل أو جهاز العزل الحراري.

الكلمات الرئيسية : الهندسة الصناعية، الخرسانة المسبقة الصنع، الراحة الحرارية، التوازن الحراري، الهندسة المعمارية المناخية، كلية علوم الطب بتيزي وزو، المحاكاة الحرارية.

TABLE DES MATIERES

Remerciements i
Résumé ii
Abstract iii
ملخص iv
Table des matières v

Chapitre introductif. 1

Introduction générale 2
1. Problématique 3
2. Hypothèses de l'étude 4
3. Objectifs et limites de l'étude 5
4. Méthodologie de recherche et structure du mémoire 6

Chapitre I. ***REGARDS SUR L'INDUSTRIALISATION ET LA PREFABRICATION DU BATI*** 9

Introduction 10
I-1. Introduction à la notion d'industrialisation du bâtiment 11
I-1. 1. Que signifie l'industrialisation ? 11
I-1. 2. L'industrialisation appliquée au secteur du bâtiment 11
I-2. Industrialisation de la construction et architecture moderne 12
I-2. 1. Facteurs de l'émergence des techniques de construction industrialisées 12
I-2. 1. 1. Facteurs économiques et sociaux 13
I-2. 1. 2. Facteurs techniques 14
I-2. 2. La place de l'industrialisation dans le mouvement d'architecture moderne 15
I-3. L'industrialisation de l'usage du béton armé et coffrages outils 16
I-3. 1. Coffrage en planches de bois 16
I-3. 2. Banches, tables et tunnels 17
I-3. 2. 1. Banches 17
I-3. 2. 2. Tables 18
I-3. 2. 3. Tunnels 18
I-3. 3. Coffrages glissants 19
I-4. La préfabrication, vitrine de l'industrialisation du bâtiment 19
I-4. 1. Provenances et issues de la préfabrication 20

I-4. 1. 1. Perfectionnement des procédés de construction traditionnels ……..… 20
I-4. 1. 2. Adoption de la préfabrication ……..… 21
I-5. Naissance et évolution de la préfabrication en France et en Algérie …..…… 21
I-5. 1. L'avènement de la préfabrication en France ……...…… 21
I-5. 1. 1. Le rôle prépondérant des constructeurs en béton armé du début du XXème siècle dans l'émergence de la construction préfabriquée ……. 22
I-5. 1. 2. Auguste Perret, pionnier de la préfabrication française …… 23
I-5. 1. 2. 1. Qui est August Perret ? ……...…… 23
I-5. 1. 2. 2. Le chantier de la reconstruction de la ville du Havre …… 24
I-5. 1. 3. La préfabrication Françaises à travers ses procédés ……..…… 25
I-5. 1. 3. 1. Les procédés Camus ……...…… 26
I-5. 1. 3. 1. 1. Qui est Raymond Camus ? ……....…… 26
I-5. 1. 3. 1. 2. Camus, un procédé novateur ……..…… 27
I-5. 1. 3. 1. 3. Description des procédés Camus …...……...…… 28
I-5. 1. 3. 1. 4. Degré de prise en charge de la qualité thermique ……...…… 29
I-5. 1. 3. 1. 5. Assimilation de la valeur architecturale par les procédés Camus … 29
I-5. 2. L'industrialisation et la préfabrication du bâtiment en Algérie ……...… 31
I-5. 2. 1. Cadre temporel de l'usage des méthodes industrielles dans bâtiment …. 31
I-5. 2. 1. 1. Les usines Camus-Rossi de Constantine et Philippeville 1960-1962 . 31
I-5. 2. 1. 2. Les plans quadriennaux 1970-1977 où la relance de l'industrialisation du bâtiment ……...…….. 34
I-5. 2. 1. 2. 1. Implication des entreprises publiques, privées et étrangères …… 35
I-5. 2. 1. 2. 2. Contexte international ……...…… 37
I-5. 2. 1. 3. Les plans quinquennaux 1980-1989 …… 38
I-5. 2. 1. 4. Depuis 1990 à nos jours ……...…… 38
I-5. 2. 1. 5. Vers la réhabilitation du recours aux procédés du logement industriel par la ressuscitation des grandes entreprises publiques ……. 39
I-6. La préfabrication à travers ses dualités ……...…… 40
I-6. 1. Préfabrication en usine, en atelier ou sur chantier …… 40
I-6. 2. Préfabrication lourde ou légère ……...…… 42
I-6. 3. Préfabrication ouverte ou fermée ……..… 43
I-6. 4. Préfabrication totale ou partielle ……..…… 44
I-6. 5. Préfabrication provisoire ou définitive ……..…… 45
I-7. Problèmes récurrents liés à la préfabrication du bâtiment ……...…… 46
I-7. 1. L'aspect architectural et esthétique ……..…… 46
I-7. 2. Confort thermique et étanchéité à l'air et à l'eau …… 48
Conclusion ……..… 51

Chapitre II. ***ETAT DES CONNAISSANCES DE LA NOTION DU CONFORT THERMIQUE*** ……..…..…… 52

Introduction ……. 53
II-1. Notions de grandeurs physiques de l'environnement thermique ……..…… 54
II-1. 1. La température ……...…… 54
II-1. 1. 1. La température de l'air ambiant ……..… 54
II-1. 1. 2. La température rayonnante des parois ……...…… 54
II-1. 1. 3. La température d'ambiance ……...……...… 55
II-1. 1. 4. La température opérative ou résultante ……..…… 55
II-1. 2. Les mouvements de l'air ……...…… 56
II-1. 3. L'humidité relative …… 56
II-2. Le comportement thermique de l'enveloppe des bâtiments …… 57
II-2. 1. Isolation thermique ……..…… 57
II-2. 1. 1. La conductivité thermique (λ) ……...…… 57
II-2. 1. 2. La résistance thermique (R) ……..…… 58
II-2. 1. 3. Le coefficient de transmission surfacique (K) ……..…… 58
II-2. 2. Inertie thermique ……...…… 58
II-2. 2. 1. Inertie thermique d'un bâtiment, principe de superposition …… 59
II-2. 2. 2. La diffusivité thermique (a) ……..…… 60
II-2. 2. 3. L'effusivité thermique (Ef) ……...…… 60
II-3. Le confort thermique et le corps humain …… 60
II-3. 1. Echanges thermiques entre le corps humain et son environnement ……..... 61
II-3. 1. 1. La conduction ……..…..…… 61
II-3. 1. 2. La convection ……...… 61
II-3. 1. 3. Le rayonnement …… 61
II-3. 2. Le métabolisme …….. 61
II-3. 3. L'habillement …… 62
II-3. 4. Le bilan thermique ……..…… 63
II-4. Les deux grandes approches du confort thermique ……...…… 63
II-4. 1. L'approche analytique ……...…… 64
II-4. 1. 1. Les indices PMV et PPD de Fanger ……..…… 64
II-4. 1. 1. 1. L'indice PMV …… 65
II-4. 1. 1. 2. L'indice PPD ……...…… 65
II-4. 2. L'approche adaptative ……...… 66
II-4. 2. 1. L'adaptation par ajustement comportemental ……...…… 67
II-4. 2. 2. L'adaptation par l'acclimatation physiologique ……...…… 67

II-4. 2. 3. L'adaptation par accoutumance psychologique ……..… 68
II-5. Aspect réglementaire du confort thermique en Algérie …… 68
II-5. 1. Le D.T.R. C 3-2, Règles de calcul des déperditions calorifiques ……..… 69
II-5. 2. Le D.T.R. C 3-4, Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments 70
II-6. Le confort thermique dans l'approche de l'architecture bioclimatique …..... 71
II-6. 1. Stratégies bioclimatiques pour améliorer le confort thermique …… 71
II-6. 1. 1. Le confort d'hiver (Stratégie du chaud) ……..… 71
II-6. 1. 2. Le confort d'été (Stratégie du froid) ……..… 72
II-6. 2. Techniques bioclimatiques spécifiques ……..… 73
II-6. 2. 1. Les murs capteurs accumulateurs …… 74
II-6. 2. 2. Les serres bioclimatiques …….. 75
II-6. 2. 3. Les capteurs à air ……..…… 75
II-6. 2. 4. Les puits Canadiens ……..…… 76
Conclusion ……..……..… 77

Chapitre III. ***PRESENTATION DES CONTEXTES GLOBAL ET IMMEDIAT DE L'ETUDE*** ……...…….....…… 78

Introduction ……..…….. 79
III-1. Tizi-Ouzou, situation géographique et données climatiques ……...… 79
III-1. 1. Situation de la ville de Tizi-Ouzou ……. 79
III-1. 2. Données climatiques de la ville de Tizi-Ouzou …… 80
III-1. 2. 1. Les températures d'air ……...… 81
III-1. 2. 2. La durée d'insolation ……...… 82
III-1. 2. 3. Les vents ……..… 83
III-1. 2. 4. L'humidité relative de l'air …… 84
III-1. 2. 5. Les précipitations ……...… 85
III-1. 2. 6. Synthèse des données climatiques de la ville de Tizi-Ouzou …… 85
III-2. Situation du parc immobilier de la ville de Tizi-Ouzou ……...… 86
III-2. 1. Urbanisation de la ville de Tizi-Ouzou, bref rappel historique …… 86
III-2. 2. Secteur du logement et des équipements publics à Tizi-Ouzou …… 88
III-3. Les constructions en béton préfabriqué à Tizi-Ouzou, état des lieux ……. 89
III-3. 1. Universités ……..……. 89
III-3. 2. Résidences universitaires ……..……...… 90
III-3. 3. Lycées ……..…… 90
III-3. 4. Cités d'habitation ……..…...… 91
III-3. 4. 1 La cité des 72 Logements « ENIEM » ……..……..… 91

III-3. 4. 2. La cité des 48 Logements « Réhahlia » ……..…….… 91
III-3. 4. 3. La cité des 450 Logements ENPI ex EPLF (Cité Salah Louanchi) ...… 92
III-3. 4. 4. La cité des 600 logements GeniSider …… 92
III-3. 4. 5. La cité des 510 Logements OPGI ……..… 93
III-4. L'ex centre biomédical comme cas d'étude ….……..… 93
III-4. 1. Présentation et situation géographique …..……...… 93
III-4. 2. Un point d'histoire ……..……. 94
III-4. 3. L'entreprise PASCAL SARL ……..…… 95
III-4. 4. Principaux ouvrages et programme surfacique initiaux …..…… 96
III-4. 5. Matériaux et techniques constructives ……..……...… 98
III-4. 5. 1. Ossature ……..…… 99
III-4. 5. 2. Murs ……..… 99
III-4. 5. 2. 1. Murs de façade ……..……..… 99
III-4. 5. 2. 2. Murs de séparation ……..……...… 100
III-4. 5. 3. Planchers et toiture …… 100
III-4. 5. 4. Ouvertures …… 101
III-4. 5. 5. Isolation ……..… 101
III-4. 6. Le bâtiment sélectionné pour l'étude ……...……...… 101
III-4. 6. 1. Caractéristiques et dimensions ……..……... 102
Conclusion ……..……..… 105

Chapitre IV. ***ETUDE DU CONFORT THERMIQUE DANS UN CAS DE CONSTRUCTION EN BETON PREFABRIQUE*** …….. 106

IV-1. Approche expérimentale par mesures thermo-hygrométriques in-situ …..… 107
IV-1. 1. Conditions de déroulement des mesures …….. 107
IV-1. 2. Appareils de mesure utilisés ……...…….. 108
IV-1. 3. Campagne de mesure …….. 108
IV-1. 3. 1. Mesures réalisées durant la saison hivernale en date du 25 / 01 / 2014 ... 109
IV-1. 3. 1. 1. Les températures de l'air ambiant …… 109
IV-1. 3. 1. 2. Les humidités relatives ……...…….. 109
IV-1. 3. 1. 3. Lecture des résultats ……...…….. 110
IV-1. 3. 1. 4. Analyse et interprétation préliminaires des résultats ……..….. 110
IV-1. 3. 2. Mesures réalisées durant la saison estivale en date du 16 / 08 / 2014 …. 112
IV-1. 3. 2. 1. Les températures de l'air ambiant ……..…….. 112
IV-1. 3. 2. 2. Les humidités relatives ……...…….. 112

IV-1. 3. 2. 3. Lecture des résultats ……...…….. 113
IV-1. 3. 2. 4. Analyse et interprétation préliminaires des résultats ……..….. 113
IV-1. 4. Synthèse ……..….. 114
IV-2. Bilans thermiques en périodes estivale et hivernale …….. 115
IV-2. 1. Bilan thermique en période hivernale …….. 116
IV-2. 1. 1. Déperditions par transmission ……..... 116
IV-2. 1. 1. 1. Déperditions par transmission surfacique ……..….. 116
IV-2. 1. 1. 2. Déperditions par transmission linéique ……...…….. 117
IV-2. 1. 1. 2. 1. Déperdition à travers les liaisons du mur extérieur et les menuiseries 117
IV-2. 1. 1. 2. 2. Déperdition à travers les liaisons de deux parois extérieures ….. 118
IV-2. 1. 1. 2. 3. Déperdition à travers les liaisons entre une paroi intérieure et une paroi extérieure (refend/façade, cloison/façade, plancher/façade) .. 118
IV-2. 1. 2. Déperditions par infiltration et renouvellement d'air à travers les fenêtres 118
IV-2. 1. 3. Vérification et déperdition de référence ……..….. 119
IV-2. 1. 3. 1. Vérification réglementaire ……...…….. 119
IV-2. 1. 3. 2. Calcul des déperditions de référence ……..…….. 119
IV-2. 1. 4. Résultats et commentaires ……..…….. 119
IV-2. 2. Bilan thermique en période estivale ……...….. 122
IV-2. 2. 1. Apports calorifiques dus à l'environnement extérieur …….. 123
IV-2. 2. 1. 1. Apports calorifiques par accumulation à travers les parois opaques .. 123
IV-2. 2. 1. 2. Apports calorifiques dus aux vitrages ……..….. 124
IV-2. 2. 1. 2. 1. Apports calorifiques par transmission …….. 124
IV-2. 2. 1. 2. 2. Apports calorifiques par ensoleillement ……..…..….. 124
IV-2. 2. 1. 3. Apports calorifiques par infiltration d'air extérieur …….. 125
IV-2. 2. 2. Apports calorifiques dus à l'environnement intérieur ……..…….. 125
IV-2. 2. 2. 1. Apports calorifiques dus aux occupants …….. 126
IV-2. 2. 2. 2. Apports calorifiques dus aux appareils électriques …….. 126
IV-2. 2. 2. 3. Apports calorifiques dus à l'éclairage ……..…….. 126
IV-2. 2. 3. Vérification et déperditions de référence ……..…….. 127
IV-2. 2. 3. 1. Vérification réglementaire ……...…….. 127
IV-2. 2. 3. 2. Les apports calorifiques de référence ……..…….. 127
IV-2. 2. 4. Résultats et commentaires ……..……..…….. 128
IV-3. Etude comparative par simulation thermique dynamique ……...…….. 131
IV-3. 1. Utilité de la simulation numérique thermique dans le bâtiment …….. 131
IV-3. 2. Choix de l'outil de simulation …….. 132
IV-3. 3. Présentation du logiciel Ecotect analysis 2011 ……..….. 133

IV-3. 4. Fonctionnement pratique du logiciel Ecotect Analysis 2011 …….….. 134
IV-3. 5. Conditions générales de la simulation …….. 135
IV-3. 6. Déroulement et stratégie de la simulation ……..….. 135
IV-3. 7. Description du bâtiment cas d'étude ……...…….. 137
IV-3. 8. Modèles de constructions prévus pour la simulation ……..….. 138
IV-3. 8. 1. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du *Modèle 01* 138
IV-3. 8. 2. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du *Modèle 02* 139
IV-3. 8. 3. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du *Modèle 03* 140
IV-3. 8. 4. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du *Modèle 04* 141
IV-3. 8. 5. Caractéristiques des matériaux utilisés dans les modèles simulés …….... 142
IV-3. 8. 6. Caractéristiques de l'enveloppe des modèles simulés …….... 142
IV-3. 8. 6. 1. Calcul de la résistance thermique aux transferts conductifs ……..... 142
IV-3. 8. 6. 2. Calcul de l'inertie thermique ……... 143
IV-3. 9. Résultats de la simulation et commentaires ……..…….. 145
IV-3. 9. 1. En saison hivernale avec le *modèle 01* ……..…….. 145
IV-3. 9. 1. 1. Lecture et interprétation du graphique ……...…….. 145
IV-3. 9. 2. En saison hivernale avec le *modèle 02* et le *modèle 03* ……..…….. 146
IV-3. 9. 2. 1. Lecture et interprétation des graphiques ……...…….. 147
IV-3. 9. 3. En saison hivernale avec le *modèle 04* ……..…….. 148
IV-3. 9. 3. 1. Lecture et interprétation du graphique ……...…….. 148
IV-3. 9. 4. En saison estivale avec le *modèle 01* ……...…….. 149
IV-3. 9. 4. 1. Lecture et interprétation du graphique ……...….. 150
IV-3. 9. 5. En saison estivale avec le *modèle 02* et le *modèle 03* ……..….. 151
IV-3. 9. 5. 1. Lecture et interprétation des graphiques ……..……...…….. 152
IV-3. 9. 6. En saison estivale avec le *modèle 04* ……...……...…….. 153
IV-3. 9. 6. 1. Lecture et interprétation du graphique ……...…….. 154
IV-3. 10. Synthèse ……..…….. 155
IV-3. 10. 1. En saison hivernale …….. 155
IV-3. 10. 2. En saison estivale ……..…….. 157
Conclusion ……..… 158

Conclusion générale. ……...…….…….. 160

Liste des figures et tableaux ……...……..... 166
Liste des figures ……..... 167
Liste des tableaux ……..…….. 170
Références bibliographiques ……..…….. 172
Annexes …...……...…….. 183

CHAPITRE INTRODUCTIF

Introduction générale

Après la seconde guerre mondiale, les méthodes de bâtir dites traditionnelles ne pouvant plus faire face à l'urgence de la reconstruction et afin de répondre à la demande pressante en matière de logements et d'équipements publics, des pays comme la France ou l'URSS ont opté pour l'industrialisation des techniques de construction. Les premières mesures adoptées sont la mécanisation des moyens de construction et la généralisation de l'usage du coffrage-outils dans les chantiers. Mais ces moyens se sont vite révélés insuffisants pour satisfaire les besoins de ces pays en termes de rapidité et d'économie. La préfabrication prend alors de l'ampleur et devient dans un premier temps la solution tant espérée.

En Algérie, pour rattraper un retard démesuré en matière d'établissements publics et de logements, le gouvernement avait mis en œuvre dans les années 1970 « *une politique d'industrialisation du bâtiment orientée vers la promotion de la préfabrication et du coffrage-outils, technologies toutes importées… »*[1]. Cependant, le constat est négatif : ces procédés et techniques ne sont pas maitrisés, même des années plus tard. Pour Sid Boubekeur « *Quinze ans après, aucune d'elles n'a donné les résultats attendus, en raison de la complexité des procédés mis en œuvre »*[2]. Il en résulte des bâtisses souvent réalisées sans le souci de paramètres importants tels que la durabilité, l'esthétique, la sécurité, l'hygiène ou la qualité thermique, des aspects tout aussi déterminants que la quantité et l'économie.

Les études consacrées à la production industrielle du bâtiment ne sont pas très prolifiques, bien que cette activité revête une importance majeure, et ce domaine demeure mal connu. Très tôt, Yves Lacoste s'interrogeait à ce propos : « *Est-il problème plus brûlant, plus général que celui du logement et du taudis ?... »*[3], et de poursuivre en signalant la rareté des travaux de recherches qui l'abordent autrement que par son aspect quantitatif : *«…Les économistes et les sociologues l'ont traité dans une masse de publications. Mais très rares sont celles qui abordent, au delà des considérations financières, l'étude de la production des logements*[4]. De nos jours, nous sommes encore confrontés de la même manière à un problème qui reste inchangé.

Le confort thermique de ces constructions figure parmi l'un des aspects qualitatifs

[1] Sid B., 1986, « L'industrialisation du bâtiment dans la politique industrielle de l'Algérie » in annuaire de l'Afrique du Nord, Tom XXV, Editions du CNRS, pp. 85-92, p. 85.
[2] Ibid, p. 85.
[3] Lacoste Y., 1959, « Aspects géographiques généraux des industries de la construction » in Annales de Géographie. T 68, N° 366. France, p. 121.
[4] Ibid, p. 121.

négligés au profit d'une production rapide, répétitive et moins couteuse de grandes quantités de logements et d'équipements. Bien souvent délaissé, il devient un point de rupture entre le bâti et son environnement climatique. A cet effet, des travaux récents et nombreux réalisés dans le cadre de la préparation de mémoires de magister (Chelghoum Z.,[5] Merzeg A.,[6] Mazari M.,[7]…), montrent et mettent l'accent sur la négligence inopportune dans l'habitat contemporain algérien des critères de confort thermique et de consommation énergétique.

Le travail de recherche que nous nous sommes proposé de réaliser, vise à élargir le débat et la réflexion sur l'industrialisation et la préfabrication du bâti et plus précisément de nous pencher sur la problématique du confort thermique dans les établissements en béton préfabriqué. En application de cette étude, nous avons examiné le cas particulier de l'enceinte préfabriquée de la faculté des sciences médicales de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Un choix justifié au regard du caractère de cette infrastructure - entièrement constituée de façades en panneaux de béton préfabriqués et des dispositifs d'isolation thermique particulièrement bien élaborés - et encouragé en cela par les facilités à mener une campagne de mesures significative, réalisée dans un espace fréquenté et suffisamment préservé.

1. Problématique

Bien que l'industrialisation de la production du bâti et la préfabrication aient constitué dans un premier temps la solution tant espérée au problème de la construction massive et urgente, l'usage de ces techniques pose quand même un certain nombre de problèmes. « La préfabrication, remède ou revers ? » est un thème qui a fait l'objet de débats mettant en poigne des intellectuels de diverses tendances et spécialités. Les architectes s'interrogent sur son esthétique ou sa laideur, les économistes évaluent le coût effectif de ces

[5] Dans son mémoire de magister soutenu en 2000 à l'université de Constantine et intitulé « *Pour un Habitat à Bas Profil Energétique - Cas de Constantine* », elle estime que l'habitat contemporain algérien *a montré des insuffisances sur le plan qualitatif, car le contrôle naturel des conditions de confort, ainsi que le comportement thermique de ces constructions sont délaissés.*

[6] Dans son mémoire de magister intitulé « *La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie* » soutenu en 2010 à l'université de Tizi-Ouzou, il prône la réhabilitation thermique du parc immobilier contemporain algérien, par des méthodes bioclimatiques. Pour lui, « *les techniques constructives utilisées actuellement ne répondent pas aux critères de confort thermique et d'économie d'énergie…* ».

[7] En 2012, il soutient à l'université de Tizi-Ouzou un mémoire de magister intitulé « *Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : cas du département d'architecture de Tamda (Tizi Ouzou)* ». En s'appuyant sur des mesures thermo-hygrométriques in-situ et une enquête auprès d'étudiants, il montre « *L'existence d'un inconfort… lié à un problème de surchauffe* » et « *des insuffisances en matière de prise en charge du confort intérieur* ».

constructions, les sociologues déplorent leur part de responsabilité dans l'émergence de fléaux sociaux en milieux urbains… Mais qu'en est-il de son efficacité énergétique et de sa qualité thermique ? Où se situent ces aspects dans ce débat ? Aujourd'hui, on ne peut éluder cette question et les problèmes d'intégration climatique de ce type de bâtiments, car impliquant elles mettent en jeu une consommation d'énergie excessive pour assurer leur confort thermique.

Dans notre travail, nous analysons les potentialités, les difficultés et les enjeux du bâtiment en béton préfabriqué en focalisant cette étude sur l'évaluation des performances thermiques et en tentant d'élucider les questionnements suivants :

- À quel degré les considérations climatiques et de confort thermique peuvent-elles être prises en compte lors de la conception et réalisation de bâtiments en béton préfabriqué ?
- De quelle manière éviter les erreurs commises par le passé en Algérie dans le traitement de l'efficacité et qualité thermiques des constructions contemporaines, surtout après les décisions de l'état algérien de renouer avec la construction préfabriquée industrialisée en généralisant ces techniques à l'ensemble du territoire national ?

2. Hypothèses de l'étude

Nous émettrons dans ce travail de recherche les hypothèses suivantes :

- Le confort thermique pourrait être parfaitement maitrisé dans les constructions en béton préfabriqué. Les panneaux de façade permettraient de garantir une sensation de confort thermique optimale pour les occupants par l'insertion, lors de leur fabrication en usine, de dispositifs d'isolation thermique en adéquation avec le contexte climatique environnant. Le matériau béton armé, par son poids et sa forte inertie thermique, participe à l'amélioration des conditions de confort pour les usagers.
- La plupart des constructions en béton préfabriqué érigées jusque là en Algérie, parce que construites pour répondre à une demande à la fois pressante et consistante, n'ont pu offrir des conditions thermiques confortables à leurs occupants. L'état algérien, qui a concrètement opté pour la réhabilitation des concepts d'industrialisation et de préfabrication du bâtiment, devrait, en se basant sur ce constat, prendre en charge l'aspect thermique des nouvelles constructions en relation avec les conditions climatiques et contextes géographiques du territoire algérien.

- Le choix porté sur les constructions industrialisées et en béton préfabriqué - pour des raisons connues et justifiées (Construction rapide, répétitive et moins couteuse de grandes quantités de logements et d'équipements divers pour absorber l'importante demande en la matière) - est fait au détriment des différents aspects qualitatifs. Par conséquent, il est à l'origine d'un usage excessif d'appareils de chauffage et climatisation et entraine une surconsommation d'énergie. Le recours à postériori aux opérations de réhabilitation et de réadaptation thermique est hélas souvent couteux et parfois même inefficace.

3. Objectifs et limites de l'étude

Dans le cadre de ce présent travail, il est question :

Plus directement,

- d'apporter notre contribution à l'étude et à l'évaluation du confort et de la qualité thermique des bâtiments en béton préfabriqué à travers une campagne de mesures de température et d'humidité relative et par le biais de bilans thermiques établis en périodes hivernale et estivale au sein d'un bloc de la faculté des sciences médicales de l'université de Tizi-Ouzou. Les performances de cet établissement sont comparées par la suite au comportement thermique d'autres constructions en béton préfabriqué différentes par la composition des panneaux de façades, et à un cas de bâtiment traditionnel à parois en maçonnerie de briques.

Plus globalement,

- de contribuer à la prise de conscience de l'importance de la prise en charge de l'aspect énergétique des constructions, en particulier dans le cas des constructions industrialisées, convaincus que l'avenir immédiat dans ce domaine en Algérie s'achemine vers ces procédés. Il faudrait soutenir en quelque sorte l'idée que le bâtiment ne devrait pas être perçu et conçu exclusivement comme une machine à habiter ou à exercer une quelconque activité, sans réel souci de confort et de consommation énergétique modérée.
- d'œuvrer pour trouver lors de la conception et réalisation des constructions industrialisées et préfabriquées, un compromis entre les aspects quantitatif, financier, gain de temps d'une part, et les aspects qualitatifs d'esthétique architecturale, de durabilité, de respect de l'environnement et surtout de confort thermique d'autre part.

Les bornes de cette étude se sont logiquement imposées. En effet, au risque de nous voir confrontés à une multitude de types de constructions industrialisées, nous avons limité spatialement notre champ d'étude au territoire de la wilaya de Tizi-Ouzou et du point de vue typologique aux constructions en béton préfabriqué. C'est de cette délimitation restrictive que résulte notre objet de recherche : le *« confort thermique dans les constructions en béton préfabriqué : cas de la faculté des sciences médicales de l'université de Tizi Ouzou »*.

4. Méthodologie de recherche et structure du mémoire

Ce travail peut se scinder en deux parties complémentaires. La première partie est théorique et se présente sous la forme d'un état de l'art concernant à la fois la notion du bâtiment industrialisé et préfabriqué et celle du confort thermique. L'objectif est également de rappeler les connaissances et les notions préliminaires à l'étude de cas. La seconde partie est l'objet d'investigations d'ordre thermique sur un édifice public sélectionné sur une liste de constructions en béton préfabriqué érigées sur le territoire de la wilaya de Tizi-Ouzou. Des relevés de température et d'humidité relative sont effectués au cours de deux journées entières (24h), choisie pour la première en hiver (25 janvier 2014) et pour l'autre en été (16 Août 2014). Pour appuyer les résultats des mesures, nous avons établi un bilan thermique estival et hivernal. En complément de cette démarche, et à l'aide de l'outil de simulation numérique «Ecotect Analysis 2011», nous avons mené une étude comparative des performances thermiques d'un certain nombre de constructions, différentes par la composition de leur enveloppe : en béton préfabriqué (se trouvant sur le territoire de la wilaya de Tizi-Ouzou) et traditionnel en briques creuses et plancher en corps creux.

D'une manière plus détaillée, le contenu et la structuration de la présente recherche sont développés comme suit :

***Premier chapitre* : « Regards sur l'industrialisation et la préfabrication du bâti »**

Le premier chapitre introduit la notion d'industrialisation des procédés de construction des bâtiments et répertorie les raisons historiques de l'intronisation de ces techniques et du béton préfabriqué dans le monde de la construction moderne. La suite de ce chapitre réserve une large revue de la situation de la préfabrication en France et en Algérie et son évolution ces dernières années avant de se terminer par l'énumération des principaux reproches faits habituellement aux constructions industrialisées et préfabriquées :

architecture inesthétique, jointures apparentes, vieillissement prématuré des bâtiments, étanchéité et confort thermique déficients.

Deuxième chapitre **: « Etat des connaissances de la notion du confort thermique »**

Le second chapitre commence par une définition exhaustive du confort thermique et des grandeurs physiques qui permettent de caractériser l'environnement thermique des bâtiments comme la température et l'humidité de l'air ambiant, la température rayonnante des parois ou encore la température opérative ou résultante de l'air. La notion de l'isolation thermique des habitats et du comportement thermique de l'enveloppe des bâtiments est expliquée en rappelant les principales caractéristiques des parois comme la conductivité ou résistance thermiques, le coefficient de transmission surfacique, la diffusivité ou effusivité thermique ou encore l'inertie thermique des parois. La question du confort thermique est ensuite traitée dans ses deux approches : analytique et adaptative. Puis, il a été question de présenter l'aspect réglementaire du confort thermique en Algérie en rappelant les règles de calcul des déperditions et des apports thermiques. La fin de ce chapitre est consacrée à l'architecture bioclimatique avec la présentation de quelques techniques bioclimatiques spécifique qui permettent d'obtenir le confort thermique sans le recours excessifs à l'énergie conventionnelle.

Troisième chapitre **: « Présentation des contextes global et immédiat de l'étude »**

Les contextes global et réduit de l'étude, la ville de Tizi-Ouzou et l'ex centre biomédical, sont présentés dans le troisième chapitre. Le contexte global traite des caractéristiques géographiques et climatiques de la région de Tizi-Ouzou, lieu d'implantation du bâtiment étudié et des données des valeurs mensuelles moyennes de la température, de l'humidité, de l'ensoleillement, de la vitesse du vent et de la pluviométrie. Le parc immobilier général de la ville de Tizi-Ouzou est présenté avec un intérêt particulier sur les constructions en béton préfabriqué et leur état des lieux actuel. Le contexte immédiat de l'étude est figuré par les deux salles de cours de la faculté des sciences médicales de l'université de Tizi-Ouzou. Après un bref rappel de l'histoire de cette construction réalisée à partir de 1982 par l'entreprise française PASCAL SARL, il est procédé à une analyse détaillée de sa structure portante, de son enveloppe, des ouvertures et enfin de l'isolation.

Quatrième chapitre **: « Etude du confort thermique dans un cas de construction en béton préfabriqué »**

Cette partie du travail sera consacrée au cas précis de l'évaluation des performances énergétiques des constructions en béton préfabriqué à partir de l'exemple de deux salles choisies dans l'enceinte de la faculté des sciences médicales de l'UMMTO[8]. Ce dernier chapitre, qui est le cœur de ce mémoire, comporte une partie expérimentale consacrée à des relevés de température et d'hygrométrie à l'intérieur et à l'extérieur de ces deux salles, effectuées tout au long de la journée, pour un jour choisi en hiver et un autre en été. Les résultats, consignés sur des tableaux et des courbes, sont analysés et finement interprétés. Des bilans thermiques estival et hivernal de cette structure sont établis avec pour objectifs de situer l'endroit à renforcer dans l'enveloppe du bâtiment pour améliorer son confort thermique. Enfin, nous avons simulé le comportement thermique de ce bâtiment à l'aide du logiciel informatique « Ecotect Analysis 2011 », qui offre l'opportunité de tester un grand nombre d'hypothèses et de suggestions tant dans la composition de l'enveloppe du bâtiment que dans les conditions météorologiques extérieures.

En résumé, l'organigramme ci-dessous illustre les différents chapitres que nous développons dans notre travail.

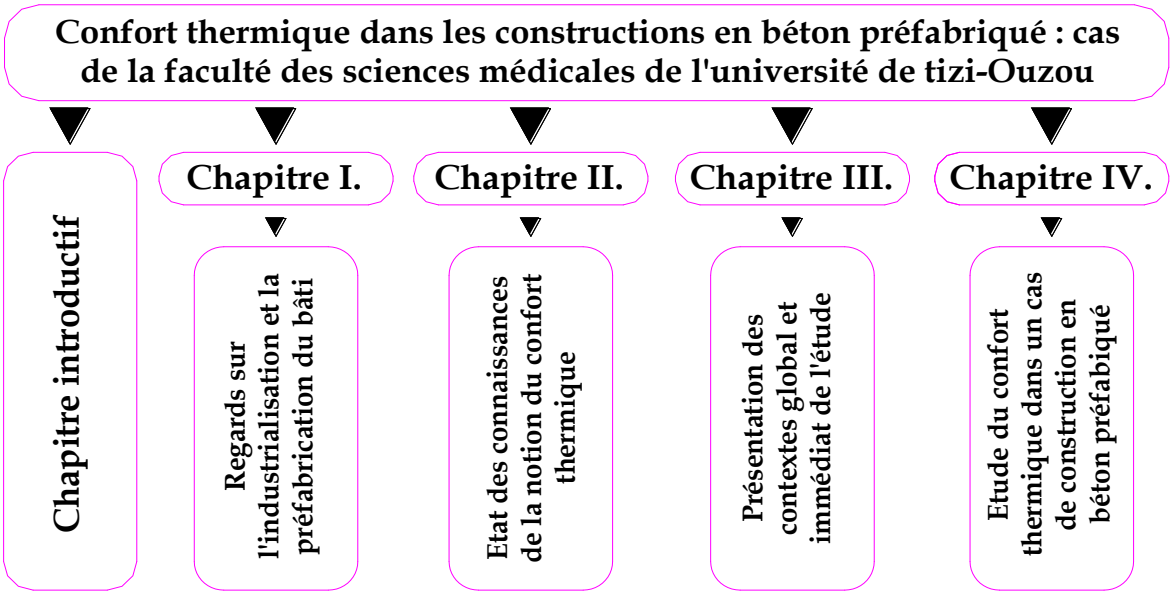


Figure 1 : Structure du mémoire. **Source** : Auteur.

[8] **U**niversité **M**ouloud **M**ammeri de **T**izi-**O**uzou (UMMTO).

CHAPITRE

1

REGARDS SUR L'INDUSTRIALISATION ET LA PREFABRICATION DU BATI

Introduction

Durant la seconde moitié du siècle dernier et pour des raisons différentes, il s'est manifesté dans certaines régions du monde notamment en Algérie, un grand besoin de logements, d'écoles, d'universités, d'hôpitaux et divers équipement administratifs. L'ampleur de cette demande justifiait la mise en œuvre de solutions industrielles, et le passage des procédés de constructions traditionnelles aux procédés industriels était donc inévitable. Mécanisé, préfabriqué ou standardisé sont autant d'adjectifs liés à l'acte de bâtir qui ont fait leur apparition.

Dès la fin des années cinquante (1950), l'Algérie qui est encore sous la colonisation française, avait ses unités de préfabrication qui produisaient des logements pour le marché local comme les usines Camus-Rossi de Constantine et de Philippeville (actuelle Skikda). Durant les années soixante-dix (1970) et quatre-vingts (1980), l'Algérie disposait de dix-huit (18) unités nationales de préfabrication dont la dernière a été mise en place en 1979 à M'sila ; toutes utilisaient en grande partie des procédés de préfabrication importés (Camus, Pascal, Baret, Coopal, Vareco, CSB, Polygon, Gibat…).[9] Depuis la fin des années quatre-vingt (1980), et mis à part quelques rares réalisations, la préfabrication à laissé place à des techniques moins industrialisées et au système de construction dit traditionnel utilisant une structure ponctuelle en béton armé, des planchers en corps creux et des parois en briques creuses.

Nous nous proposons dans ce premier chapitre, d'étudier les différentes déclinaisons de l'industrialisation du bâtiment et de la préfabrication des éléments qui le constituent en limitant notre champ d'investigation à la préfabrication en béton. Ce matériau durable et très résistant, permet de construire d'une manière définitive et non provisoire. Nous évoquerons les divers facteurs techniques, sociaux et économiques qui ont concouru à la naissance et au développement de cette nouvelle manière de construire en France et en Algérie, et les aspects ou les incidences les plus marquants de ces différents facteurs. A la fin du présent chapitre, nous nous intéresserons aux exigences qualitatives qui demeurent insatisfaites par la plupart des constructions industrialisées et préfabriquées comme les aspects architectural et esthétique ou ceux de l'étanchéité et du confort thermique, ce qui fait qu'aujourd'hui ces dernières soient soumises à de virulentes critiques.

[9] Addab M., 2015, « Admission de 9 entreprises étrangères pour des usines de logements préfabriqués », article de journal paru dans le quotidien Ouest tribune le 23 mai 2015, (http://www.ouestribune-dz.com/fr/admission-de-9-entreprises-etrangeres-pour-des-usines-de-logements-prefabriques/).

I-1. Introduction à la notion d'industrialisation du bâtiment

I-1. 1. Que signifie l'industrialisation ?

L'industrie est apparue au XVIII^{ème} siècle en Angleterre et un peu partout en Europe. Au XIX^{ème} siècle l'activité se répand dans une large part de l'Europe. Cette dernière est alors considérée comme l'usine du monde. Durant cette période, quelques pays extra européens, les États-Unis et le Japon en particulier, s'industrialisent également mais au final leur nombre reste limité. Les pays du tiers monde sont longtemps restés à l'écart de tout processus massif d'industrialisation. Plusieurs types d'explication sont fréquemment évoqués : retard de développement, contexte naturel et/ou culturel, rôle de la colonisation…etc. II faut attendre l'émancipation des colonies et les années 1960 pour voir apparaître des politiques d'industrialisation fortes menées par les gouvernements des pays du Sud. Comme la majeure partie des pays du tiers monde qui ont favorisé l'industrialisation dès leurs premiers plans de développement, l'Algérie, qui dispose d'une manne pétrolière importante, avait fait des efforts considérables dans ce sens en optant pour une industrie dite industrialisante à partir de 1966. Elle a privilégié la sidérurgie, avec le complexe d'Annaba, et la pétroléochimie à Arzew. La part de l'industrie dans le PIB passe de 38 % en 1965 à 56 % en 1981.[10]

Par ailleurs, le dictionnaire en ligne *Larousse*[11] définit l'industrialisation comme étant « *l'Application des procédés de l'industrie à une activité* » ou encore le « *Processus social et économique visant à accroître la rentabilité des moyens de production et d'échange en la faisant davantage dépendre des progrès techniques et scientifiques et de la hiérarchisation de la structure sociale, l'industrialisation se marque par la concentration urbaine, la spécialisation professionnelle, la stratification sociale, l'écart accru entre les revenus.*».

I-1. 2. L'industrialisation appliquée au secteur du bâtiment

L'industrialisation du bâtiment c'est d'abord la fabrication mécanique des éléments constitutifs d'un bâtiment, de telle sorte que l'assemblage de ces éléments permette de composer un bâtiment adapté au terrain particulier sur lequel on l'implante, et au

[10] Dubos-Paillard E., « L'industrie dans les pays du tiers monde » Notes de cours de Master 1. Document consulté sur le site internet de l'Agence Universitaire de la Francophonie (http://www.foad-mooc.auf.org/IMG/pdf/411B-Facteurs_de_localisation_des_activites.pdf)
[11] Dictionnaire Larousse en ligne (http://www.larousse.fr/)

programme particulier auquel il doit satisfaire.[12] Elle concerne tous les objets ou ensembles d'éléments fabriqués industriellement et qui sont intégrés dans la construction de bâtiments. Nombreux sont ceux qui, par analogie, font allusion à l'industrie automobile lorsqu'ils sont appelés à définir celle du bâtiment. Même si on peut leur concéder une part de vérité au sujet d'un certain nombre de principes similaires, comme la fabrication en usine, le travail à la chaine ou encore la standardisation, la réalité est tout de même différente car l'industrialisation du bâtiment est bien moins développée et prolifique que celle de l'automobile.

La construction industrialisée est une architecture qui ne demande pas forcement l'action d'un architecte, elle se contente assez souvent de l'action purement productiviste d'un staff d'usine. L'objet industriel est confondu avec tous les objets qui le précèdent ou le suivent dans sa série. Cette répétition du même objet par une machine entraîne des difficultés d'ordre esthétique, mais elle comporte inversement les avantages que l'on connaît tels que la fabrication rapide d'un très grand nombre de produits, la diminution de leur coût et l'augmentation de leur qualité.[13]

I-2. Industrialisation de la construction et architecture moderne

I-2. 1. Facteurs de l'émergence des techniques de construction industrialisées

Dans le but de faire face aux importants programmes de construction, la plupart des pays européens vont, dès la fin de seconde guerre mondiale, prêter une attention particulière à l'emploi du béton armé qui sera le matériau par excellence de l'industrialisation du bâtiment. Des bâtiments entiers sont fabriqués par parties en usine, qui doivent être assemblées sur chantier par une main d'œuvre efficace et en petit nombre. L'avantage est alors donné aux systèmes utilisant la préfabrication de panneaux lourds (murs de façades, cloisons, planchers etc.).[14] Selon Pierre Chemillier, l'analyse du phénomène d'industrialisation dans les divers secteurs de l'économie montre qu'il n'est pas apparu au même moment suivant les secteurs et ne s'y est pas développé avec la même rapidité. Ceci tient au fait que pour naitre, l'industrialisation suppose réunies un certain nombre de conditions dont l'existence de la demande, une innovation technologique, des

[12] Balladur J., 1964, « L'industrialisation du bâtiment » in Habitation : revue trimestrielle de la section romande de l'Association Suisse pour l'Habitat, Vol 36, N° 7, pp. 20-21.
[13] Ibid.
[14] Foura M., « Le mouvement moderne de l'architecture: naissance et déclin du concept de l'architecture autonome », in revue sciences et technologie, Université Mentouri de Constantine, N° 12, pp. 89-105.

capitaux, un état d'esprit, des hommes et une volonté de l'Etat.[15] C'est bien ces conditions qui ont poussé bon nombre d'entreprises du bâtiment à passer de l'artisanat à l'industrie. Nous les résumons en trois grands facteurs : économiques, sociaux et techniques.

I-2. 1. 1. Facteurs économiques et sociaux

En Europe, la première raison de l'adoption de l'industrialisation dans le bâtiment était incontestablement les conséquences destructrices de la seconde guerre mondiale. « *A la suite des destructions de 1939-1945, la France voit son parc d'habitat amputé. Environ 400 000 logements sont détruits, 1 500 000 endommagés. L'URSS recense 70 millions de m² de logements détruits. 25 millions de sinistrés vivent dans des conditions déplorables. La pénurie liée aux destructions de la guerre est aggravée dans les deux pays par le renouveau démographique et l'exode rural. La population urbaine en France passe de 22 millions en 1946 à 31.3 millions en 1962. En URSS, le nombre d'habitants dans les villes a augmenté en trente ans de 80%. En 1939, la population citadine était de 56.1 millions, en 1959 elle atteint 100 millions* ».[16] En Algérie, la crise du logement et d'équipements revêt avant tout un cachet historique. Avant 1962 et à l'époque coloniale, la population autochtone a peu bénéficié des programmes de développement en général et dans les opérations de logement en particulier. A titre indicatif, le recensement de 1954 laissait apparaitre la disproportion suivante :

- 262 000 logements pour 1 000 000 d'Européens ;
- 209 000 logements pour 8 455 000 Musulmans.[17]

Après l'indépendance, les aspirations des populations à un nouveau mode de vie, moderne et plus facile, créent un exode rural massif vers les villes principales, ce qui a conduit à l'aggravation de la crise du logement et des équipements publics qui sévissait déjà durement. Le nouvel Etat indépendant ne pouvait faire face à cette situation en raison de ressources financières insuffisantes car aspirées par d'autres secteurs prioritaires comme l'agriculture, l'enseignement et la santé, et des capacités matérielles et humaines (entreprises, matériaux de construction, bureaux d'études, etc.) insuffisamment

[15] Chemillier P., 1977, *Les techniques du bâtiment et leur avenir*, Ed du Moniteur, Paris, p.34.
[16] Solopova N., 2001, « la préfabrication en URSS : concept technique et dispositifs architecturaux » thèse de doctorat soutenue le 09 Janvier 2001 à l'université de Paris VIII, France. p.12.
[17] Laaha-Tarache A., 2010, « Politique de l'habitat et contraintes de la construction du logement en Algérie. Analyse comparative avec la Tunisie et le Maroc », thèse de doctorat soutenue à l'université de Constantine, Algérie. p.24.

développées. Au début des années 1970, le gouvernement a vu dans l'industrialisation du bâtiment et les procédés de préfabrication le moyen le plus approprié pour se sortir de cette crise. Le passage des méthodes traditionnelles aux méthodes industrielles était inévitable et les décisions adoptées dans ce sens justifiées. La construction allait devenir simple, standard, rapide et surtout moins chère.

I-2. 1. 2. Facteurs techniques

La concentration urbaine est parmi les facteurs techniques ayant conduit à l'émergence de ce nouveau mode constructif. Résultat de la forte urbanisation et de l'exode rural, elle a favorisé l'implantation à proximité des sites de réalisation d'usines de fabrication d'éléments de construction. L'autre facteur prépondérant dans l'arrivée de l'industrialisation est celui qui est lié aux restrictions budgétaires et à la réduction des coûts de la construction. Bien que sa mise en œuvre ait paradoxalement besoin d'importants fonds, le recours aux techniques industrialisées se justifie car au final ces investissements permettent de compenser les très couteuses constructions classiques. Par ailleurs, l'apparition d'engins de chantier a facilité l'industrialisation du secteur du bâtiment. En effet, la puissance de ces engins permet la manipulation d'éléments lourds et de grandes dimensions que ce soit lors de leur fabrication en usine ou durant leur montage sur chantier.

Dans l'exemple de certains pays comme l'URSS, l'Algérie ou la France, la centralisation étatique et la planification de l'économie (autoritaires dans les deux premiers pays cités et souples dans le dernier), ont favorisé la généralisation de la préfabrication, et mis en place la normalisation des composants et l'homologation des procédés de préfabrication.[18]

Seulement, l'industrialisation pose un certain nombre de problèmes. Il faut rappeler qu'à cette époque les inventions et l'innovation portant sur les machines ou tout autre élément de production étaient nombreuses et variées. Certes, cette profusion de techniques et procédés de préfabrication furent bénéfiques pour l'évolution de l'art de construire, mais elles ont conduit quelques fois à des situations délicates et provoqué des difficultés dans l'entretien des bâtiments en raison de l'incompatibilité des procédés les uns avec les autres.

[18] Solopova N., 2001, Op.Cit, p.13.

I-2. 2. La place de l'industrialisation dans le mouvement d'architecture moderne

L'industrialisation du bâtiment est étroitement liée aux transformations radicales de l'architecture du XXe siècle, tant dans sa construction que dans son langage. Elle a été prônée par les premiers modernes qui se sont saisi du fait technique. « *Les architectes de la modernité s'attacheront au « lyrisme » expressif et/ou aux transformations de l'habitat et des lieux du travail que les machines permettent. Le projet d'industrialisation du bâtiment convoque à la fois les dimensions technique et politique, ainsi que ses liens avec l'utopie ».*[19] Des 1957, Marcel Lods appelle à « *abandonner les règles du bâtiment, pour adopter celles des fabrications industrielles modernes »,* celles de l'architecture pensée comme un modèle et comme un objet technique.[20] La naissance et l'évolution de la construction industrialisée coïncide avec celles de l'architecture moderne. Tout d'abord, durant la période dite d'entre les deux guerres de 1919 à 1939, où les architectes ont peu construit mais ont produit les théories qui vont révolutionner l'architecture de notre époque et qui vont aboutir à la doctrine du mouvement moderne de l'architecture. Puis, s'en suit la période d'après guerre mondiale de 1945 à 1973, période pendant laquelle on n'a presque pas théorisé mais beaucoup construit. Les architectes se sont orientés vers la production en masse, celle du grand nombre, devenue alors indispensable et se sont éloignés de l'édifice exceptionnel, l'urgence étant ailleurs.[21]

L'usage du béton armé et ses systèmes constructifs simples et évolutifs va permettre aux acteurs du mouvement moderne de mener jusqu'au bout leurs idées fonctionnalistes. Les méthodes de bâtir utilisant le béton armé seront appliquées avec certitude et détermination par les architectes modernes du monde entier, mais aussi par d'autres acteurs qui vont entrer en scènes et prendre le dessus, comme les urbanistes, les maîtres d'œuvres, les ingénieurs, les promoteurs, etc.[22]

En somme, nous pouvons dire que l'architecture moderne a pu se déployer à grande échelle en tirant profit de l'industrialisation du bâtiment devenue possible grâce aux progrès techniques et le développement de l'usage du béton armé. En retour, l'industrialisation et la préfabrication de la construction trouvent dans le mouvement

[19] Graf F., Delemontey Y., 2011, « Architecture industrialisée et préfabriquée : connaissance et sauvegarde » in journées d'études internationales organisées dans le cadre de l'Encyclopédie critique pour la restauration et la réutilisation de l'architecture du XXe siècle à Lausanne le 23-24 juin 2011. p. 17-19.
[20] Lods M., 1957, « Le problème : produire industriellement les bâtiments, dessiner le pays » in Techniques et architecture, 17é série, N° 5. pp. 68-81. Cit In : Graf F., Delemontey Y., 2011. Ibid, p. 19.
[21] Foura M., Op cit, p. 93.
[22] Ibid, p. 101.

moderne de l'architecture une solide assise théorico-conceptuelle et un autre alibi pour leur présence dans le paysage urbain.

I-3. L'industrialisation de l'usage du béton armé et coffrages outils

Au-delà des énormes avantages qu'offre le béton armé de part son caractère économique, sa disponibilité, sa flexibilité et son adaptation aisée à diverses formes constructives, son emploi dans le bâtiment est demeuré, jusqu'à la fin du siècle dernier, assez peu fréquent et cela malgré les besoins énormes en logements (imposés, notamment par la reconstruction d'après guerre en Europe). Cette situation semblait illogique pour beaucoup, ainsi, Henri Sauvage considérait que la maison « ... *est le seul objet utile qui ne soit pas préfabriqué en usine ; telle est la cause de ses prix onéreux (...). Dans le domaine de la construction, le travail infaillible et rapide de la machine sera préféré au lent rendement des ouvriers spécialisés. L'antique hiérarchie ouvrière se nivellera au degré des manœuvres sans aptitudes prédéterminées*»[23].

Au fil du temps, l'usage du béton armé connaitra un développement considérable. La technique du béton coulé sur place bénéficie, selon le type de coffrage, d'une panoplie de façons de mise en œuvre. Nous en présentons ci-après les principaux aspects :

I-3. 1. Coffrage en planches de bois

Technique la plus répandue, elle est souvent mise en œuvre par de petites entreprises en raison de la faiblesse de l'investissement qu'elle demande. Les coffrages sont réalisés en planches de bois découpées et assemblées par des ouvriers qualifiés en respectant la forme de l'ouvrage à réaliser. Cette technique, même si on lui fait encore quelques fois appel, ne peut plus répondre aux exigences des chantiers d'aujourd'hui. D'ailleurs, des la fin du siècle dernier son utilisation commençait à perdre du terrain.

Pierre Chemillier, dans son ouvrage paru en 1977, parle d'un nombre important d'inconvénients propres à cette technique, selon lui, elle exigerait une main-d'œuvre très qualifiée et d'assez longs délais de coffrages et décoffrage, elle rend nécessaire un dispositif compliqué d'étaiement des coffrages qui gêneraient la circulation sur le chantier

[23] Zahar M., 1982, « L'architecture vivante - Henri Sauvage » in L'Art Vivant, N° 88, 15 août 1982, pp. 628, 630-631.

et parfois, elle donne une surface de béton qui impose un traitement ultérieur et elle limite les possibilités de réemploi des coffrages.[24]

La nécessité d'améliorer la productivité à imposé des coffrages plus élaborés connus sous le nom de tables, banches, tunnel ou coffrages glissants dont les avantages résident dans les économies de temps et de main-d'œuvre qu'ils procurent, l'amélioration du fini de surface, les possibilités de réemploi sur un même chantier voire sur plusieurs chantier. Au coffrage matière consommable, on a substitué le coffrage outil.[25]

I-3. 2. Banches, tables et tunnels

I-3. 2. 1. Banches

On désigne par « banches » les coffrages placés verticalement de part et d'autre d'un mur avant de procéder à son coulage en béton. On en distingue généralement trois types : les banches démontables, les banches modulaires et les banches monolithes. Les banches comportent en général des éléments annexes qui sont intégrés ou bien dissociés. Il s'agit par exemple de la passerelle de travail, des vérins d'ajustement placés en pied de banche, des dispositifs d'entretoisement… etc. Par ailleurs, il existe aussi des banches spéciales prévues exclusivement pour permettre le coulage de murs de formes irrégulières.

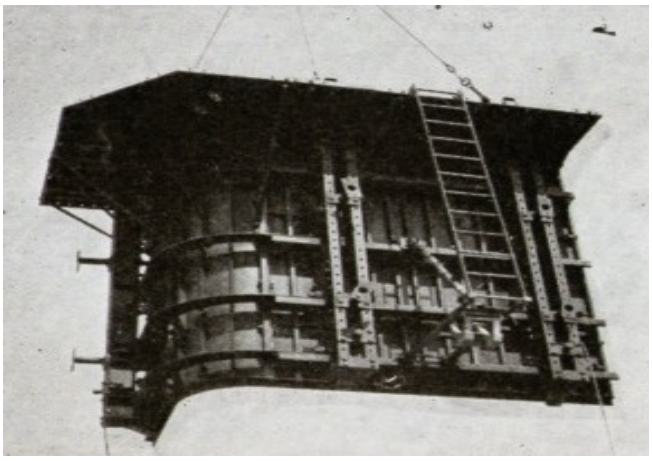


Figure 1.1 : Banche spéciale en cours de déplacement pour coffrage d'une tour à Paris. **Source** : Chemillier P., 1977, Op Cit, p. 132.

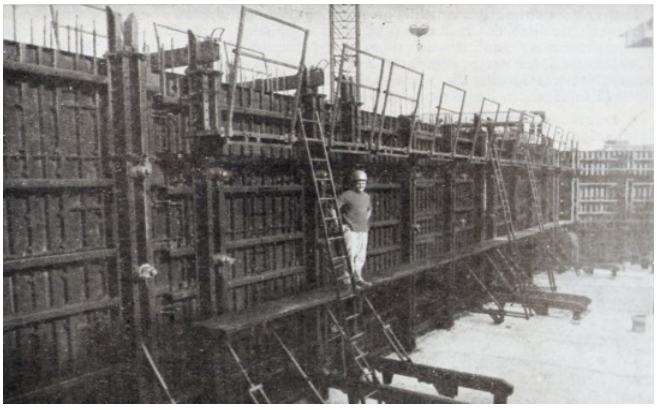


Figure 1.2 : Banche de grande dimension pour coffrage d'une tour à Paris. **Source** : Chemillier P., 1977, Op Cit, p. 131.

[24] Chemillier P., Op Cit. p.127.
[25] Ibid, p.127.

I-3. 2. 2. Tables

Une table est un coffrage permettant de couler des surfaces horizontales. Elle comprend une plate-forme horizontale qui comporte la surface coffrante et des éléments d'étaiement solidaires de la plate-forme. On distingue souvent trois catégories de tables : les tables démontables, les tables spécialisées de dimensions fixes et les tables spécialisées extensibles.

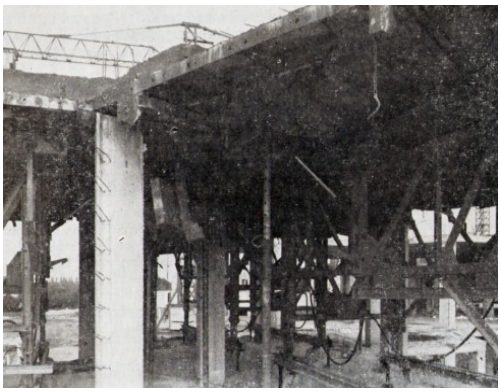


Figure 1.3 : Table spéciale pour coffrage de la dalle d'une tour à Paris. **Source** : Chemillier P., 1977, Op Cit, p. 130.

L'emploi des tables et banches métalliques fut donc un progrès considérable dans la construction industrialisée, encore fallait-il couler les murs et les plancher séparément, une contrainte qui induisait des travaux supplémentaires importants. L'idéal étant de couler en une seule opération les murs et les dalles, la solution trouvée fut le coffrage-tunnel.

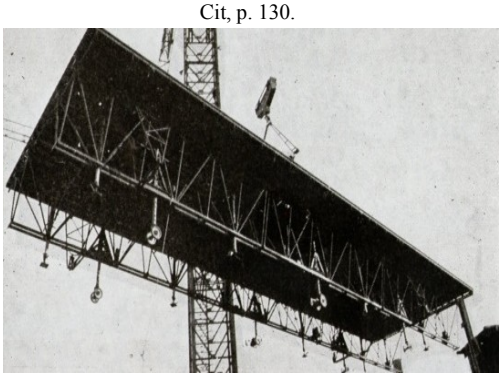


Figure 1.4 : Table spéciale pour coffrage de la dalle d'une tour, Paris. **Source** : Chemillier P., 1977, Op Cit, p. 132.

I-3. 2. 3. Tunnels

Le coffrage-tunnel est en quelque sorte une synthèse des deux techniques de coffrage des tables et banches. Ce type de coffrage permet le coulage simultané des murs et dalles. Il est souvent constitué d'un assemblage de deux équerres composées d'un élément vertical et d'un élément horizontal. Toutefois, il existe des tunnels à pièce unique. L'avantage du coffrage-tunnel est la forte cohésion des éléments horizontaux et verticaux, résultat du coulage synchronique. Le principal inconvénient est l'absence de souplesse dans la conception consécutivement à la structure qui doit être tramée et répétitive.

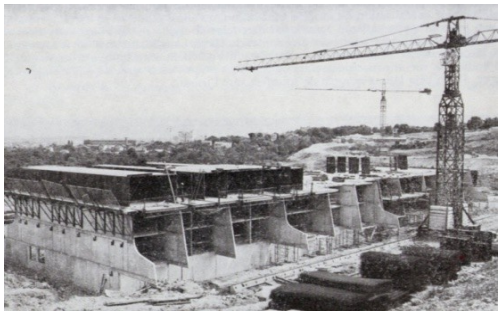


Figure 1.5 : Coffrage-Tunnel transversal - entreprise SGE. France. **Source** : Chemillier P., 1977, Op Cit, p. 134.

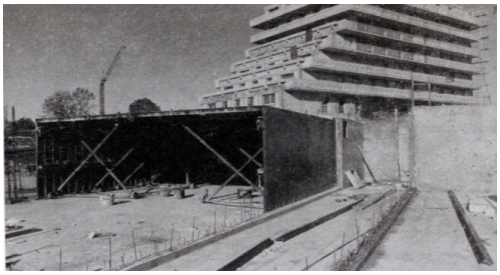


Figure 1.6 : Coffrage-Tunnel longitudinal - entreprise SGE. France. **Source** : Chemillier P., 1977, Op Cit, p. 134.

I-3. 3. Coffrages glissants

Le coffrage glissant se déplace verticalement au fur et à mesure que se produit la prise du béton et que s'effectue l'alimentation en béton frais. Il à pour principe de s'affranchir des échafaudages : le coffrage épouse le contour du bâtiment, il s'élève avec la construction et permet de réaliser simultanément l'ensemble des murs verticaux. Au centre du plancher de travail, une grue distribue en continu le ferraillage et le béton. Sur un tel chantier les ouvriers se relaient 24h/24h.

Quelque soit le perfectionnement des outils de chantier, l'industrie du bâtiment devait trouver une solution définitive aux imprévus et aux conditions climatiques extérieures, c'est la préfabrication en usine. L'usine réunit des moyens de production puissants pour fabriquer en série les éléments à assembler sur le chantier. La plupart des opérations y sont mécanisées et le travail manuel très réduit.

I-4. La préfabrication, vitrine de l'industrialisation du bâtiment

La préfabrication est un moyen de concourir de manière concrète à l'industrialisation, exactement comme la normalisation est un des moyens concrets aptes à concourir à la rationalisation. D'une manière générale, la préfabrication, aspect de l'industrialisation du bâtiment le plus connu du grand public, est une solution technique qui consiste à fabriquer à l'avance, soit en usine ou sur chantier, de manière répétitive et en grande quantité, des éléments de construction pour être montés sur place par la suite. Ceci n'empêche en rien certains spécialistes de voir en l'industrialisation et en la préfabrication une seule et unique entité. Ainsi, Balency-Béarn, Esquillan et Lebelle, dans l'article intitulé *Le béton armé ou précontraint et la préfabrication lourde en France,* estiment que *« L'industrialisation de la construction et préfabrication par éléments lourds sont synonymes »*[26].

Voici une sélection de définitions de la notion de préfabrication :

- Le dictionnaire en ligne Larousse définit la préfabrication comme un **«** *Système de construction permettant de réaliser des ouvrages au moyen d'éléments standardisés, ou composants, fabriqués d'avance et que l'on assemble suivant un plan préétabli ».*

[26] Balency-Béarn A., Esquillan N., Lebelle P., 1964, « Le béton armé ou précontraint et la préfabrication lourde en France » in rapport du congrès AIPC, Vol 37, Zurich, Suisse.

- Selon Emile Olivier[27], préfabriquer consiste à :
  - *Dissocier fabrication et montage ;*
  - *Décomposer en taches simples, indépendantes dans le temps et l'espace, une opération traditionnelle complexe, assujettie à se dérouler en un lieu et à un moment précis ;*
  - *Rendre libres et souples, des taches enchainées au chantier, cela en faisant appel à des procédés modernes mis en œuvre par un outillage perfectionné ;*
  - *Spécialiser la main-d'œuvre en se passant d'ouvriers hautement qualifiés ;*
  - *S'affranchir des intempéries en fabriquant en usine.*

Ces définitions diverses et complètes font ressortir un certain nombre réflexions ; La première concerne le lieu de fabrication, qui est selon ces définitions détaché du chantier. La seconde réflexion concerne les moyens engagés pour la réalisation. Enfin, on parle de la vitesse et du gain de temps que peut permettre la préfabrication. Ces trois variables assez distinctes nous permettront de mieux appréhender et cerner, dans un premier temps, les avantages de la préfabrication dans la construction et ses champs d'application.

I-4. 1. Provenances et issues de la préfabrication

Le passage à la préfabrication est survenu suite à cette série successive de perfectionnements apportés aux procédés de réalisation traditionnels, comme la mécanisation de l'élaboration des ouvrages et des moyens de manutention, la rationalisation des méthodes de production et la préparation minutieuse et méthodique du travail.

I-4. 1. 1. Perfectionnement des procédés de construction traditionnels

Le perfectionnement des méthodes de construction traditionnelles commence par le remplacement graduel des gestes habituels exécutés par l'ouvrier par des procédés plus ou moins mécanisés. Comme il est illustré sur la figure ci-contre, les coffrages traditionnels en planches de bois laissent place à des coffrages

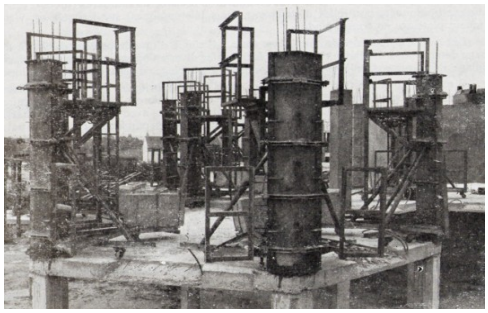


Figure 1.7 : Coffrage métallique pour les poteaux. Chantier de construction de 350 logements. France. **Source** : Chemillier P., 1977, Op Cit, p. 130.

[27] Emile O., 1976, *Technologies des méthodes de construction, les bétons*, tome III, 4éme édition actualisée, Ed Entreprise moderne d'édition. Paris, France. p.337.

métalliques mieux élaborés, réutilisables et plus facile à mettre en œuvre. Par la suite, avec la généralisation de l'emploi du béton, les *coffrage-outils*[28] voient le jour et se perfectionnent vite, ils sont simples, mobiles et à utilisation répétitive. Ces améliorations techniques opérées essentiellement sur les outils de coffrage, ont permis, dans un premier temps, une économie de main d'œuvre et de matériaux, un abaissement des prix de revient et une production prolifique, et dans un second temps de préparer le terrain à d'autres techniques plus performantes comme la préfabrication.

I-4. 2. 2. Adoption de la préfabrication

La seule industrialisation des techniques de construction ne pouvant suffire à la satisfaction des besoins en matière de qualité, temps et cout, une pratique innovatrice a émergé consistant à produire en dehors de l'emplacement de la construction, c'est la préfabrication en usine. Cette avancée considérable permet de s'affranchir des aléas du ciel et réunit des moyens de production puissants pour fabriquer en série les éléments à assembler sur chantier. La plupart des opérations y sont mécanisées, et le travail manuel réduit. Les travaux sur chantier se limitent au montage et à l'assemblage des éléments fabriqués hors chantier ou en usine. La préfabrication hors chantier se décline en deux voies : La préfabrication fermée ou ouverte.

Figure 1.8 : Usine de préfabrication à Melun.
Source : trapeze-revue.net

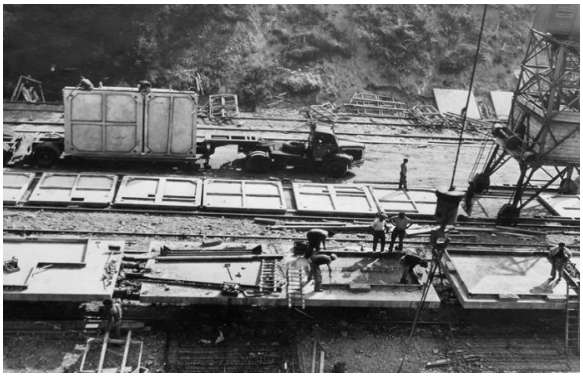


Figure 1.9 : Usine de préfabrication à Melun.
Source : trapeze-revue.net

I-5. Naissance et évolution de la préfabrication en France et en Algérie

I-5. 1. L'avènement de la préfabrication en France

Au lendemain de la seconde guerre mondiale, la construction industrialisée prend un essor impressionnant en France. La production de différents modèles de constructions

[28] Les coffrage-outils se sont perfectionnés avec la généralisation de l'emploi du béton, on distingue essentiellement le coffrage Tunnel et le coffrage glissant.

préfabriquées hisse la France au premier rang mondial et lui permet d'exporter dans toute l'Europe et vers les pays en voie de développement. Cette préfabrication à la française qui permet d'accroitre considérablement la production de logements est aussi perçue comme le symbole de la médiocrité architecturale et de la faillite des grands ensembles de logements construits à cette époque.

Raymond Camus, Edmond Coignet, Jean Barets, les entreprises Coutant, Costamagna et d'autres furent incontestablement les pionniers de la préfabrication de la construction en France, ils s'illustrent chacun par un procédé spécifique. *« ...D'autres procédés mis au point dans le cadre des opérations "Millions"[29] firent passer le nombre des réalisations à 25 000 logements/an en 1954-55. En 1968, les procédés Camus et Coignet sont alors exploités dans 11 usines en France, 32 à l'étranger ; la France est alors le leader mondial de la fabrication par grands panneaux de béton. Deux autres procédés, Costamagna et Fiorio, avaient déjà permis de réaliser 100 000 logement ».*[30] La prospection de ces procédés de fabrication constitue pour nous un substrat d'informations très utile pour appréhender l'histoire de l'évolution de la préfabrication à la française, d'autant plus qu'elle constitue un modèle grandement suivi dans notre pays.

I-5. 1. 1. Le rôle prépondérant des constructeurs en béton armé du début du XX^{ème} siècle dans l'émergence de la construction préfabriquée

Il est infondé de parler de l'industrialisation ou de la préfabrication du bâtiment en France, sans en citer les faits et les acteurs qui sont à l'origine de leur émergence. Par conséquent, l'étude de la période ayant directement précédé l'avènement de la préfabrication de la construction, renseigne sur le rôle de certains protagonistes de la construction qui ont en jeté les bases et qui ont alimenté par leurs idées et leurs réalisations le mouvement architectural moderne. Joseph Monier, François Hennebique, François Coignet et son fils Edmond, August Perret, Henri Sauvage, Le Corbusier, Raymond Camus, pour n'en citer que ceux-là, sont autant de pionniers de la construction en béton armé en France. Il nous semble important de focaliser notre attention sur l'un d'eux, en l'occurrence, August Perret. En effet, nous ne pouvons manquer d'évoquer son œuvre caractérisée par l'utilisation du matériau béton. Il contribuera largement à la définition des fondements d'une nouvelle architecture pour le XXème siècle. Il est le premier à avoir

[29] L'objectif était de construire un logement 3 pièces de 50 m² pour un million de francs de l'époque.
[30] Theunynck S., 1994, *Economie de l'habitat et de la construction au Sahel*, Ed L'harmattan, France. p. 397.

construit en 1903 un immeuble entier en béton au 25 bis de la rue Franklin, à Paris. Pour Friedbert Kind-Barkauskas, il s'agit du «*... premier immeuble locatif dont la façade exprima typiquement la spécificité du béton armé,… L'immeuble de Perret donna le ton en matière d'architecture bétonnière* »[31].

I-5. 1. 2. Auguste Perret, pionnier de la préfabrication française

Auguste Perret commence réellement dès 1920 à injecter des éléments préfabriqués dans des constructions tels que les encadrements de baies, les corniches et autres. Pol Abraham, dans son livre « *Architecture préfabriquée* » édité en 1946, présente Perret comme le précurseur de la préfabrication, on y retrouve cette citation de Perret : « *La préfabrication est un des moyens les plus efficaces de combattre l'action des intempéries, principal obstacle à la rapidité et à la qualité de la construction. J'ajoute qu'il n'y a pas de préfabrication sans ordre, et l'ordre est une des conditions premières de l'architecture* »[32].

I-5. 1. 2. 1. Qui est August Perret ?

Architecte français, né le 12 février 1874 dans les environs de Bruxelles en Belgique, il s'exile avec sa famille en France dès son jeune âge. En 1891, il accède à l'école des beaux-arts de Paris qu'il quitte hâtivement pour rejoindre l'entreprise familiale avant même de décrocher un diplôme. En 1905, il crée avec ses frères Gustave et Claude l'entreprise « Perret Frères, entreprise générale de travaux publics et particuliers, béton armé ». Dès 1913, ils réalisent en structure de béton armé, le théâtre des Champs-Élysées à Paris, puis en 1922, l'église Notre-Dame au Raincy. Il devient ainsi l'un des premiers entrepreneurs à employer le béton armé dans la construction. Il décède à Paris le 25 février 1954 à l'âge de 80 ans.

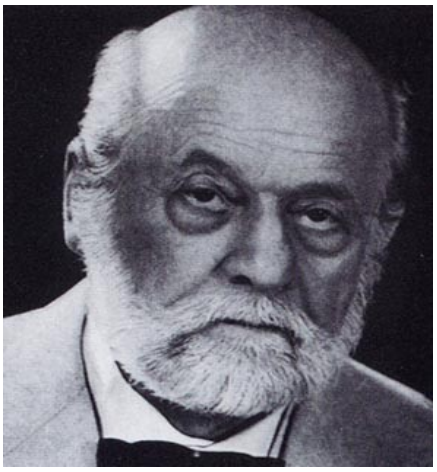


Figure 1.10 : Portrait d'Auguste Perret.
Source : http://www.peep-poitiers.fr/bibliotheque/auguste-perret

[31] Kind-Barkauskas F., et al., 2006, « Construire en béton : conception des bâtiments en béton armé » Presses polytechniques et universitaires romandes, Suisse.
[32] Abraham P., 1946, Architecture préfabriquée, Ed Dunod, Paris, France. Cit in, Delemontey Y., 2009, « Le béton assemblé - Préfabriquer la France de l'après-guerre (1940-1955) » Thèse de doctorat préparée à l'école doctorale Ville et environnement de l'université Paris 8 et à l'institut d'architecture de l'université de Genève. p. 228.

I-5. 1. 2. 2. Le chantier de la reconstruction de la ville du Havre

La ville du Havre, au bord de la Manche en Normandie, a été lourdement bombardée pendant la seconde guerre mondiale. Dès 1945, un programme de reconstruction des villes détruites était décidé par le gouvernement français et mené par le ministère de la reconstruction et de l'urbanisme (MRU). La zone détruite de la ville du Havre a été reconstruite d'après le plan d'une équipe dirigée par Auguste Perret. Parmi les nombreuses villes reconstruites, le Havre est exceptionnel pour son unité et son intégrité, reflétant l'image parfaite d'une ville composée de ses structures historiques encore existantes et des idées nouvelles en matière d'urbanisme et de technologie de construction.[33] Il s'agit d'un exemple remarquable de l'architecture et de l'urbanisme de l'après-guerre, l'usage du béton y a fait ses preuves en faisant recours à l'exploitation novatrice de son potentiel. Ainsi, de nouvelles techniques de construction en béton préfabriqué ont été expérimentées pour la première fois, tel que le procédé Camus.

Figure 1.11 : Vue partielle du centre ville reconstruit du Havre
Source : fr.wikipedia.org/wiki/Centre-ville_reconstruit_du_Havre

L'intervention de Perret et son équipe reçoit un écho élogieux de la part de la majorité des observateurs. André Chastel, un des commentateurs d'arts les plus reconnus, écrivait : « *Devant cette vaste conception, ce réseau de rapports apparents et cachés, cette méthode et cette rigueur poussés jusqu'à la sévérité, on pense aux villes "rationnelles" du XVIIème siècle, à la fois si sérieuses et si amples* »[34]. R. Dautry, ministre de la reconstitution, homme politique qu'il était, disait « *Faites cela, nous allons enfin montrer aux Américains ce qu'est une ville moderne* »[35]. Cependant, cette reconstruction n'a pas fait l'unanimité auprès des Havrais et des théoriciens et praticiens de l'architecture. La ville, ainsi conçue, semblait trop géométrique et orthogonale, par conséquent, monotone pour certains. L'usage des techniques de préfabrication entraîne des ressemblances frappantes entre les

[33] UNESCO, Convention du patrimoine mondial, (http://whc.unesco.org/fr/list/1181/)
[34] Jacono G., Arnould P., 2000, « Le Havre, paysage urbain et patrimoine entre béton, discours et images. De la reconstruction physique à la (re)construction mentale (1945-1995) » in Cahiers de la Méditerranée, N°60. Paysages urbains (XVIe-XXe siècles). Tome II. pp. 109-131. Cit in, Chastel A., 1953, « Un grand chantier "classique" : Le Havre, le plus noble épisode de la reconstruction » in le quotidien national d'information Français Le Monde n° 2649 du 1er août 1953. p. 6.
[35] Ibid. p. 6.

immeubles au point où certains qualifiaient cette architecture d'austère et froide avec des bâtiments dressés tels des cubes inertes en béton.

I-5. 1. 3. La préfabrication française à travers ses procédés

Camus, Balency, Coignet, Barets, Costamagna, Tracoba, Coutant… sont autant de procédés de préfabrication français. Tous autant qu'ils sont partagent leurs principes de base avec une originalité individuelle demeurant essentiellement dans les détails d'assemblage et de jonction entre les panneaux. Cette évolution parallèle des uns et des autres se remarque aujourd'hui par l'adoption générale de panneaux lourds porteurs en béton, produits sur chantier ou à l'usine. La différence essentielle entre les procédés se marque dans le moyen de production plutôt que dans le produit lui-même.[36] Nous avons choisi de présenter les procédés Camus, ceux qui, de l'avis de beaucoup d'observateurs sont les plus répandus et le plus représentatifs de la préfabrication à la française. De plus, parmi les 21 usines Camus alors implantées à travers le monde, nous en trouvons deux en Algérie, l'une fixe à Constantine et l'autre volante à Philippeville (Skikda). Selon la figure ci-contre extraite de la conférence préparée et présentée à Athènes en 1960 par une équipe de techniciens et de chercheurs du groupe de construction Raymond Camus, ces deux usines qui ont sans doute produit les premières constructions préfabriquées en Algérie, représentent à elles seules environs 15 % de la production totale des usines Camus à travers le monde.

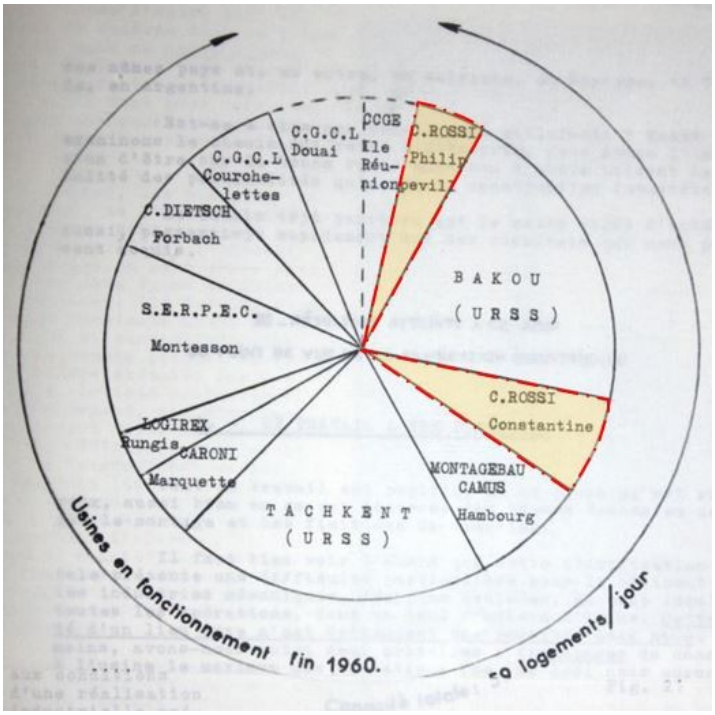


Figure 1.12 : Usines Camus opérationnelles en 1960.
Source : Techniciens et chercheurs du groupe Camus, 1960, « L'habitat et les procédés Camus », in actes de la Conférence d'Athènes, p.22.

[36] Barets J., 1965, « Considérations sur la préfabrication lourde en France » in Habitation : revue trimestrielle de la section romande de l'Association Suisse pour l'Habitat, Vol 37, Cahier 9, pp. 34-35.

I-5. 1. 3. 1. Les procédés Camus

Les procédés Camus sont nés dans la foulée de la reconstruction de la ville du Havre qui était, à cette époque, un véritable laboratoire d'architecture moderne dans un contexte urbain extrêmement ordonnancé. C'est en 1950 que Raymond Camus se voit confier pour la première fois la construction d'un immeuble entièrement préfabriqué situé à l'ilot N° 17 du quartier du Perrey. Ces procédés sont ceux qui symbolisent sans doute le mieux la préfabrication à la française. Ils connaitront en l'espace de quelques années un succès phénoménal au point de s'exporter dans le monde entier. En effet, à la fin des années cinquante (1950), on dénombrait six usines Camus en France, deux en Union Soviétique, deux en Algérie (Constantine et Philippeville), deux en Allemagne de l'Ouest, deux en Autriche, trois en Grande Bretagne, deux en Italie, une en Espagne et une au Japon. Au total, 21 usines sont actives à travers le monde et 150 000 logements ont été construits.[37]

Figure 1.13 : façade de l'immeuble préfabriqué implanté dans l'ilot 17. **Source :** DOCOMOMO, (www2.archi.fr/)

I-5. 1. 3. 1. 1. Qui est Raymond Camus ?

Né en 1911, Raymond Camus est un ingénieur des arts et manufactures français. En 1933, à l'âge de 22 ans, il obtient son diplôme à l'école centrale. Quatre années plus tard, soit en 1937, il devient employé chez le constructeur automobile Citroën ou il côtoiera pour la première fois le monde de l'industrialisation. En 1942, il est recruté dans l'entreprise de travaux publics Bancel et Choiset, il y reste six années. Il entreprend en parallèle des recherches sur l'industrialisation du bâtiment qui aboutiront en 1948 au dépôt de l'ensemble des brevets qui caractérisent

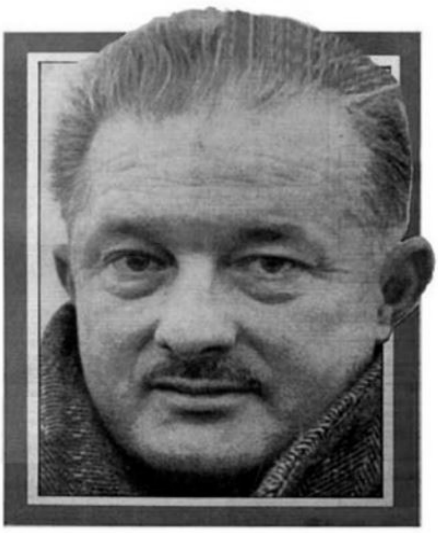


Figure 1.14 : Portrait de Raymond Camus.
Source : centrale-histoire.centraliens.net

[37] Extrait de l'Encyclopédie pratique de la construction et du bâtiment, 1959, Librairie Aristide Quillet, Paris, p. 1404.

ses procédés de construction dont celui qu'il appelle sobrement «procédé de construction»[38]. Par la suite, durant sa longue carrière d'ingénieur et entrepreneur, il va s'illustrer par ses procédés de préfabrication de logements et d'établissements scolaires divers. Il décède en 1980 à l'âge de 69 ans.

I-5. 1. 3. 1. 2. Camus, un procédé novateur

Comparé aux procédés antérieurs, celui de Camus innove en introduisant trois aspects absolument novateurs. Premièrement, l'importance des dimensions et de poids des éléments, les plus grands peuvent atteindre six mètres de long et quatre tonnes. Le deuxième est l'unification de la préfabrication qui, désormais, utilise un seul procédé constructif dans un seul et même ouvrage. « *Pour la première fois, c'est l'ensemble de la construction qui est pensé selon le même procédé, c'est-à-dire selon les mêmes techniques de composition, de fabrication et d'assemblage, ainsi que dans le même matériau et les mêmes dimensions »*[39]. Le troisième est l'incorporation de certains éléments de second œuvre comme la boiserie, l'électricité ou la plomberie dans les panneaux en béton au moment de leur préfabrication en usine. On assiste alors au fait inédit de la primauté des travaux de second œuvre sur ceux du gros œuvre dans un sens ou l'on coule du béton pour constituer les éléments structurels porteurs après avoir réalisé le montage des panneaux préalablement munis de contenus de second œuvre.

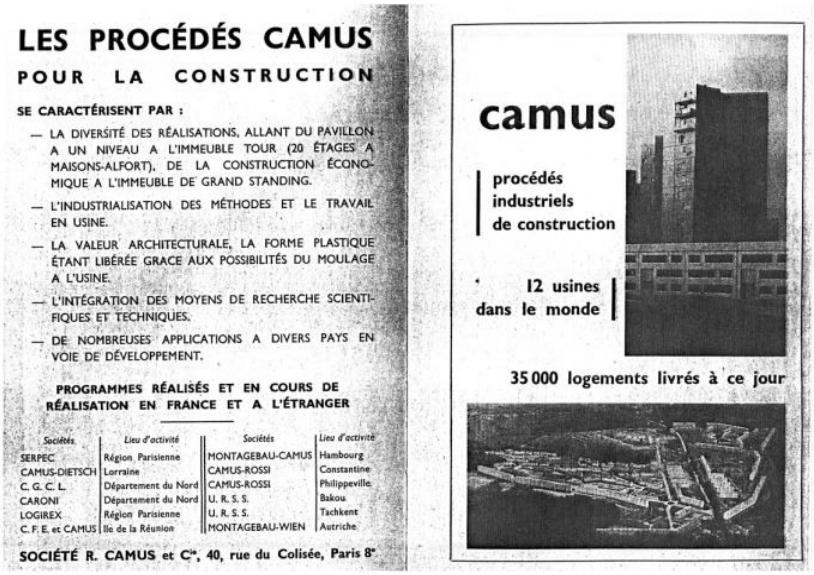


Figure 1.15 : Publicité pour le procédé Camus, années 1950.
Source : Solopova N., 2001, Op Cit, p.216.

[38] Anonyme., 1957, « Raymond Camus & Cie » in Le moniteur des travaux publics et du bâtiment (Le livre d'or de l'entreprise française : entrepreneurs et entreprises), N° spécial, juin 1957, pp. 25-28. Cit in, Resendiz-Vazquez A., 2010, « L'industrialisation du bâtiment Le cas de la préfabrication dans la construction scolaire en France (1951-1973) » thèse de doctorat soutenue le 13 Juillet 2010 au Conservatoire National des Arts et Métiers - Centre d'Histoire des Techniques et de l'Environnement, Paris, France. p. 299.

[39] Delemontey Y., 2013, « Raymond Camus et l'avènement de la préfabrication lourde en France : vers un nouveau paradigme structurel en France » in revue Centraliens, N° 625, Avril-Mai 2013, (www.centraliens.net).

I-5. 1. 3. 1. 3. Description des procédés Camus

Raymond Camus avait dès le départ décrit son système de préfabrication en ces quelques paragraphes :

« *Ces procédés consistent essentiellement à fabriquer, par moulage en série, de grands panneaux qui constituent, en un seul élément, chacune des faces : murs, cloisons, refends, planchers, des pièces du logement.*»[40] ;

« *Les panneaux sont essentiellement en béton et comportent, outre les armatures internes, des fers permettant l'accrochage pour les manutentions et les liaisons définitives. Leur profil périphérique est conçu de telle sorte qu'à leur jonction soient constituées des alvéoles ou s'entrecroisent les fers de liaison : le coulage du béton sans coffrage crée la soudure et le chaînage et assure à l'ensemble une véritable structure en caisson qui permet la construction de l'immeuble sans ossature préalable.*»[41] ;

« *Les fabrications organisées en usine permettent avec le minimum de spécialistes, de réaliser les panneaux avec leurs revêtements : carrelage, porte, fenêtres, ou canalisations, tels qu'ils doivent se présenter dans le logement fini.*» [42] ;

« *Ces éléments qui pèsent jusqu'à 7 tonnes sont transportés de l'usine aux chantiers sur des remorques spéciales et sont directement mis à leur place définitive à l'aide d'une grue.*»[43] ;

Pour récapituler, les bâtiments construits à l'aide des procédés Camus sont composés de panneaux verticaux porteurs intégrant une multiplicité de fonctions. Ils sont préfabriqués en petit ou grand nombre en usine, et leur durcissement est obtenu en un temps record grâce un traitement thermique adapté. Une fois sur chantier, ils sont directement montés et reliés convenablement par leurs bords ainsi qu'aux planchers-dalles en béton armé. La construction de bâtiments selon les procédés Camus suit trois phases essentielles, la préfabrication en usine, le transport et le montage et finitions au chantier. Ce cycle qui ne souffre quasiment d'aucune contrainte est géré par un planning rigoureux et perpétuel. Les plannings de l'usine, du transport et du chantier sont liés par une étroite relation.

---

[40] Techniciens et chercheurs du centre de Recherche pour le Développement de l'Industrialisation de la Construction du groupe de construction Raymond Camus, 1960, « L'habitat et les procédés Camus », in actes de la conférence tenue à Athènes en 1960, p. 20. (Document d'archives numérisé par Association For Préservation Technologie, International).
[41] Ibid, p.20.
[42] Ibid, p.20.
[43] Ibid, p.20.

I-5. 1. 3. 1. 4. Degré de prise en charge de la qualité thermique

Outre la fonction porteuse, l'incorporation de divers éléments de second œuvre, la qualité d'imperméabilité à l'eau pluviale, les panneaux en béton préfabriqué produits par les usines Camus sont dotés d'une excellente isolation thermique. Cette dernière est généralement obtenue par l'incorporation d'un isolant spécial dans l'épaisseur des panneaux de façade. A l'aide d'une isolation continue, les ponts thermiques, source importante de déperditions thermiques, sont soigneusement prévenus.

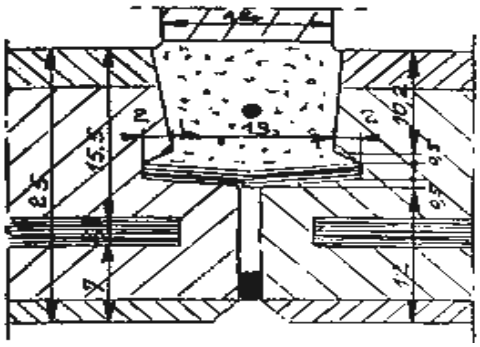


Figure 1.16 : Coupe horizontale sur un panneau en béton préfabriqué. L'isolation thermique y est continue. Au droit des potelets verticaux, une plaque d'isolant (polystyrène expansé) coupe le pont thermique.
Source : Techniciens et chercheurs du groupe Camus, 1960, Op Cit, p.35.

La conductibilité des polystyrènes utilisés pour l'isolation thermique est égale à $\boldsymbol{\lambda = 0,030}$ W / m.°C. Avec cette valeur, le coefficient k du mur porteur ci-contre (22 cm d'épaisseur) est donné par : $\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{k}} = \frac{1}{hi} + \frac{ép\ bét\ 1}{\lambda\ bét\ 1} + \frac{ép\ isol}{\lambda\ isol} + \frac{ép\ bét\ 2}{\lambda\ bét\ 2} + \frac{1}{he}$

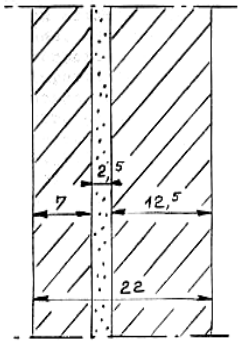


Figure 1.17 : Coupe verticale sur un panneau en béton préfabriqué montrant l'isolation thermique en feuilles de polystyrène expansé.
Source : Techniciens et chercheurs du groupe Camus, 1960, Op Cit, p. 36.

Avec : $\frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{k}} = \frac{1}{hi} + \frac{0,07}{1,30} + \frac{0,025}{0,030} + \frac{0,125}{1,10} + \frac{1}{he}$

Et : $\frac{1}{hi} + \frac{1}{he} = 0.195$ m². °C / W

Ce qui donne : **k = 0, 84** W / m². °C [44]

I-5. 1. 3. 1. 5. Assimilation de la valeur architecturale par les procédés Camus

Les techniciens et chercheurs du groupe de construction Camus admettent à la préfabrication les problèmes de la série, de la standardisation et de l'uniformité. Ils estiment, dans le manuscrit de la conférence qu'ils ont tenue en 1960 à Athènes, que les critiques formulées à l'égard de l'architecture des constructions industrialisées et préfabriquées sont tout à fait fondées : *«... Mais qui dit industrialisation dit : série. Or quand on parle de série dans la construction des logements, bien des gens dressent*

[44] Ibid, p. 36.

l'oreille et se montrent réticents : ils n'ont pas tout à fait tort.»[45]. Plus loin, il est noté que *« La série c'est la répétition. Cette répétition ne se traduira-t-elle pas par l'uniformité ? Va-t-on construire des logements et des groupes de logements tous semblables ou fortement parents, sans personnalité expressive et par conséquent sans caractère ! Il naitrait alors une nouvelle laideur pire encore que la laideur tant décriée de nos vastes banlieues, l'uniformité aboutissant finalement au même manque de valeur que la fantaisie désordonnée et anarchique ?»*[46] Et de poursuivre en soutenant l'idée selon laquelle la préfabrication offre des possibilités nouvelles de produire des constructions aux goûts et au gré des architectes : *« Suffit-il de dire en réponse : l'artiste d'une époque doit apprendre à travailler avec les matériaux, avec les moyens techniques, avec la palette de son époque et c'est avec eux qu'il doit réaliser ses œuvres, non avec ceux des siècles révolus.»*[47]

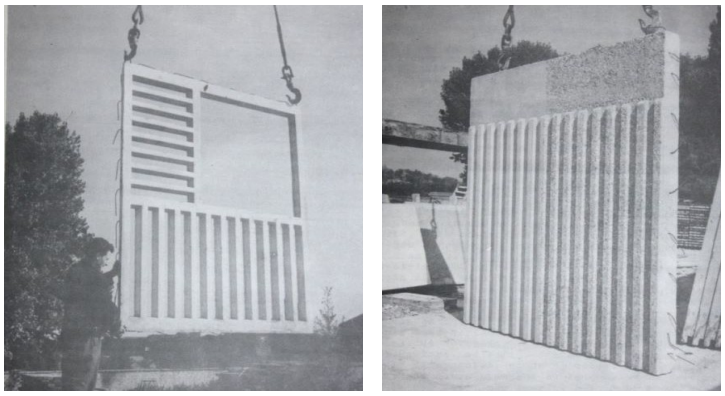


Figure 1.18 : Expressions plastiques des éléments préfabriqués Camus.
Source : Techniciens et chercheurs du groupe Camus, 1960, Op Cit, p.44, 45

A l'architecte, l'industrialisation offre une nouvelle palette de possibilités et de moyens techniques qui lui permettent de composer plus aisément et avec une grande richesse. Ainsi, par exemple, grâce au champ d'action offert par le moulage du béton, les panneaux de façade en béton préfabriqué ont une valeur d'expression plastique diversifiée (Figure 1.18). Les plans des maisons réalisées à l'aides des procédés Camus montrent des possibilités diverses en matière de composition architecturale et de spatialisation intérieure. Ils expriment, par ailleurs, une donnée très importante, à savoir la possibilité de réaliser toutes sortes de constructions avec un seul et même procédé de préfabrication et cela sans aucune étude structurelle préalable.

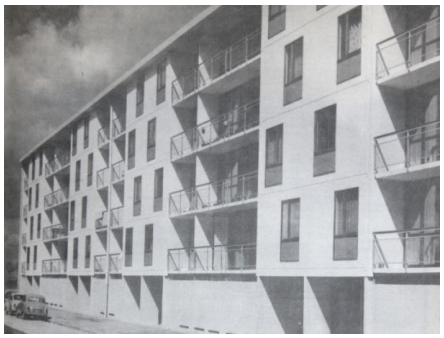


Figure 1.19 : Façade constitués d'éléments préfabriqués Camus, France.
Source : Techniciens et chercheurs du groupe Camus, 1960, Op Cit, p. 52.

[45] Ibid, p. 41.
[46] Ibid, p. 42.
[47] Ibid, p. 42.

I-5. 2. L'industrialisation et la préfabrication en Algérie

I-5. 2. 1. Cadre temporel de l'usage des méthodes industrielles dans le bâtiment

Le 3 Octobre 1960, à l'époque où l'Algérie était encore sous l'occupation française, le groupe de construction Camus inaugurait une importante usine fixe de préfabrication dans la région de Constantine caractérisée par une forte densité. Plus tard dans la même année, une autre usine, cette fois-ci déplaçable, entrait en production dans la ville moins peuplplée de Philippeville (actuelle Skikda). Avec ses deux nouvelles usines, la capacité de production des usines Camus à travers le monde atteignait les 59 logements par jour.[48] A l'indépendance et deux années après leurs inaugurations, ces deux fabriques ont cessé de produire ; s'en suit une décennie marquée par l'absence des méthodes de l'industrie dans les rares chantiers de construction à cette période. L'industrialisation du bâtiment ne fera sa réapparition qu'au début des années 1970 avec le secteur public et le premier plan quadriennal 1970-1974, qui a opté pour les techniques industrielles en vue de remplacer les techniques dites traditionnelles.[49] Durant la période 1970 - fin des années 1980, le secteur public n'était pas le seul à réaliser des constructions industrialisées en Algérie, il opérait aux cotés de multiples entreprises privées, algériennes et étrangères. A partir de l'année 1990, les méthodes de construction industrialisées ont considérablement perdu du terrain. Elles ne sont maintenues que par une poignée d'entreprises nationales telles que Cosider et Génisider, et certaines entreprises étrangères.

Nous explicitons ci-après ces différentes étapes en apportant un maximum de données et d'éclaircissements.

I-5. 2. 1. 1. Les usines Camus-Rossi de Constantine et Philippeville 1960-1962

Dans l'optique de l'exportation de ses procédés de préfabrication vers des régions en voie d'industrialisation, le groupe de construction Camus a inauguré à la fin de l'année 1960 deux usines en Algérie dans les régions de Constantine et de Philippeville. Il s'agit de deux fabriques de fonctionnement simple et adapté aux possibilités locales. L'usine fixe de Constantine était conçue pour une forte production tandis que l'usine déplaçable de Philippeville était plutôt prévue pour une production dispersée et moins importante. Elles contribuent pour une bonne partie de la production des usines Camus implantées ailleurs dans le Monde.

[48] Ibid, p. 22.
[49] Laaha-Tarache A., 2010, Op cit, p. 136, 137.

Figure 1.20: Cité construite avec le procédé Camus à Skikda.
Source : blog internet (www.panoramio.com)

Figure 1.21: Cité construite avec le procédé Camus à Skikda.
Source : blog internet (www.panoramio.com)

Dans l'ensemble des quelques cités d'habitation réalisées par le procédé Camus en Algérie, la cité des Frères-Saker dite « Camus-Rossi Lekdim » et la cité des fonctionnaires dite « Camus-Rossi Ledjedid » de Skikda constituent les deux éléments les plus représentatifs des ce type de construction.

Les trois figures ci-dessus donne un aperçu sur l'aménagement des les deux usines de Constantine et de Philippeville.

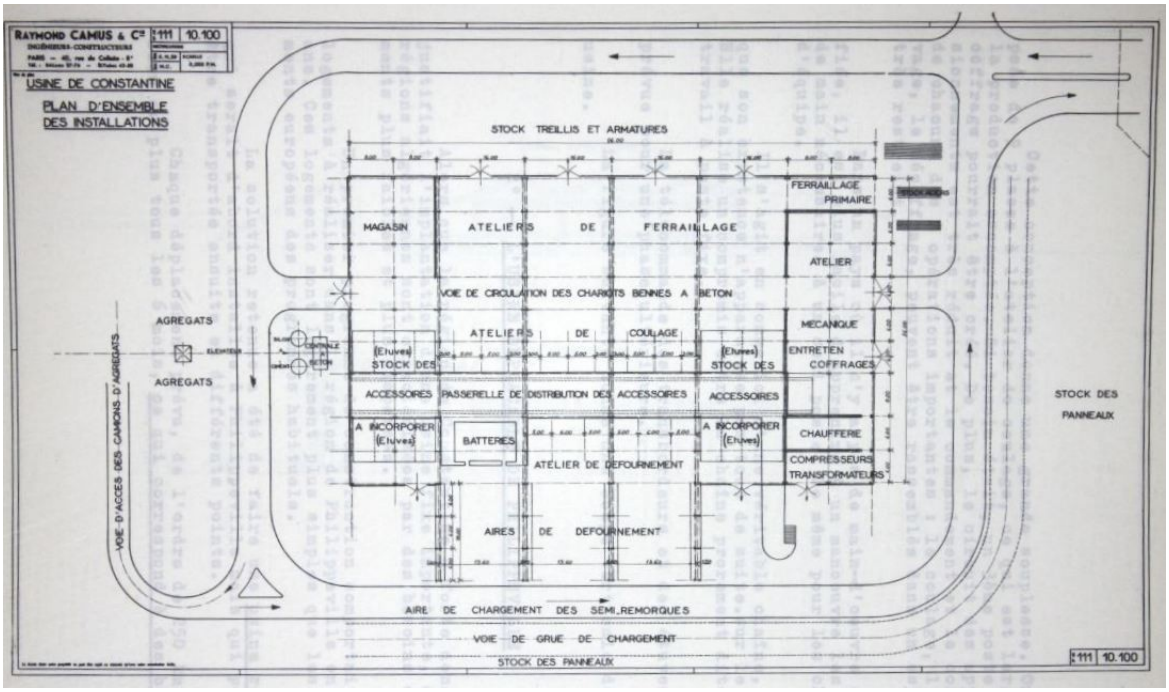


Figure 1.22 : Plans d'ensemble des installations de l'usine de préfabrication Camus de Constantine.
Source : Techniciens et chercheurs du groupe Camus, 1960, Op Cit, p. 71.

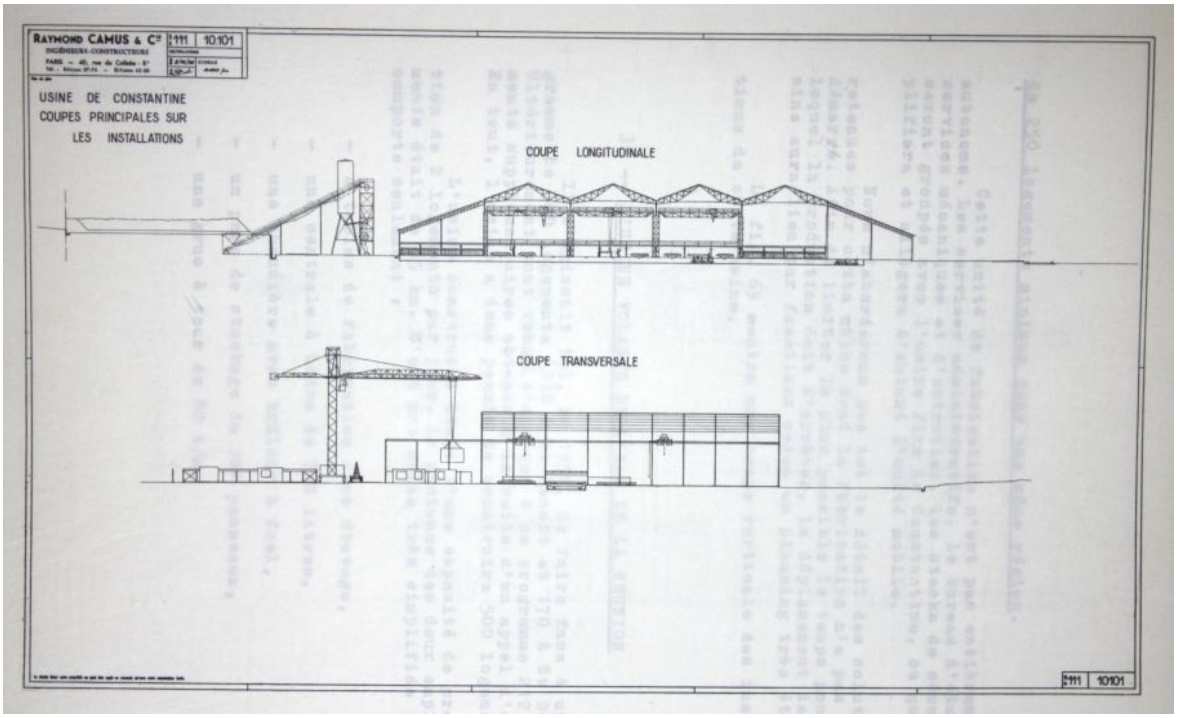


Figure 1.23 : Coupe principale sur les installations de l'usine de préfabrication Camus de Constantine.
Source : Techniciens et chercheurs du groupe Camus, 1960, Op Cit, p. 73.

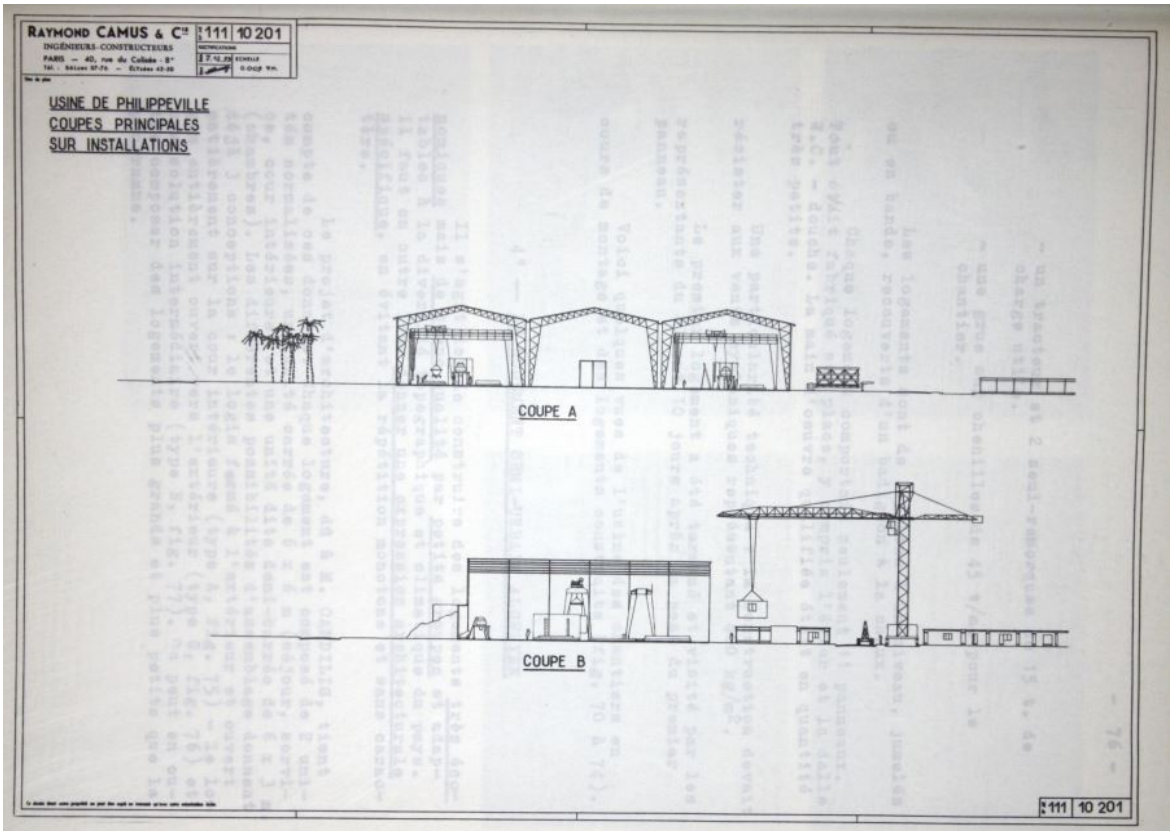


Figure 1.24 : Coupes principales sur les installations de l'usine de préfabrication Camus de Philippeville (Skikda).
Source : Techniciens et chercheurs du groupe Camus, 1960, Op Cit, p. 75.

I-5. 2. 1. 2. Les plans quadriennaux 1970-1977 où la relance de l'industrialisation du bâtiment

Apres un long passage à vide des lendemains de l'indépendance, le nouvel Etat algérien a de nouveau recouru à la préfabrication pour concrétiser le vaste programme de construction de logements lancé au début des années 1970. Le « redémarrage » de l'industrialisation se fait alors à l'Est du pays avec la Société Nationale de Travaux et d'Infrastructures de Bâtiment (SONATIBA) qui reprend dès 1969 les usines de préfabrication lourde déjà implantées avant l'indépendance (Les unités Camus-Rossi de Constantine et Skikda). Puis c'est au tour de l'ECOTEC d'acquérir trois unités de préfabrication à Constantine, Batna et Annaba. En 1975, ces deux entreprises s'engagent dans des programmes de constructions au Centre du pays en utilisant la même technique des tables, banches et façades préfabriquées en usine.

Dans une première période correspondant au premier plan quadriennal de 1970-1974, la préfabrication concerne principalement les panneaux préfabriqués, en usine comme c'est le cas de la SONATIBA, ou en chantier pour la Société de Réalisation et de Construction de l'Oranais (SORECOR), ou encore les cellules préfabriquées en usine et transportées puis assemblées sur chantier, un procédé utilisé par l'ECOTEC. Seul 19,40 % des quelques 1580 logements/an lancés sont réalisés durant cette période par la construction industrialisée.[50]

Au cours de la deuxième phase correspondant au second plan quadriennal allant de 1974 à 1977, ce sera 18 500 logements/an qui seront réalisés en système industrialisé. La part dans l'ensemble des logements lancés passe de 19,4 % à 47, 36 %. Cette période est aussi celle de la diversification des systèmes. En effet, la préfabrication en usine est de plus en plus concurrencée par la mécanisation associée ou non à la préfabrication. Ainsi, durant cette période, les coffrages tunnels ou tables et banches sont utilisés dans 65,5 % des logements construits en système industrialisé.[51]

[50] Laaha-Tarache A., 2010, Op cit, p. 137.
[51] Ibid, p. 138.

I-5. 2. 1. 2. 1. Implication des entreprises publiques, privées et étrangères.

Durant la période 1970 – 1977, 34 702 logements ont été réalisés sur un total de 156032 lancés, soit environs 22, 24 % seulement.[52] Cet important programme de constructions a été confié à des entreprises publiques et privées nationales ou étrangères. La part du secteur public est de l'ordre de 64, 8 % répartie comme suit : [53]

- Entreprises nationales 26, 68 % ;
- Entreprises régionales 18, 91 % ;
- Entreprises locales 19, 21 %.

Le secteur public avait, à cette époque, la structuration suivante :

Périmètre d'action	Désignation des entreprises	Tutelles
Les entreprises dont le champ d'action s'étale sur le territoire national	La SONATIBA (Société Nationale de Travaux et d'infrastructures de bâtiment)	Ces entreprises étaient sous la tutelle du Ministère de l'Urbanisme, de la Construction et de l'Habitat.
	L'ESDNC (Entreprise de Construction de la Défense Nationale)	
	L'ECOTEC.	
Les entreprises agissant au niveau régional	La SORECOR (Société de Réalisation et de Construction de l'Oranais)	
	La SORECSUD (Société de Réalisation et de Construction du Sud)	
	La SORECAL (Société de Réalisation et de Construction d'Alger)	
	La SORECO (Société de Réalisation et de Construction de Constantine)	
Les entreprises agissant au niveau des wilayas	L'EPBTP de wilaya (Entreprises Publiques du Bâtiment et des Travaux Publics)	
Les entreprises agissant au niveau des daïras	Les Syndicats intercommunaux de Travaux	Sous la tutelle du Ministère de l'Intérieur.
Les entreprises agissant au niveau des communes	L'ECOTRA (Entreprise Communale de Travaux)	Sous la tutelle du Ministère de l'Urbanisme, de la Construction et de l'Habitat.

Tableau 1.1 : Structures des entreprises de construction publiques durant les années 1970.
Source : Laaha-Tarache A., 2010, Op cit, p. 129.

Cette structuration dénote de la pluralité des centres de décision qui existait dans ce domaine : Les entreprises nationales, wilayales et communales sont sous la tutelle du ministère de l'urbanisme, de la construction et de l'habitat, toutes les entreprises agissant au

[52] Ibid, p. 128.
[53] Ibid, p. 130, 131.

niveau des daïras dépendent, quant à elles, du ministère de l'intérieur, alors que le ministère des anciens moudjahidine agit par le biais d'une entreprise de construction qui lui est propre, la COOPEMAD. Cette situation laisse apparaître la difficulté qu'il y avait de coordonner les activités entre les différentes unités de production.

La particularité du domaine du bâtiment durant cette période été la coexistence d'un secteur public avec un secteur privé très actifs. *« En fait le principal pourvoyeur et constructeur de logement était l'Etat. Même si le secteur privé n'était pas absent, ..., le secteur public était dominant par son accession à l'industrialisation et par son accaparement de tous les programmes de grande envergure».*[54] Cependant, les entreprises privées étaient nombreuses et engagées à tous les niveaux de la production du logement, que ce soit au niveau régional ou national. Le secteur privé étranger débarque avec les débuts puis la généralisation de l'industrialisation du bâtiment en Algérie, A cette époque, le passage à des procédés de construction nouveaux est rendu inévitable face à la pression d'une forte demande ; la solution fut le recours à des entreprises étrangères bien rompues aux techniques industrielles de la construction.

Le tableau ci-après illustre le nombre d'entreprises publiques et privées qui opéraient à cette époque dans le domaine du bâtiment.

Type		Années								%
		1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	
Entreprises publiques	Nationales	2	4	4	4	4	4	6	6	**2 %**
	Régionales	4	5	6	6	6	10	11	11	**3 %**
	Locales	5	7	15	19	38	71	95	104	**29 %**
Sous / Total		**11**	**16**	**25**	**29**	**48**	**85**	**112**	**121**	**34 %**
Entreprises privées	Algériennes	13	22	39	62	82	150	203	226	**64 %**
	Etrangère	--	--	--	--	--	1	6	7	**2 %**
Sous / Total		**13**	**22**	**39**	**62**	**82**	**151**	**209**	**233**	**66 %**
TOTAL		**28**	**38**	**64**	**91**	**130**	**237**	**321**	**354**	**100 %**

Tableau 1.2 : Evolution annuelle du nombre d'entreprises participant au programme public de construction de logements urbains.
Source : Laaha-Tarache A., 2010, Op cit, p. 132.

[54] Laaha Tarache A., 2009, « Les facteurs déterminants la crise de logement en Algérie» in revue des sciences humaines, Vol B, N°32, Décembre 2009, pp. 67-80.

I-5. 2. 1. 2. 2. Contexte international

Durant les années soixante-dix (1970), l'Algérie importait la totalité de la technologie mécanique pour la mise en œuvre de son programme d'industrialisation du bâtiment. *« Les planificateurs algériens ont mis en œuvre dans les années soixante-dix une politique d'industrialisation du bâtiment orientée vers la promotion de la préfabrication et du coffrage-outils, technologies toutes importées »*[55]. Il était donc naturel dans cette conjoncture d'aller voir au delà des frontières nationales pour faire un état des procédés technologiques utilisés dans le monde de la construction moderne. Ainsi, selon une étude du CNAT[56] reprise par Laaha Tarache Adra[57] dans sa thèse de Doctorat, ces procédés sont regroupés en quatre familles essentielles. Elles sont définies en fonction des techniques utilisées pour la réalisation de la structure porteuse.

- **Famille technologique n° 1** : Il s'agit de tous les procédés de la construction par bétonnage faisant usage du coffrage outil. Elle englobe les techniques du coffrage tunnel utilisées pour la réalisation des murs transversaux, les dalles-plancher et dalles-toiture. Ces techniques sont associées à un jeu de banches pour l'exécution des murs de façade. Elle s'insère dans le « groupe mécanisation ».
- **Famille technologique n° 2** : Elle englobe les procédés techniques qui réalisent la construction par assemblage de composants fonctionnels plans en béton armé. Les murs et les façades qui peuvent être de grande taille (préfabrication lourde) ou de petite taille (Préfabrication légère) sont préfabriqués en usine fixe ou en usine foraine. Cette famille s'insère quant à elle, dans le « groupe préfabrication ».
- **Famille technologique n° 3** : Cette famille concerne tous les procédés techniques qui réalisent la construction par agencement d'ensembles fonctionnels volumiques en béton armé. Il s'agit de tous les procédés inclus dans la préfabrication par ensembles tridimensionnels en usine fixe. Comme la famille technologique n°2, elle s'insère aussi dans le « groupe préfabrication ».
- **Famille technologique n° 4** : C'est l'ensemble des procédés techniques utilisant les tables et banches pour réaliser les dalles-plancher, les dalles-toiture et les murs de refend transversaux, les autres éléments constructifs tels que les murs de façade sont soit préfabriqués ou construits à la manière traditionnelle. Cette famille technologique est aussi

[55] Sid B., 1986, Op Cit, p. 85.
[56] Centre National d'Etudes et d'animation de l'Entreprise du bâtiment, des Travaux publics et l'hydraulique.
[57] Laaha-Tarache A., 2010, Op cit, p. 33-35.

appelée « système hybride » puisqu'elle repose sur l'association des méthodes industrialisées et de certains éléments préfabriqués en usine. Elle s'insère dans le « groupe mécanisation ».

I-5. 2. 1. 3. Les plans quinquennaux 1980-1989

Durant le premier plan quinquennal, l'État algérien avait donné, pour la concrétisation des ses programmes de logement ou d'équipements publics, la priorité aux procédés de préfabrication les plus complexes; procédés Gibat, Vareco ou encore le procédé Pascal (procédé utilisé à la faculté des sciences médicales de l'université de Tizi-Ouzou). Le second plan quinquennal, en plus d'être marqué par la complexité et l'hétérogénéité des procédés de même âge technique (multiplicité des procédés de préfabrication et des coffrages-tunnel en particulier), se caractérise également par le recours à des procédés de construction d'âges différents (coffrage traditionnel, coffrage-tunnel, préfabrication lourde).[58]

I-5. 2. 1. 4. Depuis 1990 à nos jours

De la fin des années 1980 jusqu'au début des années 2000, l'Algérie allait faire face à une crise multidimensionnelle : baisse des prix du pétrole, surendettement de l'Etat et problème politico-sécuritaire de la décennie noire. La situation du secteur de la construction pouvait être considérée en stagnation voire en récession au même titre que d'autres secteurs de l'économie nationale.[59] Ce n'est qu'avec la remontée des prix du pétrole et la stabilité retrouvée de la situation sécuritaire du pays que l'économie algérienne retrouvera peu à peu un semblant d'activité. Les plans quinquennaux qui suivront seront consacrés à la relance économique notamment la résolution des problèmes sociaux dont l'habitat et les équipements publics. Les procédés constructifs utilisés vont être soit le « coffrage-outils » pour les entreprises du secteur public, soit les technologies traditionnelles pour toutes les autres entreprises et en particulier les entreprises du secteur privé algérien.[60]

A défaut d'être encadrées par une réelle orientation ou volonté politico-économique, les tentatives de réhabiliter les méthodes de bâtir industrialisées sont restées timides et insignifiantes. Même si la technique industrielle du coffrage tunnel a été adoptée dans un

[58] Sid B., 1986, p. 86.
[59] Laaha Tarache A., 2009, Op Cit, p.71.
[60] Ibid, p. 78.

petit nombre de constructions du programme de logements, l'industrialisation reste peu prolifique et minime comparées aux vastes programmes de construction de logement et d'équipements divers réalisés à la manière dite traditionnelle et confiés à des entreprises publiques et privées de nationalités algériennes, espagnoles, turques ou encore chinoises.

I-5. 2. 1. 5. Vers la réhabilitation du recours aux procédés du logement industriel par la ressuscitation des grandes entreprises publiques.

A la fin de l'année 2014, avec l'organisation d'assises nationales sur l'industrialisation de la construction sous le thème « la modernisation de la construction, promotion du logement et préservation de l'identité nationale », et l'ambition d'acquérir cinq nouvelles unités industrielles de production de logements qui seront implantées à Annaba, Alger, Oran, Ouargla et Bechar, l'État algérien s'oriente d'une manière clairement affichée vers l'industrialisation du secteur du bâtiment. Ces assises nationales auxquelles ont été associés des partenaires et experts étrangers, ambitionnent de *« réhabiliter le recours aux procédés du logement industriel que les grandes entreprises nationales de réalisation (DNC, SONATIBA...) maîtrisaient déjà dans les années 1970 »* [61].

Lors d'une allocation prononcée le 30 Septembre 2014 en marge d'une journée d'étude sur l'industrialisation de la construction organisée par le ministère de l'habitat, le premier ministre a indiqué que *«Le déficit en matière de logement sera résorbé d'ici 2018 (...). Tout algérien qui se trouve dans le besoin d'un logement l'aura»*. Le nouveau programme public de logements qui prévoit la réalisation de 1,5 millions de nouveaux logements tous types confondus permettra aussi *«l'éradication définitive de l'habitat précaire en Algérie»* d'ici quatre ans.

La nouvelle stratégie de l'État passe tout d'abord par la modernisation des entreprises de réalisation. Selon Tebboune A.,[62] *« les 27 entreprises de la SGP Indjab*[63] *n'ont pas livré plus de 1200 logements en une année ».* C'est en fonction de cette réalité que la SGP a été dissoute et restructurée en cinq grandes entreprises régionales. Ainsi, les filiales de la SGP Indjab, qui représentent la capacité publique de réalisation, seront converties en cinq grandes entreprises publiques économiques sous forme de SPA (société par actions) avec un objectif global de réaliser 80.000 logements annuellement. Selon le président du

[61] Dans l'entretien accordé à l'APS (Algérie Presse Services) par le ministre de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville, Abdelmadjid Tebboune.
[62] Tebboune Abdelmadjid, Ministre Algérien de l'Habitat en 2014.
[63] SGP-Indjab (Société de Gestion des Participations- Indjab).

directoire de la société de gestion des participations de l'État SGP-Indjab, chacune des cinq usines, qui seront installées en mai 2015 par le truchement d'un partenariat entre des entreprises nationales et étrangères, devra, dans un premier temps, produire 2 000 à 5 000 logements par an.

Dans un article paru dans le quotidien national d'information « Liberté », le président du CNEA (Collège National des Experts Architectes), Monsieur Abdelhamid Boudaoud, estime que l'objectif fixé par la SGP-Indjab est impossible à atteindre, il s'appuie sur un simple calcul arithmétique pour démonter les thèses de la tutelle. *« Réaliser 2000 logements par an sous-entend livrer 166 unités clés en main par mois et 42 par semaine. C'est impossible. Où est la main-d'œuvre et comment contrôler la situation financière des travaux en un temps si court. Il s'agit aussi de fournir les packs sanitaires et électriques. Quels sont les ateliers qui vont les fabriquer ? Qu'en est-il pour les ascenseurs ? Au-delà, le préfabriqué a une durée de vie de 30 ans. A-t-on prévenu les souscripteurs AADL et LPP qu'ils investissent dans un logement à longévité limitée ? ».*[64]

I-6. La préfabrication à travers ses dualités

I-6. 1. Préfabrication en usine, en atelier ou sur chantier

Selon que la préfabrication soit faite à pied d'œuvre, en atelier ou en usine, J.-P Vouga fait dans un article de 1961 la distinction suivante : « *La préfabrication à pied d'œuvre (foraine) est faite sur le chantier même, soit à couvert, soit à ciel ouvert. La préfabrication en atelier est faite avec un équipement industriel, toutefois encore à l'air libre. La préfabrication en usine est faite dans des locaux fermés avec tout l'équipement que permet la technique industrielle. ».*[65] Il poursuit en soulevant les différences des ces trois techniques : « *(...) Avec le travail à pied d'œuvre, la main-d'œuvre est soumise, à peu de chose près, aux mêmes aléas que la construction traditionnelle; intempéries, irrégularités de composition des liants, mortiers et bétons, etc. Ces inconvénients diminuent avec le travail en atelier mais ils se compliquent des difficultés dues au stockage et au transport. Enfin, le travail en usine permet théoriquement une activité indépendante des saisons, une élimination complète, par un contrôle constant, des irrégularités dans la structure des*

[64] Hammadi S., « Production de 2 000 à 5 000 logements préfabriqués par an et par usine, le Cnea contredit les annonces de la tutelle » article paru dans le quotidien national d'information Algérien Liberté N° 6887 du 05 Avril 2015.

[65] Vouga J-P., 1961, « La préfabrication » in Habitation : revue trimestrielle de la section romande de l'Association Suisse pour l'Habitat, Vol 33, Cahier 2, pp. 15-18.

matériaux composants. (…) En revanche, le travail en usine exige une organisation rigoureusement poussée du cycle fabrication - stockage - transport - montage, l'élimination absolue de tous les à-coups dans son déroulement, en d'autres termes, une véritable organisation du marché ».[66]

L'usine est le lieu qui dispose de tous les moyens de production d'une industrie : mécanisation, organisation rationnelle du travail, outils de contrôle, main d'œuvre spécialisée. Cet endroit n'est généralement pas situé près du chantier, au sein duquel le bâtiment sera définitivement édifié. Elle est l'endroit fixe à partir duquel les « parties » préfabriquées, d'un bâtiment, seront livrées.[67] Opter pour la préfabrication en usine suppose un certain nombre de conditions. Tout d'abord, l'existence d'une demande consistante et organisée pour que l'usine puisse produire continuellement d'importantes quantités de logements ou d'équipements publics. La solidité des matériaux employés comme le béton armé ainsi que la proximité du chantier par rapport à l'usine sont d'autres facteurs déterminants. A ce propos, dans un article de 1965 intitulé « considérations sur la préfabrication lourde en France », Jean Barets considérait que la préfabrication en usine exigeant des investissements souvent considérables, est adoptée par des entreprises assumant elles-mêmes la totalité des opérations depuis la fabrication jusqu'au montage. Ces usines étant prévues pour des productions de 5 à 10 logements par jour, ne peuvent s'implanter que dans des régions très urbanisées à forte densité de constructions nouvelles.

Figure 1.25 : panneaux de façades entrain d'être préfabriqués en usine. **Source** : www.ebawe.de

Figure 1.26 : Préfabrication foraine desservie par portique et grue, Ballency. **Source** : Balency-Béarn A., Esquillan N., Lebelle P., 1964, Op Cit, p. 38.

[66] Vouga J-P., 1961, Ibid, p. 17.
[67] Resendiz-Vazquez A., 2010, Op Cit, p. 29.

Leur amortissement impose des programmes très répétitifs de 1000 à 2000 logements par an pendant au moins cinq ans, sans rupture de commande.[68]

La préfabrication sur chantier, cette manière de préfabriquer dite aussi « in-situ » ou « foraine » s'appuie sur de simples ateliers adaptés provisoirement pour que les moyens de fabrication (industriels) soient transportés au pied de la construction ou à son voisinage immédiat et dont la durée est limitée à celle du chantier. Ces ateliers forains sont moins équipés que l'usine, mais en revanche, ce type de préfabrication évite les frais de transport et les risques de détérioration de manutention.[69] Pour Jean Barets[70], la préfabrication sur chantier n'a rien à envier à la préfabrication en usine, il affirme que les panneaux préfabriqués sur le chantier ne sont ni moins lourds, ni moins finis que ceux préfabriqués dans les usines et leur fabrication impose des installations également très perfectionnées. Une année plutôt, A. Balency-Béarn, N. Esquillan et P. Lebelle[71] portaient une vision totalement différente sur la préfabrication foraine. Ils considèrent que cette dernière nécessite des installations assez réduites faites exclusivement pour le chantier et qu'elle reste assez imprécise et limitée le plus souvent à une partie seulement des éléments de gros-œuvre.

I-6. 2. Préfabrication lourde ou légère

Dans les faits, les qualificatifs de préfabrication lourde ou légère, dénotent principalement deux caractères : le poids donné par les matériaux et les dimensions.[72] Pour la préfabrication lourde dont le béton est le symbole, les éléments pèsent environs sept à huit tonnes, tandis que la préfabrication légère s'opère en principe par éléments de petite taille d'un poids inférieur à 300 kg, et ne nécessite pas d'engins spéciaux pour le transport et le montage.[73]

J-P Vouga propose une autre caractérisation suivant la nature des éléments préfabriqués. Il distingue la préfabrication lourde et légère. La préfabrication lourde ou préfabrication du gros œuvre « *touche aux éléments porteurs : ossature et murs. Elle est en général à base de matériaux pierreux (béton, terre cuite, pierre ou combinaison de l'un et de l'autre); elle*

[68] Barets J., 1965, Op Cit, p. 34.
[69] Resendiz-Vazquez A., 2010, Op Cit, p. 28.
[70] Barets J., 1965, Op Cit, p. 34.
[71] Balency-Béarn A., Esquillan N., Lebelle P., 1964, Op Cit, p. 38.
[72] Resendiz-Vazquez A., 2010, Op Cit, p. 44.
[73] Simon E-H-L., 1962, *L'industrialisation de la construction*, Ed Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment, Paris, France. p. 39. Cit in, Resendiz-Vazquez A., 2010, Op Cit, p. 43.

ne porte le plus souvent que sur les métiers de la maçonnerie et, partiellement, de la plâtrerie ».[74] La préfabrication légère concerne les revêtements ou les équipements et *« porte, le plus souvent, sur les façades, vitrées ou non, désignées communément sous le nom de «murs-rideaux». (...) Elle évite généralement les matériaux pierreux pour utiliser les métaux (ferreux et surtout non ferreux), le bois, le verre, les plastiques. Ici, les corps de métiers impliqués sont moins la maçonnerie que la menuiserie, la serrurerie, les installations sanitaires et électriques, les revêtements ».*[75]

En s'appuyant sur les travaux de certains spécialistes de la préfabrication, Aleyda Resendiz-Vazquez[76] essaie de retracer l'évolution chronologique de la dualité formée par la préfabrication lourde et légère. Ainsi, pour la préfabrication lourde Marcel Lods[77] préconise en 1957 de grands panneaux atteignant des longueurs de 5 ou 6 mètres et des poids de cinq tonnes et plus et correspondant à la longueur et à la hauteur d'une pièce d'un logement. Plus tard, en 1965, Blachère[78] expose qu'il n'est pas tellement utile de dépasser 4 ou 5 tonnes, chaque fois qu'il est possible de ne pas le faire et que la tendance à cette époque était de fabriquer des éléments plus légers. En 1980, Paul Bernard[79] propose pour caractériser les éléments légers un poids de moins de 100 kg, pour les semi-lourds, jusqu'à 3 tonnes, et pour les lourds, au-delà de 3 tonnes.

I-6. 3. Préfabrication ouverte ou fermée

La compatibilité entre les éléments constructifs de deux système différents conditionne l'appellation de la préfabrication par ouverte ou fermée. La préfabrication fermée concerne les éléments préfabriqués d'un même procédé constructif qui sont exclusivement compatibles entre eux mêmes. Au contraire, dans la préfabrication ouverte, les éléments préfabriqués sont interchangeables avec des procédés constructifs de diverses provenances.[80]

On entend par préfabrication ouverte celle *« dans laquelle certains éléments standards préfabriqués doivent se combiner avec d'autres éléments construits traditionnellement ou*

[74] Vouga J-P., 1961, Op cit, p. 17.
[75] Ibid, p. 17.
[76] Resendiz-Vazquez A., 2010, Op Cit, p. 44, 45.
[77] Lods M., 1957, Op Cit, p. 75.
[78] Blachère G., 1975, *Technologies de la construction industrialisée*, Ed Eyrolles, Paris, France. p. 95.
[79] Bernard P., 1980, *La construction par composants compatibles*, Ed du Moniteur, Paris, France. p. 40.
[80] Resendiz-Vazquez A., 2010, Op Cit, p. 46.

encore avec d'autres éléments standards d'origines diverses ».[81] Ainsi, grâce à sa vertu de compatibilité, la préfabrication ouverte permettrait de fabriquer en usine des composants constructifs sans que l'on en connaisse la destination (le projet) ni le destinataire (concepteur et réalisateur). Les éléments du bâtiment se transformeraient en de simples pièces détachées qu'on peut commander et acheter auprès de n'importe quelle usine de préfabrication. Prônant l'inverse, Jean Prouve, fait allusion à l'industrie automobile lorsqu'il écrit dans les notes du cours qu'il dispensait au CNAM[82]: «*je crois à l'objet industrialisé complet dont on sait que tous les éléments s'assemblent entre eux : comme une auto complète. C'est forcement composé de pièces détachées. Si l'on dissèque tout ça, il n'est pas possible d'y trouver des pièces d'une autres composition architecturale (on ne remplace pas une aile de D.S par une aile de 504*)» [83] . Cette philosophie est portée par le système de préfabrication dite fermée.

On peut parler de préfabrication fermée lorsque les éléments préfabriqués d'un même procédé constructif ne sont compatibles qu'entre eux-mêmes. A ce moment là, un projet entier est construit à l'usine sur base de grands éléments. Selon Jean-Pierre Vergauwe, ce système est appelé fermé parce que l'entreprise qui fabrique est aussi celle assemble et que les produit de sa chaîne se prêtent à un nombre limité de combinaisons.[84] Les systèmes fermés, parce qu'ils sont conçus et fabriqués par un seul industriel reproduisant toujours les mêmes dispositifs, ont le désavantage de conduire à monotonie architecturale.

I-6. 4. Préfabrication totale ou partielle

La préfabrication totale ou intégrale concerne les constructions constituées d'éléments intégralement produits en usine, selon des études basées sur l'organisation scientifique du travail, puis ensuite, montée par des opérations simples. E.H.L Simon parle d'« *une construction entièrement réalisée en usine, puis transportée d'une seule pièce ou par éléments importants sur le chantier, en vue d'y être montée par des opérations simples et rapides* »[85]. A une certaine époque, ce genre de préfabrication faisait débat, on lui reprochait la standardisation et la répétition d'un même type de maisons. C'est à cet effet

[81] Dictionnaire technique du bâtiment et des travaux publics, (www.btb.termiumplus.gc.ca).
[82] CNAM (Conservatoire National des Arts et Métiers), Paris, France.
[83] Archieri J-F., Levasseur J-P., 1990, *Prouvé : cours du CNAM, 1957-1970 : essai de reconstitution du cours à partir des archives Jean Prouvé*, Ed Mardaga, Sprimont, Belgique. p. 252.
[84] Vergauwe J-P., 1991, *Le droit de l'architecture*, Ed De Boeck - Wesmael, Bruxelles, Belgique. p. 123.
[85] Simon E-H-L., 1950, La préfabrication dans la Construction (emploi actuel et possibilités d'avenir), Ed Le Moniteur des Travaux publics et du Bâtiment, N° hors série, Paris, France. p. 52. Cit In, Resendiz-Vazquez A., 2010, Op Cit, p. 36.

que Le Corbusier déclare au 5ème congrès des CIAM (Paris 1937) que « *l'industrialisation du bâtiment ne doit pas s'orienter vers la répétition standardisée du type maison. C'est la standardisation d'éléments du logis qu'il faut entendre* »[86].

Un bâtiment préfabriqué ne veut pas dire qu'il s'agit toujours d'un ensemble produit totalement en usine. Il y'a la préfabrication partielle qui « *se distingue de la préfabrication totale dans la mesure où ce ne sont pas la totalité des éléments constituant un logement qui sont ainsi réalisés et où une part plus ou moins grande de travaux dits 'traditionnels' reste à exécuter sur chantier »*[87].

I-6. 5. Préfabrication provisoire ou définitive

Construction préfabriquée et construction provisoire, deux notions qui prêtent souvent à confusion. La préfabrication du bâtiment est vue d'un mauvais œil par certains sous prétexte qu'elle est éphémère, vulnérable et inconfortable.

A Tizi-Ouzou, les exemples de bâtiments en béton préfabriqué du lycée Technicum, des cités d'habitation de la nouvelle ville et de l'ex centre biomédical, l'objet de notre d'étude, relèvent des constructions définitives. Leurs panneaux de façades, leurs planchers et leurs structures portantes sont constitués de matériaux très solides et durables comme le béton armé et le métal. Les constructions préfabriquées qui peuvent prêter à confusion sont celles prévues dans l'urgence pour des situations particulières (comme c'était le cas des mobile-homes montés dans certaines localités sinistrées après le tremblement de terre de 2003). Il y'a aussi ces constructions préfabriquées composées d'éléments fragiles et moins durables comme la résidence universitaire « Réhahlia » de Tizi-Ouzou et ses panneaux de façade légers en béton cellulaire.

Figure 1.27 : Démolition de la résidence universitaire « Réhahlia ». **Source** : Auteur

Figure 1.28 : Les panneaux de façade et les planchers en béton armé préfabriqué de la cité des 48 Logements « Réhahlia ». **Source** : Auteur

[86] Pilpoul J., 1946, Nécessité de l'Industrialisation du Bâtiment, Ed Le Moniteur des Travaux publics et du Bâtiment, N° hors série, Novembre 1946. p. 6. Cit In, Resendiz-Vazquez A., 2010, Op Cit, p. 37.
[87] Tridon J.G., 1966, *Regards sur la France (Evolution de la construction -Réalisation et perspectives),* tome II : 1964-1965, Ed SPEI, Paris, France. Cit In, Resendiz-Vazquez A., 2010, Op Cit, p. 39, 40.

I-7. Problèmes récurrents liés à la préfabrication du bâtiment

Comme il a été largement développé auparavant, la forte demande en matière de logements et d'équipements publics a poussé bon nombre de pays à industrialiser et préfabriquer le bâtiment. Un nombre considérable de logements et d'écoles sont alors réalisés en mettant en avant l'aspect quantitatif au détriment de la qualité. Ceci ne reste pas sans conséquences. En effet, la rapidité d'exécution, l'économie ou la standardisation qui étaient des valeurs autrefois brandies pour la promotion des procédés de construction en béton préfabriqué, sont à l'origine du délaissement de quelques qualités qu'il aurait fallut donner aux organes de la construction pour satisfaire certaines exigences non des moindres. Dans cette partie, nous évoquerons quelques exigences qui demeurent insatisfaites par la plupart des constructions industrialisées et préfabriquées et qui sont aujourd'hui objet de critiques. Il s'agit entre autres des aspects architectural et esthétique et du confort des usagers. Nous nous pencherons avec plus d'intérêt sur le cas du confort thermique. Souvent, on reproche à ce type de construction les problèmes d'intégration climatique qui en résultent et qui impliquent une consommation considérable d'énergie pour assurer le confort thermique.[88]

I-7. 1. L'aspect architectural et esthétique

En parlant des conséquences de l'industrialisation et de la préfabrication sur le bâtiment, Jean Olivier Simonetti estime que « *L'industrialisation et la normalisation qu'elle a suscitée ont eu sur les bâtiments deux catégories d'incidences. La normalisation et les recherches sur la rationalisation de la construction ont modifié l'ordonnancement intérieur des bâtiments quelle que soit leur vocation, tandis que la préfabrication a bouleversé l'architecture* »[89]. L'aspect esthétique est assez peu recherché lors des processus de conception et de réalisation, il revêt un caractère secondaire. Avec la préfabrication, les architectes ne créent plus, ils ont perdu le pouvoir et sont devenus employés des entreprises détentrices des moyens de production et du savoir technique. Ils sont devenus de simples dessinateurs de façades. Pierre Chemillier soulignait qu'« *en dépit de l'action persévérante de quelques pionniers*, la profession d'architecte n'a jamais pris de position très nette sur l'industrialisation du bâtiment. Elle s'est bon gré mal gré pliée aux évolutions et la*

[88] Chelghoum Z., Belhamri A., 2001, « Habitat à Bas Profil Energétique » in Revue des Energies Renouvelables : Journées de Thermique, pp 59-64.
[89] Simonetti J-O., 1977, « Réflexions sur l'industrialisation de la construction et la production du bâti » in Norois, N° 96, Octobre-Décembre 1977, pp. 561-572.
* Le Corbusier, Auguste Perret, Marcel Lods, Jean Prouvé, Pol Abraham…

priorité donnée bien souvent par les maîtres d'ouvrages à la recherche immédiate du moindre coût ne lui a guère donné l'occasion de faire valoir des vues prospectives »[90].

En France comme en Algérie, au moment même ou la fabrication était perçue comme la solution, des signes de confusions pouvaient être distingués. Selon Aleyda Resendiz-Vazquez, « *L'histoire du développement de l'industrialisation du bâtiment, en France est concomitante à l'histoire de son échec* »[91]. C'était un sujet refusé de tous, d'abord, les médias puis, l'université. Selon eux, « *la préfabrication rend le citadin médiocre parce qu'elle est sérielle et identique, parce qu'elle normalise et nivelle la production, parce qu'elle signifie travail à la chaîne, ouvriers spécialisés, hommes machines. Elle a tous les attributs d'incitation à la révolte urbaine* »[92].

En Europe, dès la moitié du XXe siècle, l'apparence des bâtiments préfabriqués commence à susciter des interrogations. On peut lire à ce propos dans la thèse de doctorat de Solopova Natalya : « *Les chantiers expérimentaux du début des années 1950 posent un problème aux architectes : Comment respecter le style classique en appliquant les procédés de la préfabrication ?... Les architectes hésitent à laisser les joints apparents, ils décorent la surface des grands panneaux de façade par un faux calepinage et par des facettes. Ces opérations d'embellissement s'effectuent manuellement, elles ralentissent et augmente le coût du chantier* »[93]. Les joints formés par l'assemblage des panneaux de façades suscitent donc la controverse. Le désir de certains architectes et spécialistes du bâtiment de les laisser apparaitre serait une question de style totalement assumé, tandis que pour d'autres, il serait mieux adapté de les dissimuler derrière des éléments architectoniques sensés faire guise d'ornement et prévenir un défaut d'étanchéité éventuel. A ce propos et selon Solopova Natalya, *La question* : *Comment traiter les panneaux : laisser les joints ouverts ou les cacher derrière des pilastres ? Inaugure un débat d'ordre stylistique aussi bien que technique. D'un côté, on maîtrise mal la conception des joints, endroit le plus délicat dans le bâtiment préfabriqué ; la solution optimale est de les protéger par des pilastres. D'autre part, dépouiller les panneaux de tout le décor et laisser les joints ouverts est une position stylistique* »[94].

[90] Chemillier P., 1977, Op Cit, p.365.
[91] Resendiz-Vazquez A., 2010, Op Cit, p. 6.
[92] Ibid, p. 106.
[93] Solopova N., 2001, Op Cit, p. 105.
[94] Ibid, p. 106.

De plus, le vieillissement prématuré des bâtiments en béton préfabriqué associé à un défaut d'entretien entraine une détérioration intolérable du site. En effet, durant notre recherche, nous avons rencontré des cas de constructions en béton préfabriqué présentant des signes avancés d'insalubrité au point ou certaines d'entre elles ont fini par être désaffectée et démolies partiellement ou totalement*, et ce après seulement 30 années d'utilisation alors que la durée de vie de ce type de bâtiment correspond au temps normal d'occupation par une génération, soit 40 à 50 années.

La préfabrication est aussi confrontée à un problème d'une autre nature, à savoir sa mauvaise réputation auprès des usagers. En effet, la relation entre l'industrialisation du bâtiment et les usagers n'est pas claire, elle est entachée d'un grand nombre de préjugés et d'inexactitudes.[95] La confusion entre « industrialisé » et « bâtiment provisoire », d'une part, et le mauvais usage qui a été fait de la préfabrication, d'autre part, sont deux phénomènes qui expliquent cette opinion des usagers selon laquelle ce type de construction serait de moindre qualité. Il faut dire que l'on a souvent utilisé la construction industrialisée sous forme de baraquements faisant guise de bureaux, de classes ou de logements. L'immédiat après-guerre a vu se développer dans certains pays européens les cités d'urgence qui restent dans la mémoire collective et évoquent de mauvais souvenirs.[96]

I-7. 2. Confort thermique et étanchéité à l'air et à l'eau

Selon les travaux récents réalisés en Algérie par Chelghoum Zohra et Belhamri Azeddine,[97] l'habitat collectif contemporain préfabriqué, fer de l'ance des programmes d'industrialisation de l'acte de bâtir, n'a non seulement pas atteint les objectifs quantitatifs qui lui été assignés, il a aussi montré ses insuffisances sur le plan qualitatif. Le contrôle naturel des conditions de confort ainsi que le comportement thermique des constructions, entre autres, sont délaissés.

Nous avons souligné l'importance que revêt le problème de l'esthétique posé par les joints dans les constructions utilisant la technique des grands panneaux de façade. Ces joints posent aussi un autre problème d'autant plus sérieux, l'étanchéité. Il est l'un des problèmes les plus récurrents de ce type de construction. En effet, les sinistres d'étanchéité

* Comme c'est le cas de la résidence universitaire d'Oued-Aissi à Tizi Ouzou, démolie à la fin de l'année 2012.

[95] Chemillier P., 1977, Op Cit, p. 373.

[96] Ibid, p. 374.

[97] Chelghoum Z., Belhamri A., 2001, Op Cit, p. 59.

à l'eau et à l'air sont très répandus. Lumbroso estime que « *ce sont très souvent des transmissions de sollicitations, ou des déformations induites, qui créent dans les façades des fissures par où l'eau pénètre, en particulier lorsque la façade est exposée au Sud ou à l'Ouest* »[98].

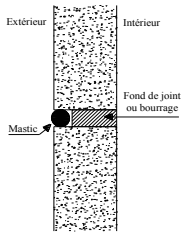
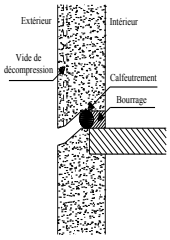
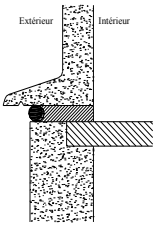
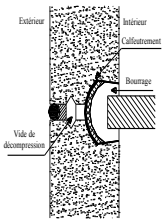
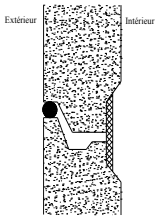
Désignation	**Joints horizontaux**			**Joints verticaux**	
Types	**Joint à un étage**	**Joint à deux étages**		**Joint à deux étages**	**Joint à recouvrement**
Illustrations					
Avantages / Inconvénients	Déconseillé car dépourvu d'un dispositif d'étanchéité efficace	Recommandés pour leurs systèmes d'étanchéité efficaces dus à la forme même de ces joints		Recommandés pour leurs formes permettant l'évacuation aisée des eaux pluviales	

Tableau 1.3 : Types de joints et leurs et dispositifs contre les infiltrations des eaux pluviales.
Source : Chemillier P., Op Cit, p. 253, 254. / Auteur

Pour le calfeutrement des joints constitués par la superposition et la juxtaposition des panneaux des façades, on utilise conventionnellement des matériaux élastiques à base de caoutchouc ou de mastic qui se collent sur les angles des panneaux. Lorsqu'ils sont correctement mis en place ils peuvent rester étanches aussi longtemps qu'ils conservent leur élasticité et leur adhérence au panneau. Mais l'expérience a montré que sous l'exposition à long terme aux intempéries, ce calfeutrement est détérioré après seulement quelques années. A cause de ce problème, les habitants sont obligés d'improviser et de poser dans ces joints des produits plus ou moins étanches comme du mortier de ciment, du goudron, ou une

Figure 1.29 : Calfeutrement en mortier de ciment improvisé par les habitants d'un immeuble de la cité des 510 logements OPGI à Tizi-Ouzou. **Source** : Auteur.

[98] Lumbroso A., 1991, *Les constructions industrielles*, Ed Dunod, Paris, France. p. 185.

bande de paxalumin.[99]

Une grande partie des constructions comportant des façades préfabriquées ont une structure porteuse formée de murs en béton armé coulé sur place.* A l'opposé des panneaux de façades qui sont soit munis d'une couche d'isolation intégrée (panneau sandwich) ou bien isolés de l'intérieur, les murs porteurs et les planchers en béton armé coulés in situ, sont caractérisés par des transmissions thermiques importantes en raison de leur coefficient « *K* »[100] très élevé et leur épaisseur généralement réduite. Donc, doter les panneaux de façades préfabriqués d'une isolation optimale ne permettrait pas de garantir le confort thermique sans que cette isolation ne soit généralisée au reste des compartiments du bâtiment.

Souvent une même usine produit les mêmes éléments préfabriqués pour des régions différentes par leurs situation, leurs traditions constructives et surtout par leurs climats. Les moules en usines ne permettent pas en effet d'adapter les panneaux à diverses conditions climatiques. Il en résulte des constructions qui prennent en charge l'aspect du confort thermique d'une manière approximative. Pour pallier à cette imperfection, certains constructeurs complètent sur chantier leurs panneaux préfabriqués par des contre-cloisons avec interposition d'isolant. Selon Chemillier Pierre, ce système est peu satisfaisant car, d'une part, il ne résout pas les problèmes de ponts thermiques au niveau des refends et des planchers et il rend difficile d'autre part l'incorporation de menuiseries et de canalisations dans le panneau.[101]

Conclusion

Au terme de ce premier chapitre qui porte un regard sur l'industrialisation et la préfabrication du bâti, nous avons pu amasser un nombre important d'informations utiles et préalables à toute investigation détaillée sur les différents éléments de ce type de constructions.

Nous avons identifié les facteurs les plus importants qui favorisent l'émergence de l'industrialisation dans un domaine dominé jusque la par des techniques basiques dites

[99] Chelghoum Z., 2000, « Pour un Habitat à Bas Profil Energétique - Cas de Constantine », mémoire de magister, université de Constantine, Algérie. p. 176.

* Comme la majeure partie des constructions préfabriquées localisées à Tizi-Ouzou, exceptés le centre biomédical, le lycée Technicum, la cité des 72 Logements ENIEM et la cité des 48 logements Réhahlia.

[100] Coefficient de transmission surfacique en (W/m². °C) qui est la déperdition à travers 1 m² de surface de paroi pendant une heure, pour une différence de température de 1 °.

[101] Chemillier P., 1977, Op Cit, p. 245.

traditionnelles. Nous avons ainsi retracé la genèse et l'évolution de l'industrialisation et la préfabrication de l'acte de bâtir en France et en Algérie. Cette dernière qui devait à un moment de son histoire récente construire vite et à moindre cout d'importantes quantités de logements et d'établissements publics, a du faire appel aux procédés de préfabrication français, en raison de la proximité multidimensionnelle des deux pays, mais aussi pour l'art de bien bâtir reconnu à ce pays dans le Monde entier.

Le dernier aspect présenté dans ce chapitre est celui des problèmes récurrents liés à la préfabrication du bâti. Nous les avons regroupés en deux points distincts : d'abord l'aspect architectural et esthétique puis le confort thermique et l'étanchéité à l'air et à l'eau. C'est ainsi que le prochain chapitre, prévu pour préparer le terrain à la partie pratique, sera consacré à la présentation des notions et des connaissances fondamentales de l'autre composante de notre objet d'étude, à savoir la question du confort thermique.

CHAPITRE

2

ETAT DES CONNAISSANCES DE LA NOTION DU CONFORT THERMIQUE

Introduction

La notion de confort thermique est différemment et malaisément définie car subjective. Chaque individu, groupe d'individus ou région a sa propre appréciation du confort thermique, un Russe, par exemple, aura du mal à s'adapter aux températures de confort d'un pays tropical et vis versa. C'est ainsi que Victor Candas[102] estime que le premier problème posé par le confort thermique est bien sa propre définition. Il va plus loin dans sa réflexion lorsqu'il s'interroge si le confort correspond à l'état d'esprit dans lequel l'individu éprouve de la satisfaction à l'égard de son environnement thermique ou celui dans lequel il n'éprouve pas d'insatisfaction. Donc, à défaut de cerner le concept du confort thermique, celui de l'inconfort est mis en évidence car il est possible de définir clairement une ambiance inconfortable pour un individu donné lorsque son corps doit faire appel à ses mécanismes régulateurs internes, ce qui se traduit par une sensation désagréable (Sensation de froid accompagnée de frissonnements par exemple).

Cependant, tous les essais de définition s'accordent à décrire le confort thermique comme étant l'état où l'on n'a pas trop froid, ni trop chaud et où l'on ne ressent pas de courants d'air désagréables. Victor Candas classifie le confort au centre d'une échelle de cinq catégories, à savoir : l'inconfort, le confort dégradé, le confort, le confort optimal et le confort maximal.[103] Dans les espaces bâtis, il est plus aisé de garantir l'absence d'inconfort que le confort optimal. De plus, l'objectif des conceptions architecturales bioclimatiques n'est en aucun cas l'anéantissement du recours aux appoints énergétiques par des installations techniques mais simplement sa réduction.

Le traitement et la maitrise de la problématique du confort thermique dans les lieux de vie et de travail nécessite indéniablement un minimum de prérequis. Par conséquent, dans ce présent chapitre, les notions importantes qui caractérisent le confort thermique seront abordées en premier lieu, puis, nous nous intéresserons au comportement thermique de l'enveloppe des bâtiments avant d'analyser le confort thermique tel qu'il est perçu et ressenti par les occupants. L'aspect réglementaire du confort thermique en Algérie sera aussi présenté avec intérêt et nous terminerons par la question du confort thermique dans l'approche de l'architecture bioclimatique.

---

[102] Candas V., 1998, « Confort thermique », Technique de l'ingénieur, traité du génie énergétique BE 9 085, France. p. 1.
[103] Ibid. p.3.

II-1. Notions de grandeurs physiques de l'environnement thermique

II-1. 1. La température

De par la place qu'elle occupe dans l'intensité des échanges thermiques, il est important de bien cerner la notion de température. En effet, plusieurs types de températures caractérisent les échanges thermiques notamment ceux par convection et par rayonnement.

II-1. 1. 1. La température de l'air ambiant

C'est le premier paramètre à contrôler. Toutefois, seul, il ne peut renseigner sur le confort thermique qui prévaut dans l'espace considéré.[104] Elle est mesurée à l'ombre loin du rayonnement solaire et celui des parois à l'aide d'un thermomètre à bulbe sec placé à une hauteur d'environ 1,50 m. L'enveloppe de l'habitat doit être capable de maintenir la température dans une fourchette dite de confort malgré les écarts de la température extérieure, été comme hiver, de jour comme de nuit. Ensuite, il faut assurer une certaine homogénéité dans l'espace car il est peu confortable d'avoir la tête au chaud et les pieds au froid, de passer d'une pièce froide à une pièce chaude en sachant que l'air chaud monte et l'air froid descend.[105]

II-1. 1. 2. La température rayonnante des parois

C'est la température des parois avec lesquelles le corps échange de la chaleur par rayonnement. Elle est mesurée à l'aide d'un thermomètre à sonde de contacte ou infrarouge. Lors du calcul de la température rayonnante moyenne, il est essentiel de pondérer la température de chaque surface par l'angle solide sous lequel la personne voit la surface.

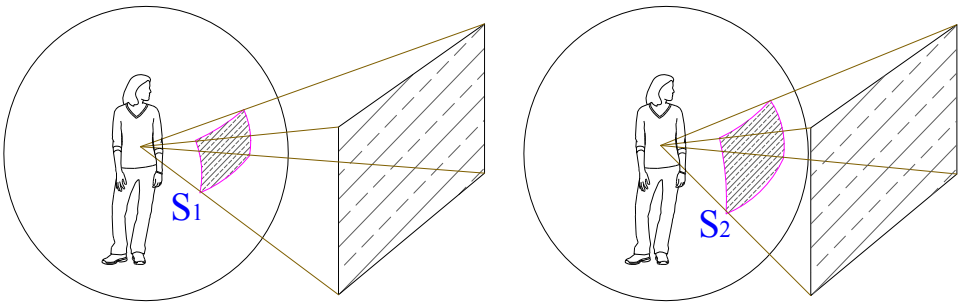


Figure 2.1 : La température de surface est pondérée par l'angle solide par lequel la personne voit la surface.
Source : Michel Le Guay, « Confort thermique dans les lieux de vie ». P.13. / Auteur

[104] Khalissa H., « confort thermique », notes de cours de sciences pour l'architecture, Master 1, département d'architecture de l'université de Biskra, Algérie.
[105] Moréteau S., 2008, « Les clés du confort thermique » in revue bimensuelle : La maison écologique, N° 42, Janvier 2008, France.

Par exemple, les températures de surface sont de 10 °C pour la fenêtre et de 20 °C pour toutes les autres parois. Pour calculer la température moyenne résultante, on peut imaginer que l'observateur est le centre d'une sphère. Tous les rayons de la sphère passant par le contour de la fenêtre dessinent sur la sphère la surface S_1. Si dans le cas présent la surface S_1 représente 5% de la surface de la sphère, on a simplement : TRM = 10 × 0,05 + 20 × 0,95 = 0,5 + 19 = **19,5 C°**. Lorsque la personne s'approche de la fenêtre, elle la voit sous un angle solide plus grand. La surface sur la sphère devient S_2, supérieure à S_1. Si S_2 représente 10% de la surface de la sphère, on a maintenant : TRM = 10 × 0,10 + 20 × 0,90 = 1 + 18 = **19 C°**.[106] (Figure 2.1).

II-1. 1. 3. La température d'ambiance

Mesurée, lorsque les mouvements de l'air sont relativement faibles, à l'intérieur d'une sphère de couleur sombre placée au milieu de la pièce (la sphère à une forme qui lui permet de sentir tout l'espace, la couleur sombre est choisie pour mieux absorber le rayonnement). Les échanges thermiques par convection et par rayonnement sont alors conjointement pris en compte.

II-1. 1. 4. La température opérative ou résultante

Il s'agit de la moyenne des températures ambiante et rayonnante moyennes qui entrent dans l'étude des échanges thermiques par convection et par rayonnement. Elle est simple à calculer puisque généralement simplifiée. Elle est donnée par la formule suivante :

$$T\ résultante \approx \frac{T\ ambiante + T\ radiante\ moyenne}{2}$$

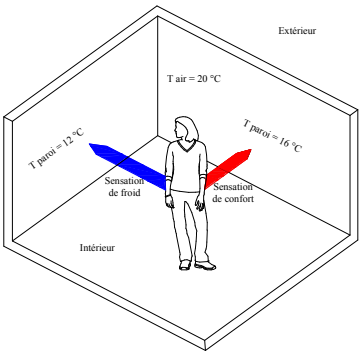


Figure 2.2 : La température opérative dépend de celle de l'air et des parois. **Source :** Liébard A., De Herde A., 2005, Op Cit, p. 28b. / Auteur

La température ambiante et la température radiante moyenne se complètent de façon à ce que la somme des deux quantités de chaleur échangée reste constante.

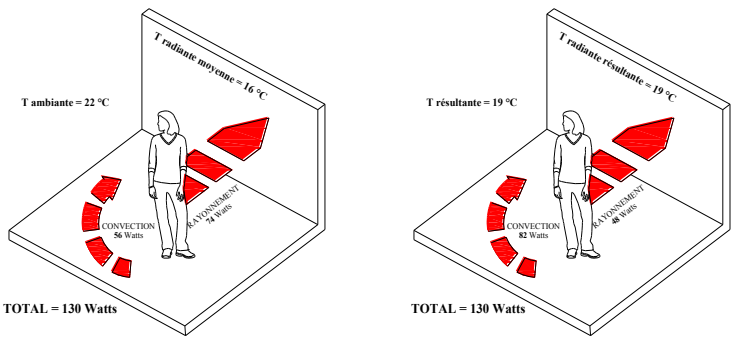


Figure 2.3 : Complémentarité des températures ambiante et radiante moyenne. **Source :** Le Guay M., Op Cit, p.9. / Auteur

[106] Le Guay M., « Confort thermique dans les lieux de vie », Fondation E.F.B. p.13.

II-1. 2. Les mouvements de l'air

La vitesse de l'air influence les échanges de chaleur par convection et augmente l'évaporation à la surface de la peau. Au-delà de 0.2 m/s, valeur qualifiée par Liébard et De Herde de « *seuil de perception des courants d'air* »[107], il se produit un courant d'air qui affecte directement le confort thermique d'un individu moyen.

Lorsque les températures sont confortables, on peut se passer du mouvement d'air minimum pour assurer le confort thermique. Cela-dit, si la vitesse d'air est accrue dans un espace donné (entre 0.2 et 0.8 m/s), la température opératoire peut être augmentée de 3 degrés au-dessus de la zone de confort.[108] Ce qui veut dire que la température ressentie peut être diminuée en augmentant légèrement la vitesse de l'air.

II-1. 3. L'humidité relative

L'humidité relative est un paramètre influent dans le confort thermique, des taux élevés ou bas couplés à des températures extrêmes procurent des sensations de désagrément. Selon A. Liébard et A. De Herde[109], L'humidité relative HR est le rapport exprimé en pourcentage entre la quantité d'eau contenue dans l'air sous forme de vapeur à la température ambiante et la quantité maximale qu'il peut contenir à cette même température. Entre 30% et 70%, l'humidité relative pèse peu sur la sensation de confort thermique. Plus l'air est chaud, plus il peut contenir d'humidité. A saturation et à une température de 20°C, l'air contient 14g d'eau sous forme de vapeur, à 30°C, il en contient 27g. Comme il est illustré dans la figure ci-dessus, pour une activité de bureau, la plage de confort est considérée à des températures allant de 19.7 à 24.7°C et des humidités allant de 30 à 70%.

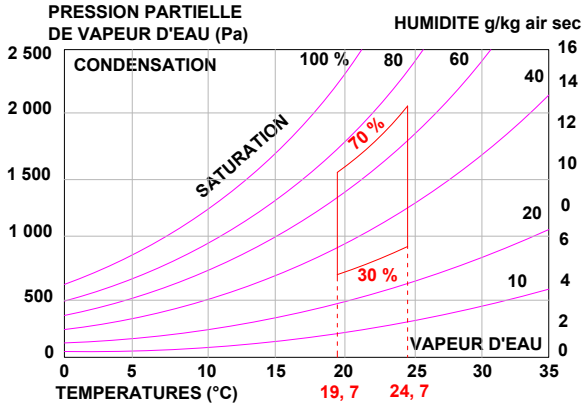


Figure 2.4 : La plage de confort thermique pour une activité de bureau. **Source** : Liébard A., De Herde A., 2005, Op Cit, p. 29b. / Auteur

[107] Liébard A., De Herde A., 2005, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*, Ed Observ'ER, Paris. p. 30a
[108] Charbonneau J-Y., 2004, « Confort thermique à l'intérieur d'un établissement », Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail du Québec, Canada. p. 10.
[109] Liébard A., De Herde A., 2005, Op Cit, p. 16a.

II-2. Le comportement thermique de l'enveloppe des bâtiments

La diversité et la complexité de la notion du confort thermique font que celle-ci soit appréhendée sous différents points de vue. De nombreux chercheurs[110] traitent la question du confort thermique en se penchant intentionnellement sur l'interaction thermique qui se produit entre le corps humain et son environnement, faisant ainsi ressortir les aspects physique, physiologique et psychologique qui la caractérisent. Parallèlement, d'autres chercheurs mettent, quant à eux, l'accent sur le comportement et les caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments.

II-2. 1. Isolation thermique

Une maison climatisée perd ou acquiert sans arrêt de sa chaleur à travers l'ensemble de ses parois. Isoler, consistera donc à réduire les déperditions, ou les apports indésirables en utilisant des matériaux de construction permettant la diminution du transfert de chaleur entre deux ambiances thermiques.[111] Pour limiter les déperditions de chaleur ou minimiser les apports indésirables, il est recommandé de recourir aux isolants thermiques qui sont caractérisés par un faible coefficient de conductivité thermique (λ). Dans la pratique, ce coefficient ne suffit pas à indiquer la qualité isolante d'un matériau ou d'une paroi, on tient compte aussi de l'épaisseur du matériau ou des différentes épaisseurs, on parlera alors de résistance thermique ($R = \frac{e}{\lambda}$).[112]

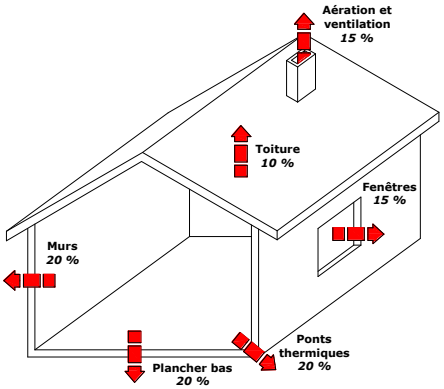


Figure 2.5 : Répartition moyenne des déperditions dans une maison individuelle neuve. **Source :** Liébard A., De Herde A., 2005, Op Cit, p. 39b /auteur.

II-2. 1. 1. La conductivité thermique (λ)

Le coefficient de conductivité thermique (λ) qui s'exprime en W/m. °C correspond au flux de chaleur (en watts) traversant un matériau d'un (1) mètre d'épaisseur pour une différence de température d'un (1) degré entre les deux faces. Le coefficient λ d'un matériau caractérise sa capacité à transmettre la chaleur par conduction, plus elle est faible, plus le matériau sera isolant.

---

[110] Fanger, Nicol et Gagge entre autres

[111] Chabi M., 2009 « étude bioclimatique du logement social-participatif de la vallée du M'zab : cas du Ksar de Tafilalt » mémoire de magister, université de Tizi-Ouzou, Algérie. p. 164.

[112] Ibid, p. 166.

II-2. 1. 2. La résistance thermique

La résistance thermique (R) exprime la capacité d'un matériau à empêcher le passage de la chaleur à travers son épaisseur. Une paroi est d'autant plus isolante que sa résistance thermique est élevée[113]. La résistance thermique d'un matériau dépend de son épaisseur et aussi de sa conductivité thermique. Elle s'exprime selon la formule :

$$\boldsymbol{R = \frac{e}{\lambda}} \quad (\text{en } m^2.K/W)$$

Avec **R** : Résistance thermique (m².K/W)
e : épaisseur de l'isolant (m)
λ : Conductivité thermique (W/m. °C)

II-2. 1. 3. Le coefficient de transmission surfacique (K)

Le coefficient de transmission thermique d'une paroi est la quantité de chaleur traversant cette paroi en régime permanent, par unité de temps, par unité de surface et par unité de différence de température entre les ambiances situées de part et d'autre de la paroi.[114] Il est l'inverse de la résistance thermique totale (R_t) de la paroi. Il est exprimé par la formule suivante :

$$\mathbf{K = \frac{1}{R}} \quad \text{d'où} \quad \mathbf{K = \frac{\lambda}{e}} \quad (\text{en } W/m^2.\,°C)$$

Avec **K** : Coef de trans surfacique (W/m². °C)
R : Résistance thermique (m².K/W)
e : épaisseur de l'isolant (m)
λ : Conductivité thermique (W/m. °C)

II-2. 2. Inertie thermique

L'inertie thermique d'un bâtiment ou d'une pièce de ce bâtiment est sa capacité à amortir les variations de température intérieure. Un bâtiment à forte inertie thermique aura une température intérieure naturellement stable, malgré de fortes variations des gains de chaleur qui pourraient résulter de gains solaires par les vitrages ou d'une occupation importante. Cette inertie dépend de plusieurs caractéristiques :

- Les possibilités d'échange thermique des matériaux avec l'ambiance intérieure ;
- Leur capacité de stockage de la chaleur ;
- L'isolation thermique du bâtiment.[115]

---

[113] Hessas N., 2012, « Etude du patrimoine architectural de la période Ottomane : entre valeurs et confort » mémoire de magister, université de Tizi-Ouzou, Algérie. p. 42.
[114] Cellule de recherche « Architecture et climat » de l'université catholique de Louvain, Belgique, (http://www.energieplus-lesite.be/).
[115] Roulet C-A., 2004, « Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments », Presses polytechniques et universitaire romandes, Lausanne, Suisse. p.162.

L'inertie thermique est donc recommandée élevée lorsqu'on désire stabiliser le climat intérieur en utilisant la climatisation et les gains solaires passifs. Dans ce cas, l'isolation thermique doit être appliquée à l'extérieur de la masse de stockage, elle-même constituée de matériaux lourds, apparents, et répartis autant que possible sur toutes les parois. Si dans le cas contraire on désire que la pièce se chauffe ou se refroidisse rapidement, il faut une inertie thermique faible. Pour cela, prévoir des parois en matériaux légers, avec une isolation thermique appliquée de l'intérieur.[116]

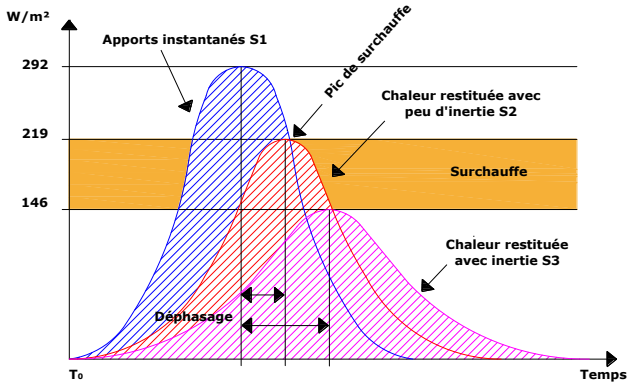


Figure 2.6 : Réaction d'un local à forte inertie et d'un local à faible inertie à des apports solaires.
Source : Liébard A., De Herde A., 2005, Op Cit, p. 91b

II-2. 2. 1. Inertie thermique d'un bâtiment, principe de superposition

D'une manière générale, la température à l'intérieur d'un bâtiment s'écrit selon le principe de superposition[117] :

$$T_{int} = T_{ext\ moy} + \Delta T + A_i \cos(\varpi t) \quad \text{(en °C)}$$

Avec :
- T_{int} : Température intérieure à un instant t (°C) ;
- $T_{ext\ moy}$: Température extérieure moyenne sur 24 heures (°C) ;
- ΔT : Gain thermique (°C) ;
- A_i : Amplitude intérieure (°C) ;
- $A_i \cos(\varpi t)$: Fonction sinusoïdale de l'amplitude intérieure, où v est la pulsation égale à 2P/P, P étant la période considérée (24 heures).

Le gain thermique ΔT est donné par la formule suivante :

$$\Delta T = \frac{P_{entrante}}{P_{perdue\ par\ °C\ d'écart}} \quad \text{(en m²/s)}$$

Avec :
- ΔT : Gain thermique (°C) ;
- $P_{entrante}$: Puissance entrante ;
- $P_{perdue\ par\ °C\ d'écart}$: Puissance perdue par degré de différence de températures.

La puissance entrante est due aux occupants et à la puissance solaire transmise par les vitrages et les parois opaques. La puissance perdue est la somme de la conductance moyenne de l'enveloppe et de la puissance échangée par ventilation.

---

[116] Ibid, p.167.
[117] Izard J-L., «L'inertie thermique dans le bâtiment, principe de superposition», notes de cours, école d'Architecture de Marseille-Luminy, France.

II-2. 2. 2. La diffusivité thermique

Elle caractérise la vitesse à laquelle se diffuse, par conduction, un flux de chaleur dans un matériau. Par conséquent, plus la diffusivité thermique d'un matériau est faible, plus la chaleur met de temps à le traverser. Elle dépend de la capacité du matériau à conduire la chaleur (sa conductivité thermique) et de sa capacité à stocker la chaleur (capacité thermique). Elle s'exprime selon l'équation suivante :

$$\mathbf{D} = \frac{\lambda}{\rho . C} \quad \text{(en m²/s)}$$

Avec : **λ** : conductivité thermique en W/m.°C
ρ : masse volumique en kg/m3
C : chaleur spécifique en kJ/kg. °C

II-2. 2. 3. L'effusivité thermique

L'effusivité thermique renseigne sur la capacité d'un matériau à absorber ou restituer plus ou moins rapidement un apport de chaleur. Plus cette effusivité est élevée, plus le matériau absorbe rapidement beaucoup d'énergie sans se réchauffer notablement en surface (métal, pierre, faïence...). A l'inverse, plus l'effusivité est faible plus le matériau se réchauffe rapidement en surface en absorbant peu de chaleur (isolant, bois...). Concrètement, la valeur **Ef** exprime combien de kilojoules ont pénétré sur un (1) m² de surface de matériau, une (1) seconde après qu'elle ait été mise en contact avec une autre surface d'un (1) m² plus chaude qu'elle d'un (1) °C. Elle est exprimée par la formule :

$$\mathbf{Ef} = \sqrt{\lambda . \rho . C} \quad \text{(en W. s}^{1/2}\text{ /m². °C)}$$

Avec : **λ** : conductivité thermique en W/m.°C
ρ : masse volumique en kg/m3
C : chaleur spécifique en kJ/kg. °C

II-3. Le confort thermique et le corps humain

Par le biais de son activité métabolique, le corps humain produit constamment de la chaleur, une partie de celle-ci est cédée par le corps à son environnement dans le but de maintenir sa température aux alentours des 37°C nécessaires à l'équilibre thermique du corps humain. Pour que soit cette interaction thermique entre le corps humain et son environnement, un ensemble de faits physiques entrent en jeu. Ils sont résumés dans les points suivants et la figure ci-contre.

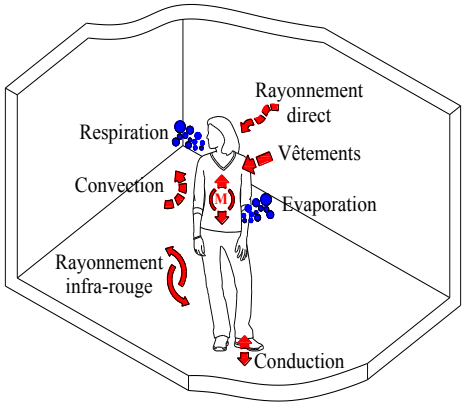


Figure 2.7 : Interaction thermique entre le corps humain et son environnement. **Source :** Auteur

II-3. 1. Echanges thermiques entre le corps humain et son environnement

Le corps échange constamment de la chaleur avec son environnement immédiat, ces échanges se font selon trois mécanismes distincts, la conduction, la convection et le rayonnement.

II-3. 1. 1. La conduction

Ce sont les échanges thermiques qui s'opèrent lorsque le corps est en contacte direct avec un solide. Il s'agit des échanges les moins importants. Ils dépendent de :

- La différence de température entre les deux corps ;
- La conductivité thermique du solide en contacte ;
- L'épaisseur du solide ;
- La surface de contacte entre la peau et le solide.

II-3. 1. 2. La convection

Il s'agit des échanges de chaleur entre le corps et le liquide qui l'entoure fluide ou gaz soit-il. Ils dépendent de :

- La vitesse du liquide, (0.2 m/s quand il s'agit d'air en convection naturelle) ;
- La température de l'air ;
- La température de la peau.

II-3. 1. 3. Le rayonnement

Le corps échange de la chaleur avec des solides en contacte direct par conduction mais aussi sans contacte direct par rayonnement. En effet, le corps froid reçoit de la chaleur du corps chaud par réception de rayons infrarouges.

A ces trois modes d'échange s'ajoute l'évaporation. Considérée comme la meilleure manière pour éliminer la chaleur produite par le corps humain.

II-3. 2. Le métabolisme

Le degré d'activité du corps humain est mesurée en "met" (métabolisme). Comme illustré dans la figure ci-contre et dans le tableau

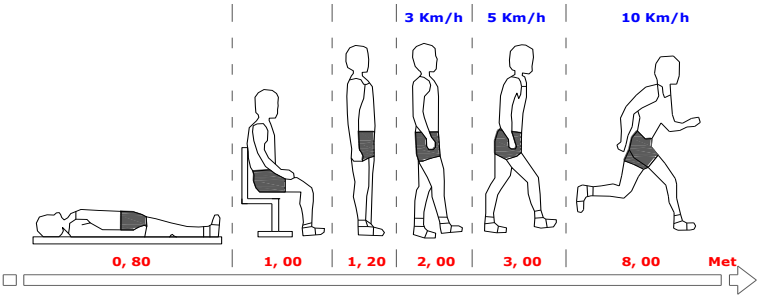


Figure 2.8 : Valeurs de métabolisme en (Met) selon l'activité de l'individu.
Source : Guide technique de la diffusion d'air, 2006, P.11. / Auteur

ci-dessous, une unité équivaut au métabolisme d'une personne inactive soit environs 58 W/m² de surface corporelle.[118] Les valeurs de métabolisme supérieures à un (1) met sont dites « de travail » et correspondent à une activité particulière qui s'ajoute au métabolisme de base du corps au repos. [119]

Activité	W/m²	Met
Repos, couché	46	0, 8
Assis, inactif	58	1, 0
Debout, décontracté	70	1, 2
Assis en activité, (bureau, domicile, école, laboratoire)	70	1, 2
Debout en activité légère (achat, laboratoire, industrie légère)	93	1, 6
Debout en activité moyenne (vendeur, travail ménager)	116	2, 0
Debout en activité importante (travail lourd sur machine, travail de garage)	174	3, 0

Tableau 2.1 : Valeurs de métabolisme en (W/m²) et en (Met) pour diverses activités.
Source : Guide technique de la diffusion d'air. 2006. Op Cit, p.11.

II-3. 3. L'habillement

La vêture représente une résistance thermique aux échanges de chaleur entre la surface de la peau et l'environnement. Elle maintient le corps humain à une température acceptable en l'épargnant des rudesses du climat extérieur (Froid, chaleur, rayonnement solaire…etc.). Le transfert de chaleur par conduction entre la peau et l'ambiance extérieure est complexe et implique des mouvements de convection interne et des phénomènes de radiation entre les couches de vêtements. Toutefois, l'unité conventionnelle de résistance thermique pour la vêture est le « Clo » avec 1 clo = 0.155 m² K/W).[120]

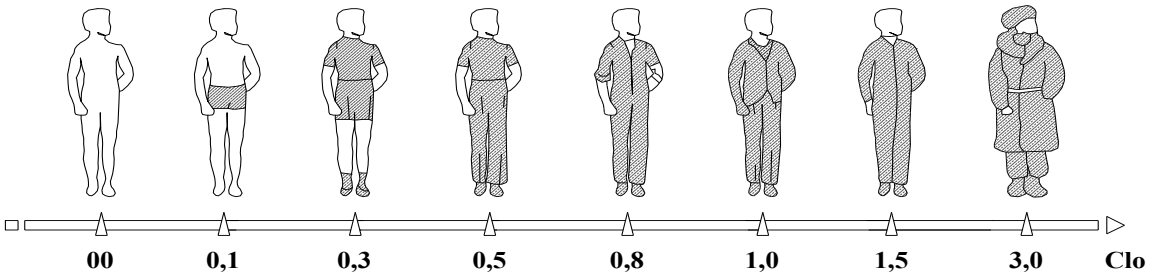


Figure 2.9 : Valeurs de la résistance thermique de la vêture en « clo ».
Source : Guide technique de la diffusion d'air. 2006. Op Cit, p.11. / Auteur

[118] Mémento « guide technique de la diffusion d'air » Ed. France air. Réédité en 2006. p.11.
[119] Liébard A., De Herde A., 2005, Op Cit, p. 27a.
[120] Teller J., Notes de cours de confort thermique, université de Liège, Belgique.

II-3. 4. Le bilan thermique

L'énergie produite par le métabolisme est dissipée en travail par une activité physique et en chaleur dans l'environnement immédiat par l'intermédiaire et des phénomènes d'échanges de chaleur. Une partie de la chaleur produite est emmagasinée à l'intérieur du corps.[121] La stabilité de la température corporelle est obtenue lorsque la production de chaleur métabolique de base et du travail physique ainsi que les pertes vers l'environnement extérieur sont équilibrées. Le bilan thermique du corps humain est résumé dans l'équation suivante[122] :

$$\mathbf{M - W = (C + R + E_{sk}) + (E_{res} + C_{res}) + S_{sk} + S_c} \quad \text{(en w/m²)}$$

Avec :

M : Production de chaleur métabolique

W : Travail fourni à l'extérieur

C : Echange de chaleur par convection

R : Echange de chaleur par rayonnement

$\mathbf{E}_{sk}$: Echange de chaleur par évaporation

$\mathbf{E}_{res}$: Echange de chaleur par évaporation respiratoire

$\mathbf{C}_{res}$: Echange de chaleur par convection respiratoire

$\mathbf{S}_{sk}$: Chaleur stockée dans la peau

$\mathbf{S}_c$: Chaleur stockée à l'intérieur du corps

II-4. Les deux grandes approches du confort thermique

Le confort thermique a fait l'objet de nombreuses investigations dans différents contextes comme les bâtiments, les moyens de transport (voitures, avions) ou les lieux de travail. En ce qui concerne les bâtiments, le domaine de recherche sur le confort thermique est partagé entre deux approches. Ce sont les approches analytique et adaptative. La première est considérée comme linéaire car elle stipule que les conditions climatiques déclenchent chez l'individu uniquement des réponses physiologiques qui modifient sa sensation de confort, tandis que la seconde se base sur l'incapacité de l'approche analytique à représenter la réalité du confort thermique dans les bâtiments, et intègre les considérations psychologiques et considère que l'individu est actif face aux conditions qu'il estime inconfortables.[123]

---

[121] Grignon-Masse L., 2010, « Développement d'une méthodologie d'analyse coût-bénéfice en vue d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liés au confort d'été : cas des climatiseurs individuels fixes en France métropolitaine » Thèse de doctorat soutenue le 20 Mai 2010 à l'école nationale supérieure des mines de Paris, France. p. 44.

[122] Equation du bilan thermique de l'homme selon l'A.S.H.R.A.E 1993. Cit In, Grignon-Masse L., 2010, Ibid, p.44.

[123] Grignon-Masse L., 2010, Op Cit, p. 51.

II-4. 1. L'approche analytique

Basée sur le calcul du bilan thermique du corps humain, cette approche a pour principal objectif de prédire la sensation thermique des occupants afin d'identifier les conditions de confort thermique. Dès lors, des modèles physiologiques et physiques ont été développés pour déterminer les grandeurs physiologiques de l'individu telles que la température cutanée, la température interne et la mouillure cutanée, mais aussi pour calculer les échanges de chaleur entre l'occupant et son environnement par conduction, convection, rayonnement et évaporation. Ces modèles se basent sur les principales grandeurs physiques de l'ambiance thermique comme la température d'air, la température de rayonnement, l'humidité d'air et la vitesse d'air, ainsi que les caractéristiques propres à l'individu comme sa taille et son poids, sa production de chaleur métabolique, son habillement...etc. Comme résultat, de nombreux indices sont proposés sous forme d'échelles de sensation thermique pour exprimer le niveau de confort pour les conditions étudiées.[124]

On retrouve dans les bâtiments de nombreux modèles du confort thermique, les plus couramment utilisés sont celui de Gagge (le SET [température effective standard]), et celui de Fanger (le PMV [vote moyen prévisible]). Ce dernier a servi de base pour la norme internationale I.S.O 7730 qui porte sur les conditions de confort dans les ambiances thermiques modérées, et celui de Gagge pour la norme américaine ASHRAE Standard 55 qui lui aussi précise les conditions de confort thermique dans les bâtiments.[125]

II-4. 1. 1. Les indices PMV et PPD de Fanger

Fanger a élaboré deux outils simplifiés pour l'estimation du confort thermique, le PMV qui est un « indice de vote moyen prévisible » complété par le PPD qui signifie « pourcentage prévu d'insatisfaits ».[126] Selon Fanger, trois conditions sont nécessaires pour qu'une personne soit en situation de confort thermique :

- Un bilan thermique équilibré ;
- Une évaporation sudorale située dans les limites du confort ;
- Une température moyenne de la peau située dans les limites de confort.

[124] Cantin R., Moujalled B., Guarracino G., 2005, « Complexité du confort thermique dans les bâtiments » in actes du 6ème congrès Européen de Science des Systèmes à Paris du 19-22 septembre 2005. pp. 1-10.
[125] Ibid, p. 3.
[126] Ibid, p. 3.

II-4. 1. 1. 1. L'indice PMV

Le PMV (Predicted Mean Vote – Vote moyen prévisible) mis au point par Fanger donne la moyenne des votes émis par un groupe important de personnes qui exprimeraient un vote de sensation de confort thermique en se référant à une échelle subjective comportant sept (7) points allant de « chaud » à « froid » :

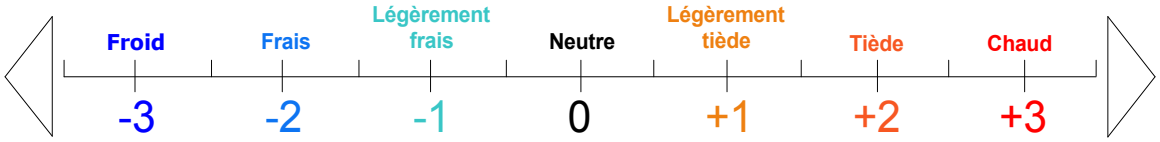


Figure 2.10 : Echelle de sensation thermique de l'ASHRAE. **Source :** R. Cantin, et al. Op cit. P.3 / Auteur.

La zone de confort se situe entre la sensation de légère fraicheur « -1 » et celle de légère chaleur « +1 », la valeur zéro du PMV exprime la sensation de confort optimale.

Pour le calcul du PMV, ce sont, en réalité, six paramètres qui rentrent en jeu, deux variables humaines : le métabolisme, l'habillement ou l'isolement vestimentaire, et quatre variables d'ambiance intérieure : la température ambiante de l'air, la température de rayonnement des parois, l'humidité relative de l'air et la vitesse de l'air.[127] Comme le PMV a été déterminé dans des conditions stationnaires (chambres climatiques), son application reste limitée aux ambiances stationnaires et homogènes où les conditions ne varient pas, ou peu, dans le temps.[128]

II-4. 1. 1. 2. L'indice PPD

Le PPD (Predicted Percentage Dissatisfied - Pourcentage Prévu des Insatisfaits) est un deuxième indice introduit par Fanger pour accompagner le PMV. L'auteur suppose tout d'abord que les personnes votant -3, -2, +2 ou +3 sur l'échelle de l'ASHRAE, sont

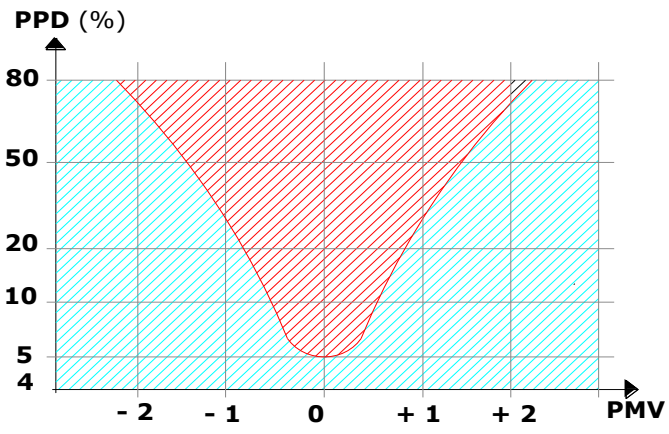


Figure 2.11 : Relation entre les indices PPD et le PMV.
Source : Candas V., 1998, Op Cit, p. 13. / Auteur

[127] Grignon-Masse L., 2010, Op Cit, p. 45.
[128] Moujalled B., 2007, « Modélisation dynamique du confort thermique », thèse de doctorat, présentée à l'institut des sciences appliquées de Lyon le 19 janvier 2007, France. p. 43.

insatisfaites des conditions de l'ambiance thermique. Il définit alors l'équation ci-dessous pour relier le pourcentage d'insatisfaits au vote moyen. Concrètement, cette équation permet, en fonction du PMV, de prévoir le pourcentage d'insatisfait à une ambiance thermique donnée.[129]

$$PPD = 100 - 95.\exp\left[-(0{,}03353.\ PMV^4 + 0{,}2179.\ PMV^2)\right]$$

II-4. 2. L'approche adaptative

Cette approche met en exergue les limites des indices rationnels dont l'approche analytique fait usage sous des conditions figées et homogènes, à prédire le confort thermique réel interprétation de l'interaction de l'homme et son environnement. Humphreys et Nicol[130] considèrent que « *si un changement arrive dans un environnement en provoquant un inconfort, les personnes répondront par des réactions qui tendent à rétablir le confort* »[131]. Ces réactions constituent la base de l'approche adaptative du confort thermique, elles sont classées par De Dear et Brager[132] en trois catégories à savoir : Comportementales, physiologiques et psychologiques.

L'occupant, afin de maintenir son état de confort, met en jeu consciemment ou inconsciemment des actions autres que celles dont il est question dans l'approche analytique. Il n'est donc plus un élément passif qui subit les conditions de l'ambiance thermique.[133] Des réponses rétroactives représentant l'interaction dynamique entre l'homme et son environnement, vont venir se greffer à la chaine figée de l'approche analytique comme il est explicité dans la figure ci-contre.

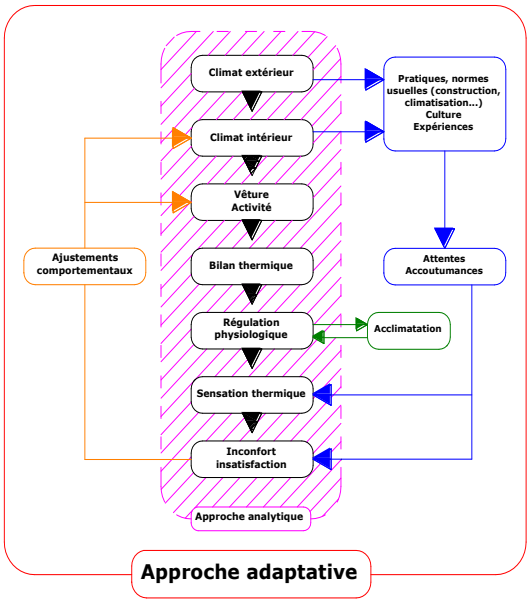


Figure 2.12 : Représentation des mécanismes d'adaptation. **Source :** Laurent Grignon-Masse. Thèse de doctorat. Op.cit. P.51. / Auteur

[129] Grignon-Masse L., 2010, Op Cit, p. 46.
[130] Nicol J.F., Humphreys M.A., 1998, « Understanding the adaptive approach to thermal comfort » in ASHRAE transactions SF-98-7-1. Cit In, Grignon-Masse L., 2010, Op Cit, p. 51.
[131] Texte original : « If a change occurs such as to produce discomfort, people react in ways which tend to restore their comfort ».
[132] De Dear R., Brager G-S., 1998, « Developing an adaptive model of thermal comfort and preference » in ASHRAE Transactions 104 (1). Cit In, Grignon-Masse L., 2010, Op Cit, p. 51.
[133] Moujalled B., 2007, Op Cit, p. 50.

II-4. 2. 1. L'adaptation par ajustement comportemental

Les ajustements comportementaux sont déterminants pour l'occupant dans son agrément des conditions thermiques dans lesquelles il évolue et donc sa sensation globale de confort thermique. Nicol[134] a classé les différentes possibilités d'ajustements comportementaux qui s'offrent à l'occupant en quatre catégories. Elles sont les suivantes :

- Adapter l'activité métabolique interne (Consciemment, en sautant sur soi-même lorsqu'il fait froid, par exemple, ou inconsciemment en frissonnant) ;
- Modifier les pertes de chaleur du corps vers l'extérieur (Consciemment, en ajoutant ou en enlevant une pièce de vêtement, par exemple, ou inconsciemment en suant) ;
- Adapter les conditions de l'environnement thermique (Ouvrir ou fermer une fenêtre, enclencher un ventilateur…etc.) ;
- Changer l'environnement thermique (Se déplacer vers une autre pièce, s'éloigner du rayonnement direct du soleil…etc.).

En usant de cette panoplie de leviers d'actions dont il jouie, l'occupant agit soit en adaptant la température de confort ou bien en adaptant les conditions existantes. La quantité et la qualité des ajustements comportementaux envisageables dépendent de la situation dans laquelle se trouve l'occupant (géographique, culturelle, matérielle ou financière …etc.).[135]

II-4. 2. 2. L'adaptation par l'acclimatation physiologique

L'acclimatation physiologique signifie la diminution des réactions du corps humain vis-à-vis des variations des conditions thermiques de son environnement. A titre d'exemple, De Dear et Brager expliquent que l'exposition prolongée à la chaleur entraine une augmentation de l'activité sudorale et la diminution de la température à partir de laquelle la sudation se déclenche. Par ailleurs, l'acclimatation physiologique est un phénomène qui ne modifie que très sensiblement la situation des occupants lors d'une période de froid prolongée. Il est alors plus aisé pour le corps de s'acclimater à la chaleur qu'au froid.[136]

---

[134] Nicol J.F., 2008, Notes de cours. University of North London, (http://www.learn.londonmet.ac.uk/student/resources/doc/comfort.html). Cit. In, Grignon-Masse L., 2010, Op Cit, p. 52.
[135] Grignon-Masse L., 2010, Op Cit, p. 52.
[136] De Dear R., Brager G-S., 1998, Op Cit. Cit In, Grignon-Masse L., 2010, Op Cit, p. 52.

Eté comme hiver, d'autres phénomènes tels que la réduction du rythme cardiaque ou l'augmentation du volume et du débit sanguin se manifestent inconsciemment dans le corps humain et permettent ainsi de ressentir comme confortables des conditions qu'il aurait jugées inconfortables auparavant.[137]

II-4. 2. 3. L'adaptation par accoutumance psychologique

Cette forme d'adaptation réunit les aspects culturels et cognitifs, véhiculés par l'accoutumance et l'expectative de l'occupant vis-à-vis de son environnement thermique. Cela constitue toute la différence qui existe entre les deux approches suscitées. L'adaptation par accoutumance psychologique de l'individu repose sur ses acquis thermiques qui lui permettent d'évaluer son environnement et d'agir en conséquence. Les réponses et les réactions de l'individu dépendent de ses attentes et sa personnalité.[138] Lorsque l'occupant a/ou pense avoir un certain contrôle sur son environnement thermique, il perçoit quelques sources de gêne telle une surchauffe comme moins inconfortables. On peut se retrouver dans le cas contraire si l'occupant n'a aucun contrôle sur son environnement, comme dans les espaces dotés d'un système de climatisation, il présentera une sensibilité particulière aux moindres écarts par rapport à sa zone de confort.[139]

II-5. Aspect réglementaire du confort thermique en Algérie

En Algérie, dès 1997, la conception et l'exécution des bâtiments ont été règlementées à travers une série de Documents Techniques (D.T.R. C 3-2, D.T.R. C 3-4, DTR E 2.4, DTR E 4.2, etc.) élaborés par le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment. Ce sont des documents qui définissent les méthodes permettant de vérifier si les solutions techniques adoptées correspondent bien aux exigences énoncées dans les textes réglementaires et législatifs (lois, décrets, arrêtés, circulaires, instructions, etc.), et précisent les principes généraux au cours de l'élaboration des projets de bâtiments. Dans la structure des documents réglementaires adoptée, il est prévu que ces documents sortent sous forme de normes ou de règles de conception et de calcul. Dans le cas des exigences dont la satisfaction peut être démontrée par un calcul, ces normes précisent les valeurs des paramètres de calcul de base (surcharges, températures extérieures, etc.…) et indiquent les

[137] Grignon-Masse L., 2010, Op Cit, p. 52.
[138] Moujalled B., 2007, Op Cit, p. 52.
[139] I.B.G.E. (Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement), 2007, « Redéfinir la notion de confort thermique », in guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, N° css13, Bruxelles, Belgique. p. 4.

principes et les règles de conception, le cas échéant, elles peuvent être complétées par certains exemples de solutions assurant la satisfaction des exigences en question.[140]

II-5. 1. Le D.T.R. C 3-2, Règles de calcul des déperditions calorifiques

Conçu pour réduire de 25 % la consommation de l'énergie pour le chauffage des logements, ce document approuvé par arrêté ministériel, fixe les déperditions de référence à ne pas dépasser ainsi que les conventions de calcul pour le dimensionnement des installations de chauffage. Composé de sept chapitres, il cerne d'emblée la question des déperditions calorifiques par un rappel des principes généraux et les bases de calcul, puis, développe, dans le détail, les règles et méthode de calcul des déperditions qui se produisent à travers les différents compartiments de l'enveloppe du bâtiment.

Les objectifs recherchés par les concepteurs du D.T.R. C 3-2 sont :

- La détermination des déperditions calorifiques des bâtiments ;
- La vérification de la conformité des bâtiments à la réglementation thermique ;
- Le dimensionnement des installations de chauffage des bâtiments ;
- La conception thermique des bâtiments.

Les déperditions calorifiques d'un bâtiment, telles que présentées dans le D.T.R. C3-2, peuvent être résumées à travers le schéma suivant :

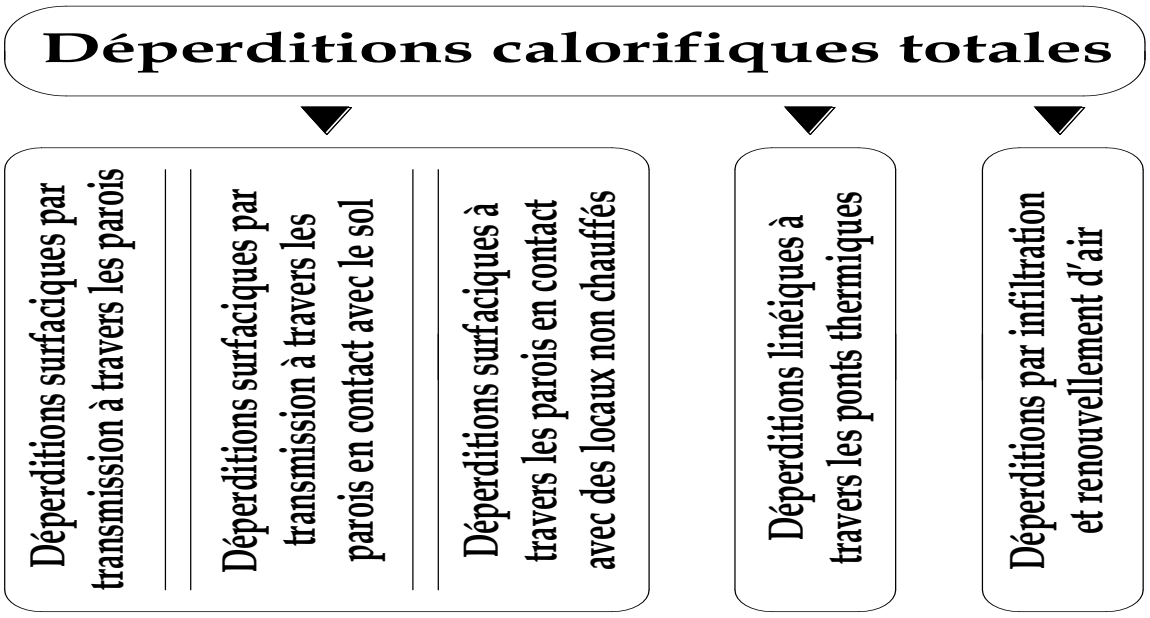


Figure 2.13 : Déperditions calorifiques totales selon le D.T.R C-3-2. **Source :** D.T.R C-3-2 / Auteur

[140] C.N.E.R.I.B. (Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées en Bâtiment), (http://www.cnerib.edu.dz/Réglementation.htm).

II-5. 2. Le D.T.R. C 3-4, Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments

Le DTR C 3.4 édité par le CNERIB a pour objet de fixer les méthodes de détermination des apports calorifiques des bâtiments ainsi que la méthode de vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été des bâtiments. Il s'applique à la plupart des locaux, entre autres ceux à usage d'habitation, d'hébergement, de bureaux, d'enseignement, d'accueil, de réunion, de vente, de restauration, artisanal, etc.[141]

En six chapitres, la question des apports calorifiques est abordée, dans un premier temps, par un rappel des formules générales et des conditions de base pour que, par la suite, soient développés dans le détail les règles et méthode de calcul des apports calorifiques dus à l'environnement extérieur traversant les différents compartiments de l'enveloppe du bâtiment et ceux dus à l'environnement intérieur.

Les apports calorifiques d'un bâtiment, tels que présentés dans le D.T.R. C 3-4, peuvent être résumées par le schéma ci-dessous.

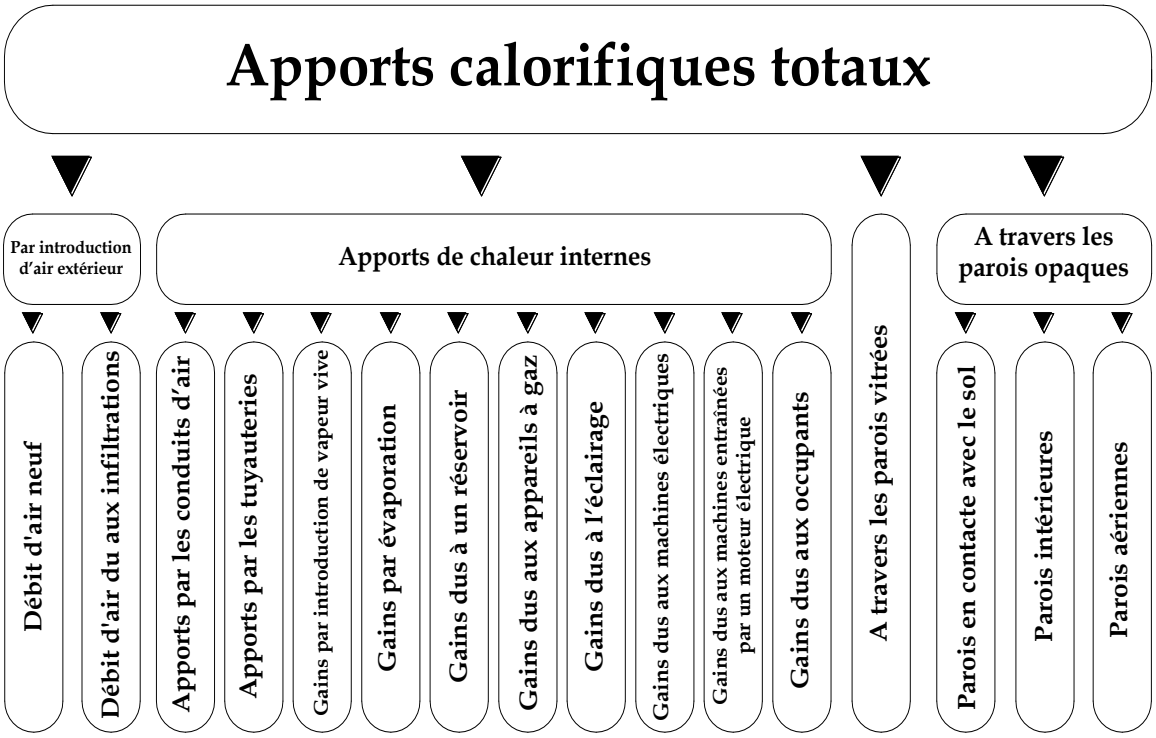


Figure 2.14 : Apports calorifiques totaux selon le D.T.R C-3-4. **Source :** D.T.R C- 3-4 / Auteur

[141] C.N.E.R.I.B. (Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées en Bâtiment), 1998 « D.T.R. C 3-4, Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments », Alger.

II-6. Le confort thermique dans l'approche de l'architecture bioclimatique

Le but de toute réalisation architecturale est de concrétiser un microcosme en rapport plus ou moins étroit avec l'environnement auquel il appartient. Le climat prend logiquement une place importante parmi les dimensions fondamentales de toute intervention de l'architecte sur l'environnement. L'architecture qui met l'occupant au centre et qui inclut l'environnement, le climat et la dynamique qu'ils impliquent est dite bioclimatique. Cette architecture n'existe que dans l'objectif d'essayer de répondre à des exigences du confort de l'habitant et se préoccupe des paramètres qui conditionnent son bien-être.[142]

L'architecture bioclimatique se base sur un ensemble de choix en rapport avec la forme du bâtiment, son orientation en fonction des particularités du site (climat, ensoleillement, vents dominants, topographie…etc.), son implantation, la disposition des espaces et les matériaux utilisés. En été comme en hiver, L'architecture bioclimatique a développé des stratégies passives, profitant des aspects favorables de l'environnement, pour créer une ambiance intérieure confortable. Nous en citons ci-après les stratégies les plus pertinentes.

II-6. 1. Stratégies bioclimatiques pour améliorer le confort thermique

II-6. 1. 1. Le confort d'hiver (Stratégie du chaud)

Au confort d'hiver répond la stratégie du chaud qui consiste à capter la chaleur du rayonnement solaire, la stocker dans la masse, la conserver par l'isolation et la distribuer dans le bâtiment (Figure 2.15).[143]

- **Capter** la chaleur consiste à recueillir l'énergie solaire et la transformer en chaleur. La quantité de chaleur due au rayonnement solaire direct reçue par un bâtiment dépend à la fois du climat, de l'orientation du bâtiment, de la nature des matériaux, de la topographie des lieux…etc. ;
- La **stocker** puis la libérer au moment où le besoin de réchauffer se fait sentir grâce à l'inertie thermique du bâtiment. En effet, le rayonnement solaire produit souvent de la chaleur au moment où elle n'est pas nécessaire ;

[142] Liébard A., De Herde A., 2005, Op Cit, p. 60a.
[143] Ibid, p. 31a.

- La **conserver,** en limitant les déperditions thermiques par une isolation efficace en climat froid ou frais, qu'elle découle de l'ensoleillement, d'apports internes ou de système de chauffage;
- La **distribuer** et la répartir dans le bâtiment ; ce qui consiste à la conduire dans les différents lieux de vie où elle est souhaitable.

Dans cette stratégie, les rôles de l'orientation, des surfaces vitrées, de l'inertie et de l'isolation sont prépondérants.

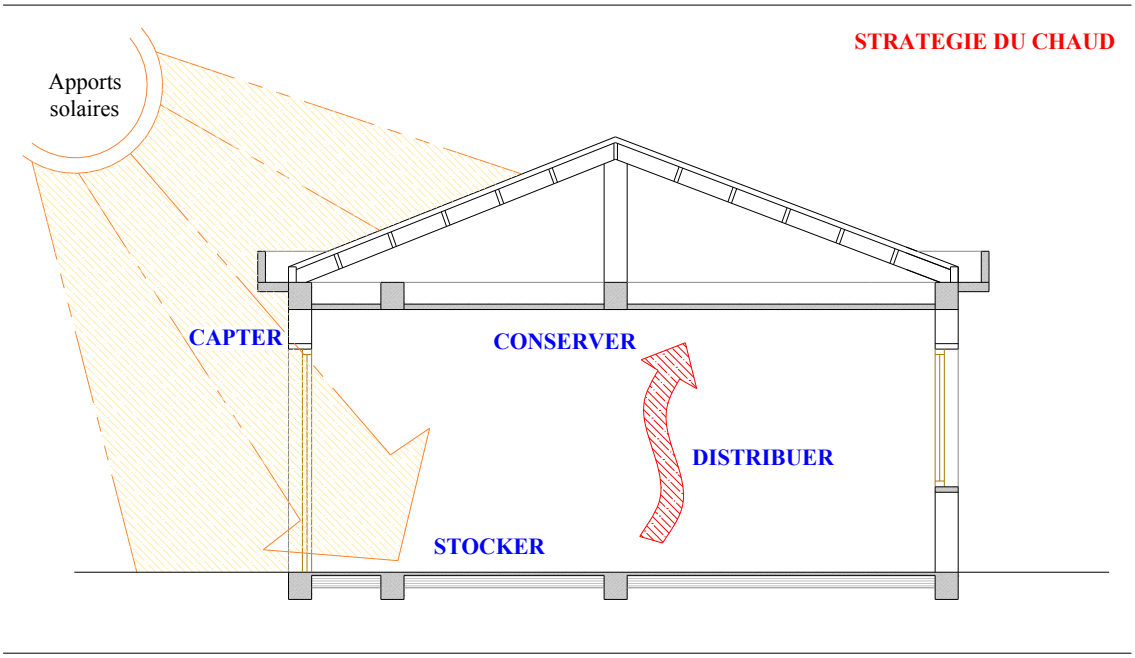


Figure 2.15 : Les principes du confort d'hiver. **Source :** A. Liébard et al. Op. cit. P. 31b. / Auteur

II-6. 1. 2. Le confort d'été (Stratégie du froid)

Au confort d'été répond la stratégie du froid qui consiste à se protéger du rayonnement solaire et des apports de chaleur, minimiser les apports internes, dissiper la chaleur en excès et refroidir naturellement (Figure 2.16).[144]

- **Protéger** en prévoyant des écrans contre le rayonnement solaire, particulièrement au niveau des ouvertures. Ces écrans peuvent être permanents, amovibles ou saisonniers (végétation) ;

[144] Ibid, p. 32a.

- **Minimiser** l'apport de chaleur en limitant les apports internes afin d'éviter les surchauffes dues aux occupants et à l'équipement. Certains apports peuvent facilement être minimisés en favorisant, par exemple, l'éclairage naturel ;
- **Dissiper** les surchauffes par la ventilation naturelle notamment en exploitant les gradients de température par le biais d'exutoires produisant un effet de cheminée ;
- **Refroidir** les locaux par des moyens naturels comme la ventilation nocturne ou en augmentant la vitesse de l'air ou encore en prévoyant des plans d'eau, des fontaines, de la végétation…etc.

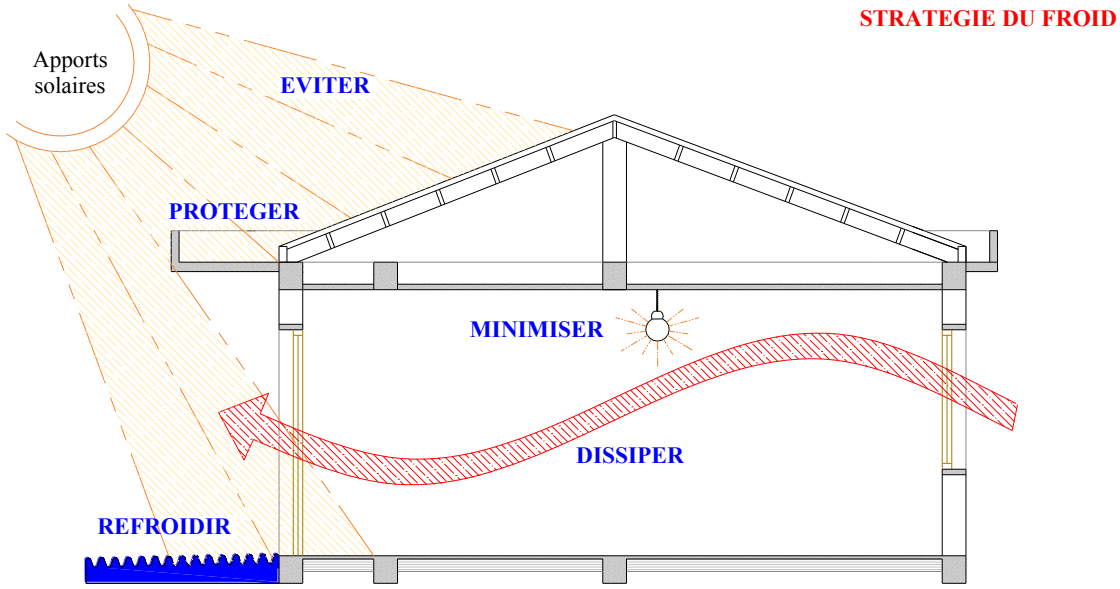


Figure 2.16 : Les principes du confort d'été. **Source :** A. Liébard et al. op. cit. P. 32b. / Auteur

II-6. 2. Techniques bioclimatiques spécifiques

Samuel Courgey et Jean-Pierre Oliva dans leur livre intitulé *La conception bioclimatique des maisons confortables et économes en neuf et en réhabilitation*[145], font la description de quatre systèmes techniques qu'ils présentent comme des solutions simples et économes permettant d'améliorer encore la performance thermique des bâtiments. Ces solutions sont apportées dans l'optique de l'optimisation de la chaleur solaire et la régulation des températures grâce à une inertie thermique maniée avec ingéniosité.

[145] Oliva J-P., Courgey S., 2006, *La conception bioclimatique des maisons confortables et économes en neuf et en réhabilitation*, Ed Terre Vivante, France.

II-6. 2. 1. Les murs capteurs accumulateurs

Le mur capteur accumulateur est un système placé sur la façade sud pour obtenir une valorisation maximale de l'énergie solaire captée. Il est composé d'une paroi massive au devant de la quelle est placé un vitrage distant de 4 à 10 cm. Ce dernier laisse traverser le rayonnement solaire, pour être capté et stocké par le mur lourd sous forme de chaleur se déplaçant par conduction à l'intérieur de celui-ci, pour en suite être émise progressivement par rayonnement vers l'intérieur de la construction, avec un déphasage de restitution d'énergie.[146]

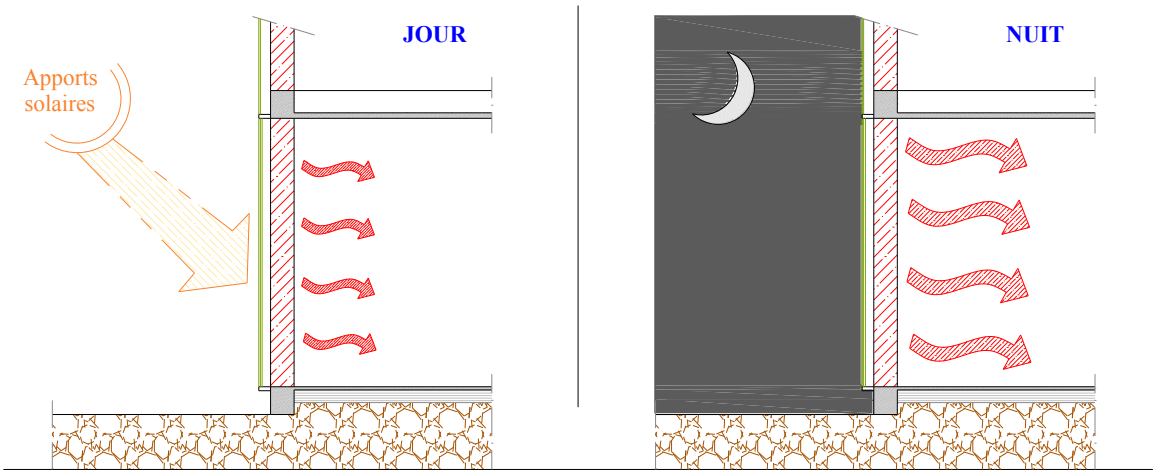


Figure 2.17 : Principe de fonctionnement du mur capteur accumulateur. **Source :** Oliva J-P., Courgey S., 2006,. op. cit. p. 129./Auteur

La performance d'un mur capteur est subordonnée à l'influence de :

- **Son orientation** : L'orientation sud est la plus favorable. Une déviation de 20° à 30° par rapport à celle-ci est possible sans que l'efficacité de ce mur ne soit compromise ;
- **Sa surface** : Il faudrait approximativement 0.30 % à 0.60 % de la surface habitable ;
- **Son épaisseur et le matériau qui le constitue** : Il est recommandé d'utiliser des matériaux à forte capacité thermique et à faible diffusivité tels que la brique de terre, le béton ou la pierre avec des épaisseurs allant de 20 à 45 cm, afin de générer un déphasage conséquent qui puisse retarder la restitution des calories vers l'intérieur.
- **Sa couleur et sa rugosité** : La propriété de captage des rayons solaires par la surface externe d'un mur dépend du coefficient d'absorption donc de sa couleur et sa rugosité.

[146] Ibid, p. 129.

- **La nature et la qualité de son vitrage** : Le bilan thermique d'un mur capteur dépend principalement de la qualité thermique du vitrage, ainsi on optera dans un climat à températures de nuit basses, pour des doubles vitrages, des triples vitrages ou des isolants transparents.

II-6. 2. 2. Les serres bioclimatiques

La serre bioclimatique ou serre solaire est un volume vitré capteur. Séparée du logement proprement dit par une paroi, elle peut au choix communiquer avec lui par des fenêtres, portes-fenêtres ou des vitrages coulissants. C'est un espace tampon occultable, chauffant et non chauffable qui a le même principe de fonctionnement qu'un mur capteur « double peau », avec une différence dans l'épaisseur de la lame d'air dont la largeur constitue un espace habitable dans ce cas. Elle utilise les trois principes de transfert de chaleur : conduction, rayonnement, convection.

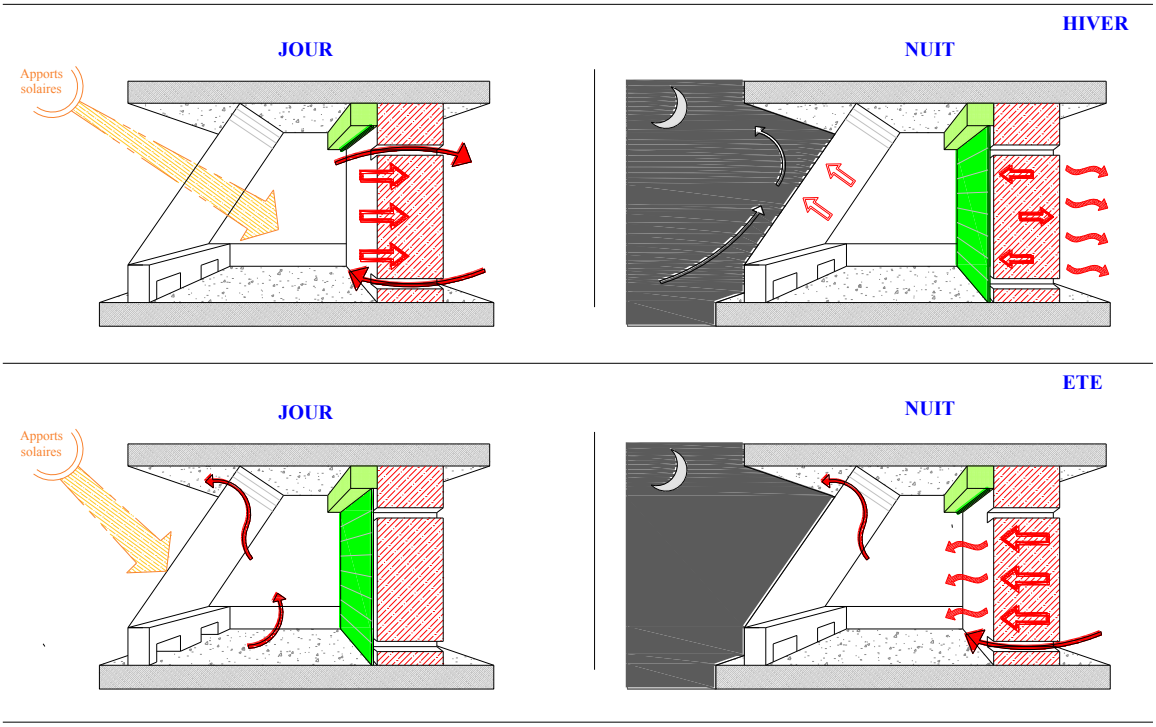


Figure 2.18 : Principe de fonctionnement d'une serre bioclimatique. **Source : Source :** Oliva J-P., Courgey S., 2006,. op. cit. p. 144./Auteur

II-6. 2. 3. Les capteurs à air

Le capteur à air est particulièrement pertinent pour réchauffer directement des pièces non contigües aux façades ensoleillées, ou des bâtiments sans façade sud, pour alimenter

un volume d'inertie en contact direct avec les volumes à chauffer ou pour équiper une véritable installation de chauffage par air pulsé. La performance d'un capteur à air dépend :

- De son orientation et de son inclinaison ;
- De l'isolation du caisson (type de vitrage et isolant) ;
- Du pouvoir d'absorption de la surface réceptionnant le rayonnement solaire ;
- De l'adéquation entre la vitesse de l'air dans le capteur avec la température d'utilisation souhaitée.

Parfois, l'entrée d'air est puisée à l'intérieur même du local à chauffer. C'est la disposition la mieux adaptée. Il est crée alors un circuit qui n'utilise pas l'air extérieur, plus frais en hiver que l'air intérieur et donc plus difficile à réchauffer.

Figure 2.19 : Principe de fonctionnement d'un capteur à air.
Source : Oliva J-P., Courgey S., 2006,. Op. Cit. p. 167 / Auteur

II-6. 2. 4. Les puits Canadiens

A la différence des murs capteurs, des serres solaires et des capteurs à air qui sont des systèmes permettant de valoriser le rayonnement solaire, les puits canadiens utilisent l'énergie géosolaire, c'est-à-dire l'énergie solaire emmagasinée dans les couches superficielles de la croûte terrestre. Un puits canadien est un échangeur thermique composé de canalisations enterrées dans lesquelles l'air transite avant de pénétrer dans la maison. Au cours de ce passage sous terre, l'air se réchauffe ou se rafraichit, selon la saison.

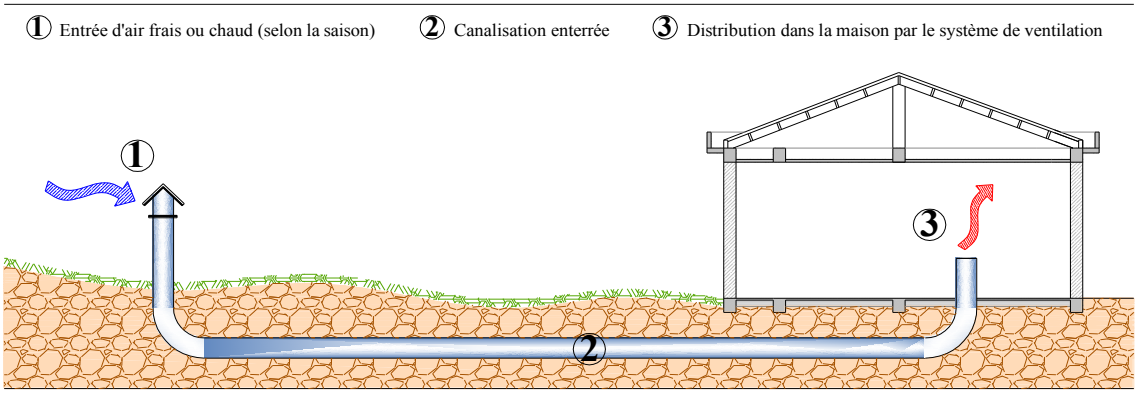


Figure 2.20 : Principe de fonctionnement d'un puits Canadien. **Source :** Oliva J-P., Courgey S., 2006,. Op. Cit. p. 171. / Auteur

Conclusion

La notion de confort thermique peut être perçue sous différents angles, celui de l'interaction dynamique entre le corps humain et son environnement thermique ou encore celui du comportement de l'enveloppe d'un bâtiment vis-à-vis d'un environnement climatique déterminé. L'environnement thermique est caractérisé par un ensemble de grandeurs physiques (La température de l'air, la température de rayonnement, l'humidité et la vitesse de l'air). L'enveloppe du bâtiment et les matériaux qui la constituent se caractérisent par des paramètres propres tels que l'isolation, l'inertie, la diffusivité et l'effusivité thermiques…etc. L'individu, quant à lui, interagit avec son environnement thermique via des phénomènes physiques, physiologiques et psychologiques. Lorsque l'homme évolue dans un espace bâti baignant dans un environnement climatique donné, il se produit des phénomènes à la fois impressionnants et complexes. Pour les étudier, des chercheurs ont élaboré deux grandes approches, analytique et adaptative. La première se base sur le calcul du bilan thermique du corps humain qu'elle considère comme une machine thermique reproduisant les mêmes réactions face à des conditions climatiques distinctes. La seconde approche examine le confort thermique à travers les réactions comportementales de l'occupant dont sa capacité à s'adapter à son environnement. Elle se base sur l'idée selon laquelle l'individu est actif pour le maintien de son confort thermique en réagissant de différentes manières face aux différentes situations thermiques.

Les Documents Techniques Réglementaires (DTR) font partie des rares outils qui représentent la réglementation thermique en Algérie, ce sont des instruments plus ou moins complets qui précisent les règles de conception à suivre pour parvenir à une consommation énergétique rationnalisée. Sur le terrain, et bien que les DTR aient fait l'objet d'approbations par arrêtés ministériels, les professionnels du bâtiment ne sont pas jusqu'à présent contraints à s'y conformer. Les seuls documents généralement exigés lors du dépôt du permis de construire, sont ceux qui concernent le dossier architectural et l'étude de génie civil.

Enfin, nous avons jugé utile d'évoquer l'architecture bioclimatique grâce à laquelle on parvient à obtenir des ambiances thermiques confortables avec des méthodes utilisant les énergies renouvelables comme l'énergie solaire ou encore l'énergie géothermique.

CHAPITRE

3

PRESENTATION DES CONTEXTES GLOBAL ET IMMEDIAT DE L'ETUDE

Introduction

A l'instar de la plupart des villes algériennes, Tizi-Ouzou a bénéficié de programmes successifs de construction d'établissements publics et de logements. Certains ont été construits en faisant usage des méthodes de l'industrialisation comme les coffrages outils ou la préfabrication des panneaux de façade en usine.

L'opération de reconnaissance du parc immobilier et essentiellement les bâtiments dotés de façades en béton préfabriqué se trouvant sur le territoire de la wilaya de Tizi-Ouzou revêt une importance particulière, elle permet de s'enquérir des données nécessaires en prévision de l'ultime chapitre qui sera consacré à l'étude de cas. En effet, en se basant sur un travail d'investigation auprès des services compétents (ONM, ENPI, OPGI, APC, UMMTO, ENIEM, DLEP…)[147], ce présent chapitre vient préparer le terrain par la présentation succincte des contextes global et immédiat de cette étude. Le contexte global traite des caractéristiques géographiques et climatiques de la région de Tizi-Ouzou lieu d'implantation du bâtiment étudié et l'état des lieux actuel des constructions en béton préfabriqué dans cette même région. Le contexte réduit concerne directement les locaux de la faculté des sciences médicales de l'Université de Tizi-Ouzou conçus et réalisés des 1982 par l'entreprise française Pascal en faisant usage de son propre procédé de préfabrication.

III-1. Tizi-Ouzou, situation géographique et données climatiques

III-1. 1. Situation de la ville de Tizi-Ouzou

Tizi Ouzou est une ville du nord Algérien, située à une centaine de kilomètres à l'Est de la capitale Alger et une quarantaine de kilomètres des cotes méditerranéennes. Elle est localisée à une latitude de 36°,42 au Nord, à une longitude de 04°,03 à l'Est et 188 mètres d'altitude.[148] D'un point de vue morphologique, Tizi-Ouzou est prise entre deux massifs imposants, le mont Bélloua au nord, perché à plus de 650 mètres et le mont Hasnaoua au sud, à

Figure 3.1 : Tizi-Ouzou à l'échelle nationale.
Source : www.wikipédia.org.

[147] Office National de Météorologie, Entreprise Nationale de Promotion Immobilière, Office de Promotion et de Gestion Immobilière, Assemblée Populaire Communale, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Entreprise Nationale des Industries de l'ElectroMénager, Direction du Logement et des Equipements Publics.
[148] Données Google Earth.

une altitude qui dépasse les 600 mètres. Globalement, la population de la wilaya de Tizi-Ouzou comptait 936.948 habitants au recensement de 1987, elle enregistre 1.108.709 habitants au recensement de 1998 et atteint 1.127.166 habitants au dernier recensement de 2008. A l'issue du dernier découpage administratif de 1984, la wilaya de Tizi-Ouzou compte 21 daïrates et 67 communes, et la ville de Tizi-Ouzou fait partie de la commune du même nom ou résident quelques 135 088 habitants sur une surface totale de 102. 36 km².[149]

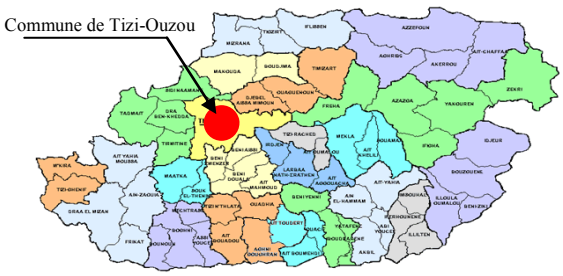


Figure 3.2 : Situation de la commune de Tizi-Ouzou.
Source : www.tiziouzou-dz.com.

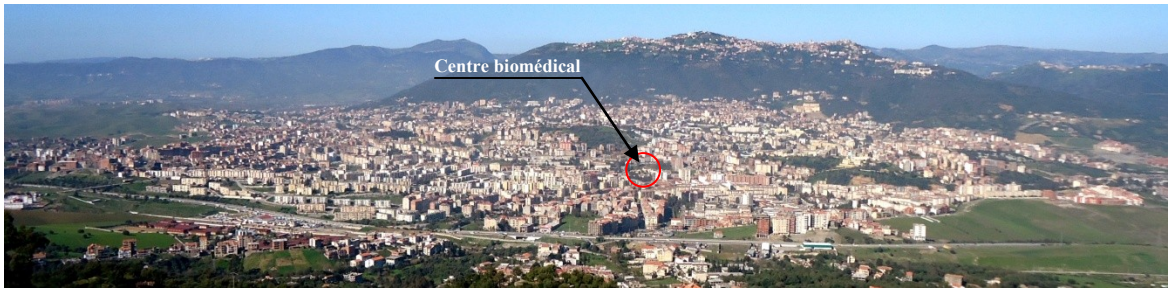


Figure 3.3 : Vue globale sur la ville de Tizi-Ouzou. **Source :** Auteur.

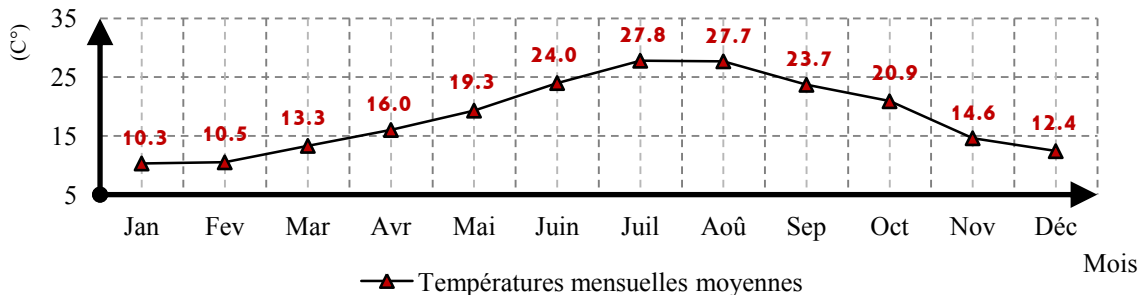
III-1. 2. Données climatiques de la ville de Tizi-Ouzou

Réaliser une étude relative aux ambiances thermiques d'un local implanté dans un contexte géographique donné, nécessite le recueil et l'analyse de ses données climatiques, et ce afin de s'imprégner du climat prépondérant autour de l'objet étudié et déduire par la même occasion les contraintes ou les avantages qu'il peut lui apporter.

La région de Tizi-Ouzou se situe dans la bande du climat méditerranéen sur la zone de contact et de lutte entre les masses d'air polaire et tropical.[150] Son chef-lieu se caractérise par un hiver frais et pluvieux et un été très chaud. En effet, la ville dans sa quasi-totalité est encaissée entre deux massifs imposants empêchant la pénétration de l'air frais provenant du coté Nord et emprisonne les rayonnements d'énergie émis par les bâtiments et les sols bitumeux de la ville. Il y a des journées d'été où l'humidité engendrée par l'évaporation des eaux du barrage Taksebt situé à quelques kilomètres de la ville, vient s'ajouter à des températures très élevées, ce qui donne lieu à des sensations d'inconfort insurmontables.

[149] Site internet de la wilaya de Tizi-Ouzou (http://www.tiziouzou-dz.com/).
[150] Ibid.

III-1. 2. 1. Les températures d'air



	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOÛT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
2004	10.6	12.2	13.6	14.7	16.5	23.8	26.6	27.0	22.5	25.2	13.3	11.5
2005	7.4	7.7	12.8	15.5	20.6	25.2	28.3	26.9	23.2	20.5	13.0	10.6
2006	9.2	10.0	14.2	18.3	21.9	24.8	28.8	26.7	23.9	22.3	17.3	12.1
2007	11.4	13.0	12.3	15.7	19.5	23.3	27.5	28.1	23.7	19.4	13.6	10.6
2008	11.0	12.6	13.0	16.3	18.8	23.5	27.9	27.8	24.4	19.8	13.5	13.1
2009	10.8	10.4	12.7	14.0	21.0	25.2	29.6	28.0	22.7	19.2	15.3	15.8
2010	11.4	12.8	13.7	16.4	17.6	22.6	27.7	27.2	23.6	19.2	14.3	11.2
2011	10.6	10.3	13.4	17.5	19.7	23.1	27.5	28.5	24.7	19.7	15.7	13.0
2012	9.9	6.5	13.3	15.3	19.9	26.4	27.8	30.3	24.4	20.8	16.2	14.0
2013	10.8	9.3	14.3	15.8	17.5	22.0	26.7	26.9	24.1	23.1	13.5	11.8
T° mens moy Min	6.5	6.6	8.8	11.4	14.2	18.1	21.6	21.7	18.6	15.7	11.8	7.7
T° mens moyenne	10.3	10.5	13.3	16.0	19.3	24.0	27.8	27.7	23.7	20.9	14.6	12.4
T° mens moy Max	15.4	15.4	19.4	22.0	26.2	31.8	36.1	35.2	31.1	27.3	19.7	16.5

Tableau 3.1 : Températures mensuelles moyennes à Tizi-Ouzou. **Source :** ONM Boukhalfa / Tizi-Ouzou.

Selon les données météorologiques de ces dix dernières années (2004-2014) recueillies auprès de l'antenne de l'Office National de Météorologie (O.N.M) sise à Boukhalfa près de la ville de Tizi-Ouzou, on constate que la distribution annuelle des températures n'est pas uniforme. En fait, On peut répartir les températures moyennes en trois périodes :

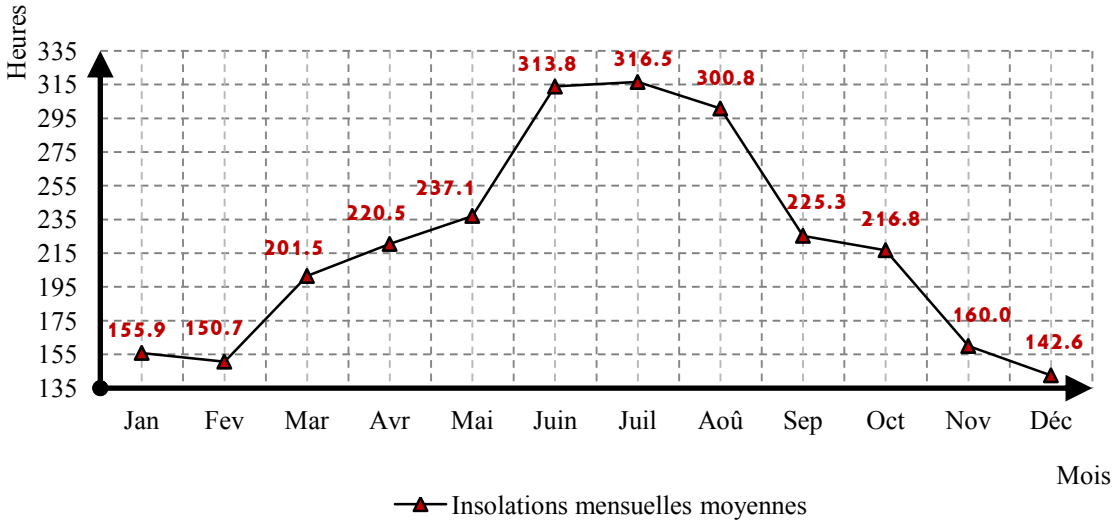
- Froide, de décembre à février : les températures moyennes varient de 10,3 à 12,4 °C ;
- Tempérée, de mars à mai et d'octobre à novembre : les températures moyennes varient entre 13,3 °C et 20,9 °C ;
- Chaude, de juin à septembre : les températures moyennes varient de 24,0 à 23,7°C.

Les températures mensuelles moyennes les plus basses sont enregistrées au cours du mois de janvier et de février tandis que juillet et août sont les mois les plus chauds. Le mois le plus froid est le mois de février de l'année 2012 au cours duquel la température mensuelle moyenne enregistrée ne dépassait pas les 6.5°C. Le mois d'août de l'année 2012 était le plus chaud avec une température mensuelle moyenne de 30.3°C.

La température mensuelle moyenne minimale est descendue jusqu'à 6.5 C° en janvier et la température mensuelle moyenne maximale a atteint 36.1 C° en juillet. Au cours de ces

dix dernières années la température maximale absolue qui est de 45.7 C° a été enregistrée le 22 juillet 2009. La température minimale absolue est de –3.0 C° et a été enregistrée le 27 janvier 2005.

III-1. 2. 2. La durée d'insolation



	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUI	AOÛ	SEP	OCT	NOV	DEC	TOT (H)
2005	160	122	160	189	204	274	301	279	247	232	161	160	**2489**
2006	130	150	258	241	255	254	337	342	262	272	214	136	**2852**
2007	195	168	197	154	261	296	353	312	233	182	191	141	**2683**
2008	182	187	221	262	193	294	300	315	172	101	182	139	**2548**
2009	108	170	239	197	104	98	111	101	**72**	241	183	106	**1730**
2010	140	109	180	200	240	311	368	317	267	209	114	142	**2597**
2011	142	156	211	243	244	291	356	341	282	233	134	145	**2778**
2012	201	155	207	210	309	298	344	333	237	232	151	172	**2850**
2013	140	126	161	231	241	352	335	335	237	210	120	163	**2651**
2014	161	164	181	278	320	313	**360**	333	244	256	150	122	**2884**
Moy (H)	**155.9**	**150.7**	**201.5**	**220.5**	**237.1**	**313.8**	**316.5**	**300.8**	**225.3**	**216.8**	**160**	**142.6**	**2606.2**

Tableau 3.2 : Durées d'insolation mensuelles moyennes à Tizi-Ouzou. **Source :** ONM Boukhalfa / Tizi-Ouzou.

L'Algérie dispose de l'un des gisements solaires les plus importants au monde. Il est évalué à plus de 3000 heures de soleil par an, (soit 5.2. 1015 KWh / an) et à 5 kWh d'énergie quotidienne reçue sur une surface horizontale de 1 m² sur la majeure partie du territoire national.[151]

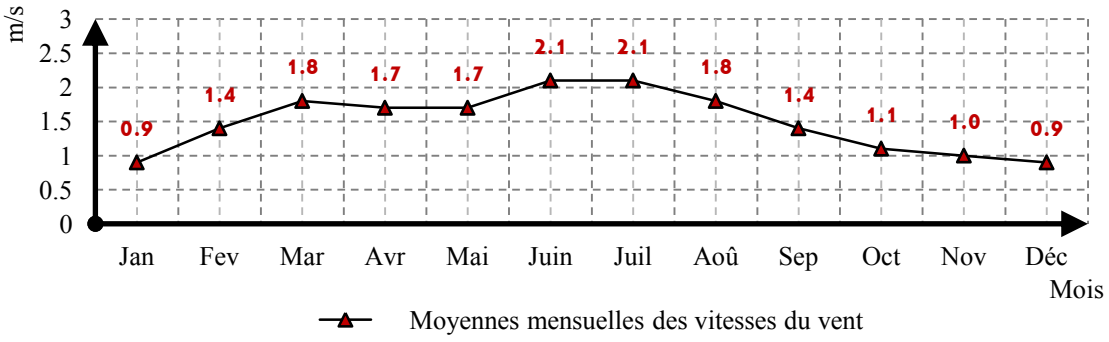
Comme le montre le tableau ci-dessus, durant ces dix dernières années (2005-2014) la ville de Tizi-Ouzou avait bénéficié d'une moyenne annuelle de 2606.2 heures d'ensoleillement, soit environs 108 jours ou bien un tiers (1/3) d'une année d'ensoleillement en continu. Les durées d'insolation solaire les plus importantes sont enregistrées pendant le mois de juillet avec une moyenne de 316.5 heures/année, quand

[151] Chabi M., 2009, Op Cit, p. 222.

aux valeurs minimales, elles sont enregistrées durant le mois de décembre avec une moyenne de 142.6 heures/année.

Cet important apport solaire dont dispose la région de Tizi-Ouzou doit être pris en considération dans tout projet de construction en le dotant d'enveloppe capable d'éviter les surchauffes durant l'été et de tirer profit de cet apport gratuit en saison hivernale.

III-1. 2. 3. Les vents



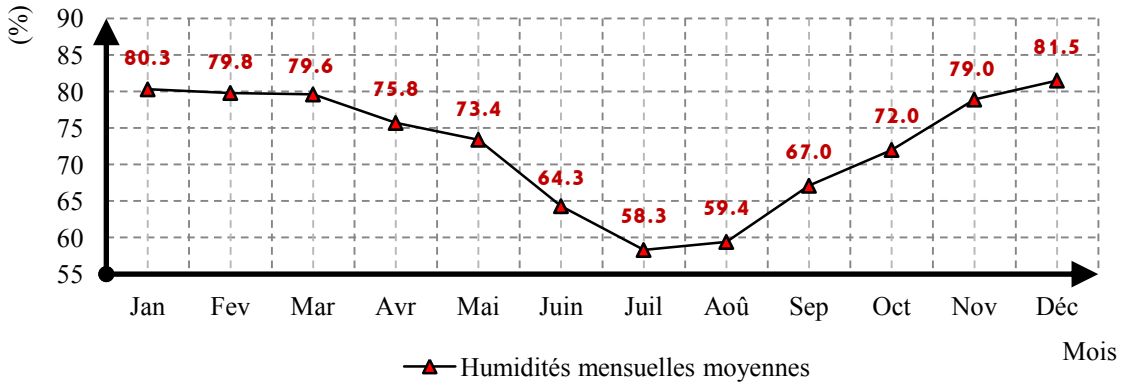
	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOÛT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
2004	0.9	2.0	1.6	2.1	2.2	2.4	2.7	2.0	1.2	1.6	0.9	1.7
2005	0.5	0.8	1.4	2.4	2.2	3.1	2.8	2.3	1.8	1.1	1.0	1.0
2006	0.7	1.2	2.6	2.4	2.3	3.0	2.7	2.8	2.3	1.9	1.5	0.8
2007	1.0	2.3	2.2	1.6	1.6	2.3	2.2	2.0	1.4	1.2	1.0	0.3
2008	0.6	0.6	2.3	1.5	1.4	1.1	2.3	2.3	1.5	1.0	1.2	0.8
2009	1.5	1.3	1.4	1.1	1.2	1.8	1.8	1.7	1.1	0.7	0.5	1.2
2010	2.1	1.5	1.1	0.8	1.0	1.3	1.8	1.3	1.4	1.0	0.9	0.9
2011	0.2	1.2	0.7	1.1	xx	xx	xx	xx	1.1	0.5	0.6	0.3
2012	0.3	xx	xx	xx	xx	xx	0.6	0.7	0.7	0.6	1.1	0.9
2013	1.5	1.6	2.6	1.9	1.9	1.7	1.8	1.3	1.3	xx	xx	xx
Moyennes	**0.9**	**1.4**	**1.8**	**1.7**	**1.7**	**2.1**	**2.1**	**1.8**	**1.4**	**1.1**	**1.0**	**0.9**

Tableau 3.3 : Moyennes mensuelles des vitesses du vent à Tizi-Ouzou. **Source :** ONM Boukhalfa / Tizi-Ouzou.

Une bonne connaissance du climat local passe par l'étude de ses paramètres notamment le vent, son intensité, sa direction et sa fréquence. Le vent est souvent à l'origine des contrastes climatiques les plus marquants.

Les données ci-dessus montrent que la vitesse du vent est plus grande à partir du mois de mars jusqu'au mois d'août avec une vitesse de vent moyenne comprise entre 1.7 m/s et 2.1 m/s. Cette vitesse est plus faible entre le mois de septembre et le mois de février avec une moyenne allant de 0.9 m/s à 1.4 m/s. Selon ces valeurs, il s'agit d'un vent qu'on peut considérer comme relativement faible. En effet, les vitesses de vent comprises entre 0.9 ms et 2.1 m/s ne constituent pas un facteur de gêne pour le confort de l'homme. La ville de Tizi-Ouzou est d'ordinaire épargnée des vents violents.

III-1. 2. 4. L'humidité relative de l'air



	JANV	FEVR	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUILL	AOÛT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
2004	80	75	79	72	78	64	57	56	58	64	82	81
2005	85	81	81	76	68	60	53	58	67	71	79	81
2006	81	81	74	69	72	57	52	61	63	66	70	83
2007	80	79	98	84	72	69	56	59	67	77	81	86
2008	83	79	78	70	78	68	60	59	65	77	78	83
2009	66	75	76	78	68	56	54	63	73	77	78	79
2010	80	77	78	80	73	68	59	61	70	74	79	76
2011	84	83	78	76	76	75	68	68	69	75	81	83
2012	84	88	81	76	71	61	60	49	65	70	79	80
2013	80	80	73	77	78	65	64	60	73	69	83	83
HR mens moy Min	58	54	51	50	48	39	33	33	39	44	54	59
HR mens moyenne	80.3	79.8	79.6	75.8	73.4	64.3	58.3	59.4	67.0	72.0	79.0	81.5
HR mens moy Max	96	95	95	95	93	89	84	86	90	92	94	96

Tableau 3.4 : Humidités relatives mensuelles moyennes à Tizi-Ouzou. **Source :** ONM Boukhalfa / Tizi-Ouzou.

A travers le graphique représentant les humidités mensuelles moyennes des dix dernières années, on constate que celles-ci varient entre un minimum de 58.3 % en Juillet et un maximum de 81.5 % en décembre. La période allant de juin à août (été) est celle qui présente les taux d'humidité mensuelle moyenne les plus bas, par contre, les taux les plus élevés sont enregistrés durant la période comprise entre décembre et février (hiver). Ce graphique nous renseigne sur un autre fait important ; jamais au cours de ces dix dernières années, la moyenne mensuelle des humidités n'est descendue sous la barre des 50 %. Cela signifie que des pics d'humidités supérieurs à 90 % sont fréquemment atteints.

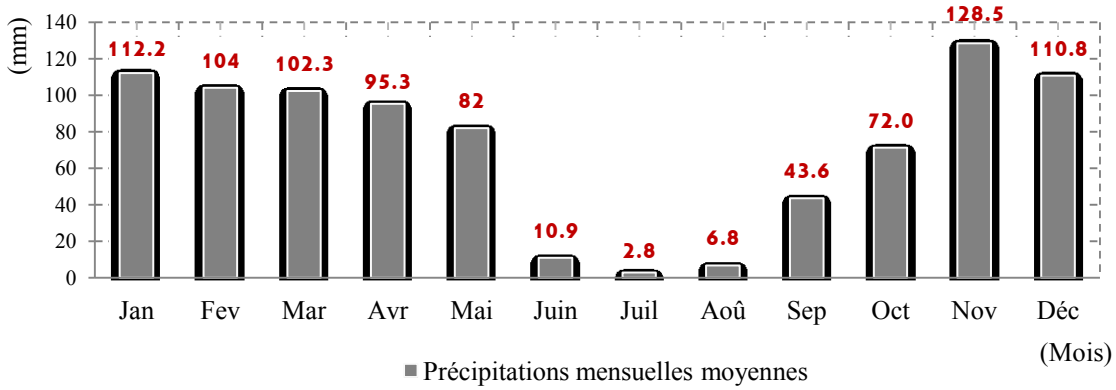
L'humidité mensuelle moyenne minimale est de 33 % durant les deux mois de juillet et août et la maximale est de 96 % au cours des mois de décembre et janvier.

Pour la plupart des types de locaux, l'ASHRAE[152] suggère des valeurs d'humidité de confort comprises entre 30% et 60% afin de prévenir l'assèchement de la peau, et

[152] A.S.H.R.A.E. (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers).

l'irritation des yeux et des voies respiratoires. Les taux d'humidité mensuelle moyenne enregistrés à Tizi-Ouzou durant ces dix dernières années se situent pour la plupart au dessus de la limite supérieure de cette plage de confort.

III-1. 2. 5. Les précipitations



Années / Mois	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUI	JUI	AOÛ	SEP	OCT	NOV	DEC	TOTAUX
2004	127.7	52.2	104.0	86.4	146.1	4.7	**0.0**	10.2	36.9	36.4	106.9	197.4	**908.9**
2005	148.7	37.5	30.3	68.5	1.5	0.1	0.6	1.7	20.0	57.5	72.2	87.2	**525.8**
2006	142.5	169.4	35.0	20.2	78.1	5.6	2.4	2.7	36.5	18.6	7.3	170.5	**688.8**
2007	8.4	63.4	**284.6**	201.5	23.8	14.9	11.3	1.8	56.9	210.4	257.8	89.2	**1224.0**
2008	8.7	11.8	88.1	32.3	96.8	14.0	7.2	**0.0**	34.6	66.1	190.3	115.4	**665.3**
2009	221.0	42.4	92.0	132.6	69.1	0.0	2.6	7.3	169.8	40.4	116.5	140.3	**1034.0**
2010	82.4	61.1	97.4	93.6	59.3	27.6	1.8	25.9	25.4	113.4	143.5	46.1	**777.5**
2011	90.9	146.9	99.9	106.5	153.1	41.0	1.7	0.2	7.5	34.1	156.4	86.9	**925.1**
2012	69.5	269.5	97.8	146.8	40.2	1.1	0.0	6.4	10.9	96.3	68.7	71.2	**878.4**
2013	222.0	186.0	93.5	64.5	152	0.0	0.3	11.3	37.6	39.0	164.9	104	**1075.1**
Moyennes	**112.2**	**104**	**102.3**	**95.3**	**82**	**10.9**	**2.8**	**6.8**	**43.6**	**71.2**	**128.5**	**110.8**	**870.3**

Tableau 3.5 : Précipitations mensuelles moyennes. **Source :** ONM Boukhalfa / Tizi-Ouzou.

Ces dix dernières années, il a plut une moyenne de 870.3 mm par an. Les plus importantes quantités de pluie ont été mesurées entre les mois de novembre et de janvier (en hiver) avec des valeurs comprises entre 110.8 mm et 128.5 mm, contrairement à la période allant de juin à août où il n'a plut que très peu avec 2.8 mm en juillet, 6.8 mm en août et 10.9 mm en juin.

III-1. 2. 6. Synthèse des données climatiques de la ville de Tizi-Ouzou

L'analyse des données climatiques de la région de Tizi-Ouzou permet de faire la synthèse suivante :

- **Les températures d'air :** Avec des pics de température avoisinant les 45 C° et -3 C° et des moyennes de 27.8 C° et 10.3 C°, la région de Tizi-Ouzou est caractérisée par un été très chaud assez humide et un hiver froid très humide.

- **La durée d'insolation :** Le territoire de la région de Tizi-Ouzou est caractérisé par une importante durée d'insolation été comme hiver. En effet, il reçoit une moyenne de 2606.2 heures de rayonnement solaire direct pendant l'année avec une moyenne de 316.5 heures pour le mois de Juillet et 142.6 heures pour le mois de décembre. La saison estivale coïncidant avec les mois de juin, juillet et août est caractérisée par la sécheresse avec une pluviométrie presque nulle.
- **Les vents :** Les moyennes mensuelles des vents prédominants dans la région de Tizi-Ouzou sont comprises en 0.9 m/s et 2.1 m/s, ce qui équivaut à 3.24 km/h et 7.56 km/h.
- **L'humidité relative de l'air :** Le taux d'humidité est compris entre 79.8 % et 81.5 % en hiver et entre 58.3 % et 64.3 % en été. Ces valeurs sont au dessus de la limite supérieure de la plage de confort fixée par l'ASHRAE qui est de 60 %.
- **Les précipitations :** Avec une moyenne annuelle de 870.3 mm, la région de Tizi-Ouzou est relativement bien arrosée. La saison des pluies s'étend sur trois trimestres de septembre à mai avec des précipitations mensuelles moyennes allant de 43.6 mm à 128.5 mm.

D'après l'analyse climatique de la région de Tizi-Ouzou, nous déduisons que la période la plus favorable pour effectuer des mesures de température et d'humidité correspond aux mois de juillet et août pour l'été et aux mois de décembre et janvier pour l'hiver.

III-2. Situation du parc immobilier *de la ville* de Tizi-Ouzou

L'état actuel du parc immobilier de la ville de Tizi-Ouzou n'est pas le produit d'une seule époque. En fait, il s'agit d'une juxtaposition de bâtiments de divers usages hérités de l'époque coloniale, essentiellement française (1830-1962), et produits durant la période postcoloniale (1962 jusqu'à nos jours) à travers les plans de développement successifs qu'a connu le pays. Avant de faire un état sur la situation du logement et des équipements publics à Tizi-Ouzou, il est pertinent de retracer, à travers un bref rappel historique, l'évolution de la morphologie urbaine de la ville de Tizi-Ouzou.

III-2. 1. Urbanisation de la ville de Tizi-Ouzou, bref rappel historique

A l'image de l'ensemble des villes algériennes, Tizi-Ouzou a subi au fil du temps une série de transformations liées, chacune, à un fait historique bien précis. « *Selon les historiens, avant l'arrivée des Turcs (16ème siècle), Tizi-Ouzou ne fut qu'un simple point de passage. À leur départ vers 1830, elle était constituée d'un village (Zmala) adossé au*

piedmont du Balloua, et d'un Bordj érigé sur une colline voisine, un point stratégique servant de contrôle et de collecte d'impôts. Elle est traversée par la route reliant Alger à Bejaïa et la sortie Ouest de Tizi-Ouzou, le Souk Sebt, Ali Khodja »[153].

Viendra par la suite la période coloniale française où l'on apercevait des le départ, les prémices d'une ville naissante avec l'établissement d'un vrai tracé urbain. L'origine de l'urbanisation de la ville de Tizi-Ouzou se situe vers 1855 avec la formation du noyau du village européen. Façonné par des ingénieurs du génie militaires selon dans un tracé régulier, ce village verra naitre les premiers édifices publics tels que la mairie, l'église, l'école, etc. En 1872, Tizi-Ouzou sera élevée au rang de commune puis en sous-préfecture vers 1874. Elle deviendra petit à petit un pôle administratif, judiciaire et militaire de la grande Kabylie et sera raccordée au réseau électrique et verra l'ouverture de la ligne de fer Alger-Tizi Ouzou, l'élargissement du réseau viaire et la construction de nouveaux édifices publics.[154] Plus tard, entre les années 1950 et 1962, un ensemble de cités ont été construites selon le modèle métropolitain, il s'agit des *« premières Barres ou bâtiments publics (H.L.M) en R+4 à R+10, spécialement conçus pour les autochtones »*[155]. C'est ainsi qu'en quelques décennies de colonisation, Tizi-Ouzou est devenue un pôle urbain rayonnant sur toute la grande Kabylie.

Depuis l'indépendance, sous la pression de deux phénomènes majeurs que sont la croissance démographique et l'exode rural, on assiste à une urbanisation effrénée et anarchique de la ville de Tizi-Ouzou que les pouvoir publics n'ont souvent pas pu maîtriser et contenir.[156] En effet, comme cela s'est produit dans la majeure partie des villes du Nord Algérien, l'état a eu recours à un urbanisme purement fonctionnaliste qui avait permis à court terme d'apporter des solutions rapides grâce aux procédés d'industrialisation et de préfabrication du bâtiment. Il s'en est suivi l'émergence de la zone d'habitat urbain nouvelle « Z.H.U.N » au sud de la ville de Tizi-Ouzou qui connait aujourd'hui d'importants dysfonctionnements. Farida Naceur et al[157] parlent de malaises et de

[153] Belkhemsa B., Djelal N., « La planification urbaine en Algérie face aux défis contemporains. Entre discours et réalité. Cas de la ville Tizi-Ouzou » in actes de la conférence : Colonial et postcolonial de la planification urbaine en Afrique. p.2.
[154] Dahmani M., 2006, « Tizi-Ouzou : De la ségrégation raciale à ″L'émancipation urbaine″ (1844-1962) » in revue Campus de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, N° 03, Septembre 2006, pp 3-14.
[155] Ibid. p. 11.
[156] Laïche M., Sadoudi M., 2007, « l'extension de la ville de Tizi-Ouzou sous la contrainte foncière » in revue Campus de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, N° 08, pp. 3-10.
[157] Naceur F., Farhi A., 2003, « Les zones d'habitat urbain nouvelles en Algérie : inadaptabilité spatiale et malaises sociaux. Cas de Batna » in revue Insaniyat, N° 22, Octobre – Décembre 2003, pp. 73-81.

contraintes quotidiennes épuisantes pour les résidents des cités de ces Z.H.U.N y compris les cités nouvellement attribuées qui se dégradent rapidement. La constitution de 1989 qui consacre l'économie libérale et instaure la propriété immobilière privée viendra aggraver cette situation et porter un autre revers au paysage urbain et à l'architecture de nos villes.

III-2. 2. Secteur du logement et des équipements publics à Tizi-Ouzou

Entre ce qui a été hérité de la période coloniale et ce qui a été construit après l'indépendance, Tizi-Ouzou dispose d'un parc immobilier conséquent. En matière d'équipements publics, la ville de Tizi-Ouzou rayonne sur toute la région du nord-centre algérien avec ses services administratifs et ses établissements de toutes natures ; sportifs, scolaires, universitaires, hospitaliers et autres sièges de divers organismes tels que les banques, les assurances, les entreprises publiques…etc.

La population de Tizi-Ouzou a, en général, toujours investi dans les secteurs secondaire et tertiaire en raison du surpeuplement et de la pauvreté en terres agricoles de la région de Tizi-Ouzou. Ce fait a engendré un exode rural massif de la population villageoise vers la ville engendrant en quelques décennies une inflation urbaine surdimensionnée et mal-maitrisée. En se basant sur le RGPH[158] de 2008, les services de la wilaya prévoient à l'horizon 2015 pour la seule commune de Tizi-Ouzou une population urbaine de 115 770 habitants soit environs 77 % de la population totale de la commune.[159] Selon la direction du logement, 137 774 unités d'habitation sont recensées sur le territoire de la Wilaya de Tizi-Ouzou, dont une grande partie représente des logements implantés au chef-lieu.

Programme	Consistance	Achevés	En cours	En voie de lancement	Livraison 2015	Lancement 2015
LSL	27 602	9 867	15 203	2 529	210	290
LSL / LPA	14 832	9 835	4 206	791	132	40
LPP	2 500	0	481	2 019	0	481
Habitat rural	74 320	56 047	9 446	8 827	1 236	1 094
Réhabilitation	6 000	864	1 990	3 146	253	20
L. Promotionnel privé	4 258	1 536	2 722	0	205	277
Location vente	7 500	1 500	2 000	4 000	0	0
CNEP Immo	542	0	360	182	0	0
Enseignement supérieur	220	0	0	220	0	0
TOTAL	**137 774**	**79 649**	**36 411**	**21 714**	**2 036**	**2 202**

Tableau 3.6 : Etat d'exécution des programmes de logements au 31 mars 2015.
Source : Direction du logement de la wilaya de Tizi-Ouzou. (http://www.tiziouzou-dz.com)

L'importante Z.H.U.N implantée au sud de la ville des 1977 est composée de grands ensembles d'architectures fonctionnalistes qui ont été, pour la plupart, érigés à l'aide des méthodes de construction dites « industrialisées ». Les bâtiments de la cité Mohamed

[158] R.G.P.H. (Recensement Général de la Population et de l'Habitat)
[159] Annuaire statistique de la wilaya de Tizi-Ouzou,(http://www.tiziouzou-dz.com/population-projection.htm)

Boudiaf (2000 logements) ont une structure portante composée de murs en béton armé réalisés avec le coffrage-tunnel et des façades en double parois de briques creuses. D'autres cité d'habitation comme la cité Salah Louanchi (cité 450 logements ENPI ex EPLF) sont composées d'immeubles portés par des murs de béton armé et des façades formées de panneaux en béton préfabriqués. Par ailleurs, il existe quelques cités d'habitation et équipements publics comprenant des bâtiments entièrement enveloppés de panneaux lourds en béton préfabriqué. Il s'agit, entre autres, de la cité des 48 logements Réhahlia ou du lycée Technicum de Tizi Ouzou.

III-3. Les constructions en béton préfabriqué à Tizi-Ouzou, état des lieux

Suite à une mission d'investigation et de repérage effectuée dans la plupart des communes de Tizi-Ouzou et auprès de professionnels et de témoins, nous avons fait état des nombreuses constructions contenant des éléments préfabriqués en béton sur le territoire de la wilaya de Tizi-Ouzou. Elles sont l'œuvre d'entreprises étrangères ou nationales, privées ou publiques. Il s'agit de divers équipements (une université, deux résidences universitaires et quelques lycées) et plusieurs cités d'habitation de différents âges.

III-3. 1. Université

Le seul établissement universitaire construit en béton préfabriqué dans toute la wilaya de Tizi-Ouzou est celui de l'ex Centre Biomédical, il est situé au croisement de la rue des frères Ouamrane et du Boulevard Krim Belkacem, face au campus universitaire « Hasnaoua I », à la nouvelle ville de Tizi-Ouzou. Conçu et réalisé par l'entreprise Française « Pascal » durant le début des années 1980, il se compose de différents blocs constitués d'une ossature métallique enveloppée de grands panneaux en béton préfabriqué. Actuellement faculté des sciences médicales, il héberge les départements de médecine, de pharmacie et de chirurgie dentaire.

Figure 3.4 : Vue sur la façade principale de la faculté des sciences médicales de l'UMMTO **Source :** Auteur

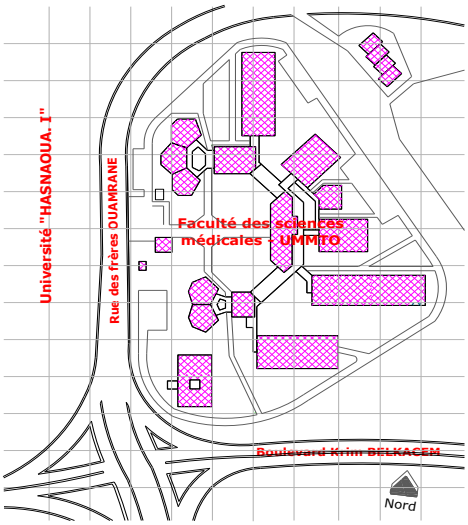


Figure 3.5 : Délimitation de la faculté des sciences médicales de l'UMMTO. **Source :** Auteur

III-3. 2. Résidences universitaires

La Wilaya de Tizi-Ouzou ne compte que deux résidences universitaires contenant des façades en panneaux de béton préfabriqué. Il s'agit de la résidence universitaire de Boukhalfa et celle de Réhahlia. Cette dernière est implantée au bord de la route nationale 30 A, à proximité de l'Ex-campus universitaire de Oued-Aissi. Les bâtiments préfabriqués de cette résidence universitaire construite à la fin des années 1970 ont été démolis à la fin de l'année 2012 en faveur du projet de la nouvelle résidence universitaire de 2500 lits avec dépendances, conçu par le bureau d'étude Algérois EURL SEROM et réalisé par l'entreprise de Bouira SARL ERGOSOTS.

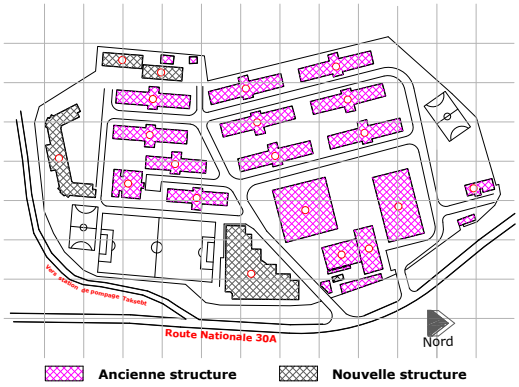


Figure 3.6 : Plan d'aménagement de la résidence universitaire « Réhahlia » **source :** Auteur

Figure 3.7 : Bloc « Logements d'astreinte » situé à l'intérieur de la RU Réhahlia. **Source :** Auteur

III-3. 3. Lycées

Figure 3.8 : Lycée Technicum de Tizi-Ouzou. **Source :** Auteur

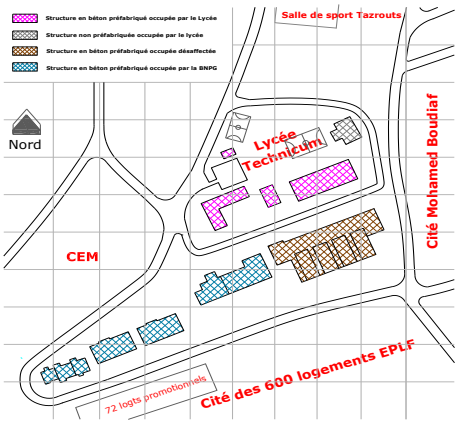


Figure 3.9 : Plan d'aménagement du Lycée Technicum de Tizi-Ouzou. **Source :** Auteur

Le Lycée Technicum de Tizi-Ouzou a été inauguré durant les années 1980, il est situé à la nouvelle ville, entre la salle de sport « Saïd Tazrout » et la cité des 600 logements EPLF. Il fait réellement partie d'une commande passée à l'entreprise hollandaise BRADERO pour la réalisation de plusieurs lycées[160] dans la wilaya de Tizi-Ouzou et ses alentours. D'un point de vue structurel, les différents blocs

[160] Nous avons relevé l'existence de plusieurs lycées quasi identiques à celui de Tizi-Ouzou dans plusieurs localités de la wilaya de Tizi-Ouzou et ses alentours. Il s'agit entre autres du lycée Dahmani Mohamed de Boghni, le lycée Toumi Omar de Tigzirt, le lycée Yazouren Saïd d'Azazga, le lycée des frères Drif de Dellys.

qui composent cet établissement sont constitués d'une ossature formée de poteaux et poutres en béton armé, et de panneaux en béton préfabriqué en guise d'enveloppe. L'une des particularités de ce procédé de préfabrication est le fait que les fenêtres soient entourées de pare-soleil.

III-3. 4. Cités d'habitation

III-3. 4. 1. La cité des 72 Logements « ENIEM »

Cette cité d'habitation contenant 72 logements répartis sur neuf bâtiments en R+3 est située au lieudit « Alma » sur le territoire de la commune d'Irdjen. Elle fut commandée par l'ENIEM à une entreprise Italienne et sa construction fut entamée en 1986 et achevée en 1990. Le procédé de préfabrication utilisé pour la réalisation de cette cité ressemble au procédé Français « Pascal » utilisé dans l'ex centre biomédical de Tizi-Ouzou. Il se caractérise par son enveloppe formée de panneaux préfabriqués en béton armé fixés à une ossature en profilés métalliques. Le confort thermique est garanti grâce à des plaques de laine de verre et de plâtre appliquées sur les murs et sous les plafonds.

Figure 3.10 : Plan d'aménagement de la cité des 72 logements « ENIEM ». **Source :** Auteur

Figure 3.11 : Cité des 72 logements « ENIEM ». **Source :** Auteur

III-3. 4. 2. La cité des 48 Logements « Réhahlia »

Cette cité est sise au cœur du village Réhahlia, à proximité de la résidence universitaire portant le même nom. Elle est composée de six bâtiments en R+3 qui sont la réplique fidèle de ceux de la cité des 72 logements ci-dessus décrite.

Figure 3.12 : Cité des 48 logements « Réhahlia ». **Source :** Auteur

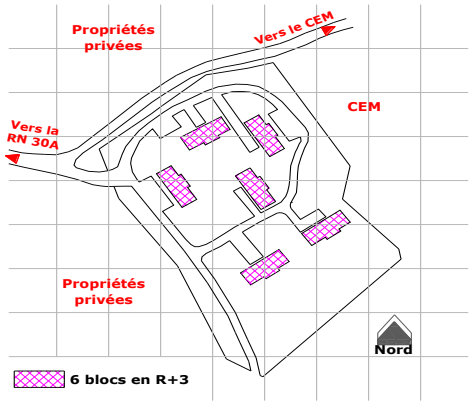


Figure 3.13 : Plan d'aménagement de la cité des 48 logements « Réhahlia ». **Source :** Auteur

III-3. 4. 3. La cité des 450 Logements ENPI ex EPLF (Cité Salah Louanchi)

Située à la nouvelle ville de Tizi-Ouzou, la cité des 450 logements ENPI (ex EPLF) ou cité Salah Louanchi est implantée sur un vaste terrain longeant la route nationale N°12 du coté sud et la cité des 600 logements Génisider du coté nord. Elle se décline en quarante neuf (49) blocs érigés en R+4 contenant, pour certains, des locaux commerciaux au rez de chaussée. Selon les données que nous avons pu récolter auprès de l'ENPI de Tizi-Ouzou, les travaux de construction de cette cité on été confiés à l'entreprise de bâtiment Génisider qui la livre aux débuts des années 90 (1992, selon certains habitants). Elle est l'une des toutes premières cités ou les méthodes industrialisées ont été mise en œuvre. Il s'agit particulièrement du système hybride (chapitre I. page 37) caractérisé par l'usage des tables et banches pour la réalisation des dalles-plancher, les dalles-toiture et les murs de refend transversaux, en association avec des panneaux en béton préfabriqués en usine en guise da façades.

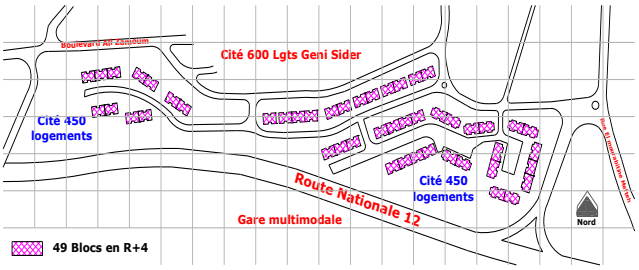


Figure 3.14 : Plan d'aménagement de la cité des 450 logements EPLF. **Source :** Auteur

Figure 3.15 : Immeuble type de la cité des 450 lgts EPLF. **Source :** Auteur

III-3. 4. 4. La cité des 600 logements GeniSider

Figure 3.16 : Immeuble type de la cité des 600 lgts GeniSider **Source :** Auteur

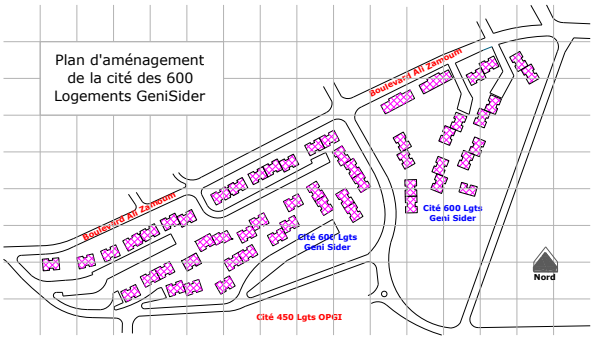


Figure 3.17 : Plan d'aménagement de la cité des 600 logements GeniSider **Source :** Auteur

C'est en 1989 que cette cité fut inaugurée, sa réalisation avait été confiée à l'entreprise publique Génisider. Elle est située à la nouvelle ville de Tizi-Ouzou, bordée par le boulevard Zamoum Ali, la cité des 600 logements EPLF et la cité Mohamed Boudiaf (cité

des 2000 logements) au nord, et par la cité des 450 logements EPLF au sud. Elle a les mêmes caractéristiques constructives que cette dernière. En effet, pour sa construction, il a été fait appel au même système hybride composé de voiles porteurs et de dalles-plancher et dalle-toiture en béton armé et de panneaux en béton préfabriqué en usine pour les façades.

III-3. 4. 5. La cité des 510 Logements OPGI

Figure 3.18 : Cité des 510 logements OPGI. **Source :** Auteur

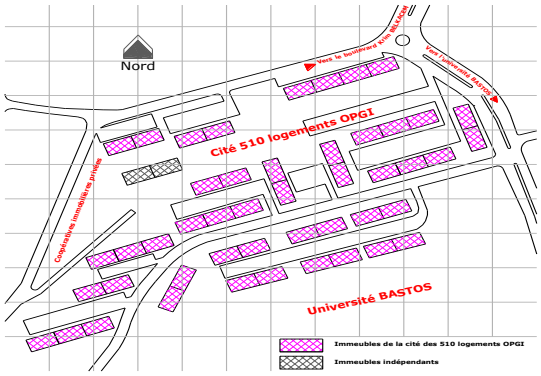


Figure 3.19 : Plan d'aménagement de la cité des 510 logements OPGI. **Source :** Auteur

A Tizi-Ouzou, la cité des 510 Logements OPGI est celle qui présente l'image la mieux aboutie de l'esthétique des panneaux préfabriqués de façade. Les immeubles de cette cité couverts par une toiture en tuiles ont une ossature en voiles de béton armé, enveloppée de panneaux en béton préfabriqué. C'est l'une des nombreuses cités réalisées par l'entreprise publique Cosider durant les des années 1990.

Il existe d'autres cités d'habitation comportant des panneaux de façade en béton préfabriqué, comme les tours de la cité des 120 logements de Génisider et de la cité des 480 logements de Cosider sises à la nouvelle ville de Tizi-Ouzou.

Cité 120 logements

Cité 480 logements

III-4. L'ex centre biomédical comme cas d'étude

III-4. 1. Présentation et situation géographique

Aujourd'hui faculté des sciences médicales de l'université de Tizi-Ouzou abritant les départements de médecine, de chirurgie dentaire et de pharmacie, l'ex institut Biomédical est sans doutes l'un des meilleurs exemples de construction en béton préfabriqué se trouvant dans la wilaya de Tizi-Ouzou. La parcelle de terrain sur laquelle sont implantés

ses bâtiments est située à la limite de la ville et aux portes de la nouvelle ville de Tizi-Ouzou, face à l'université « Hasnaoua ». Elle est bordée au nord et à l'ouest par la rue des Frères Ouamrane, à l'est par un ensemble de coopératives immobilières et au sud par le boulevard Krim Belkacem. La morphologie de cette parcelle se caractérise par une pente naturelle importante avec une différence d'altitude avoisinant les 30 mètres entre le point le plus haut au nord et le point le plus bas au sud.

Figure 3.20 : Vue 1 sur l'ex centre biomédical. **Source :** Auteur

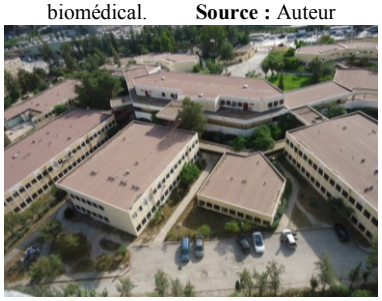


Figure 3.21 : Vue 2 sur l'ex centre biomédical. **Source :** Auteur

Figure 3.22 : Vue 3 sur l'ex centre biomédical. **Source :** Auteur

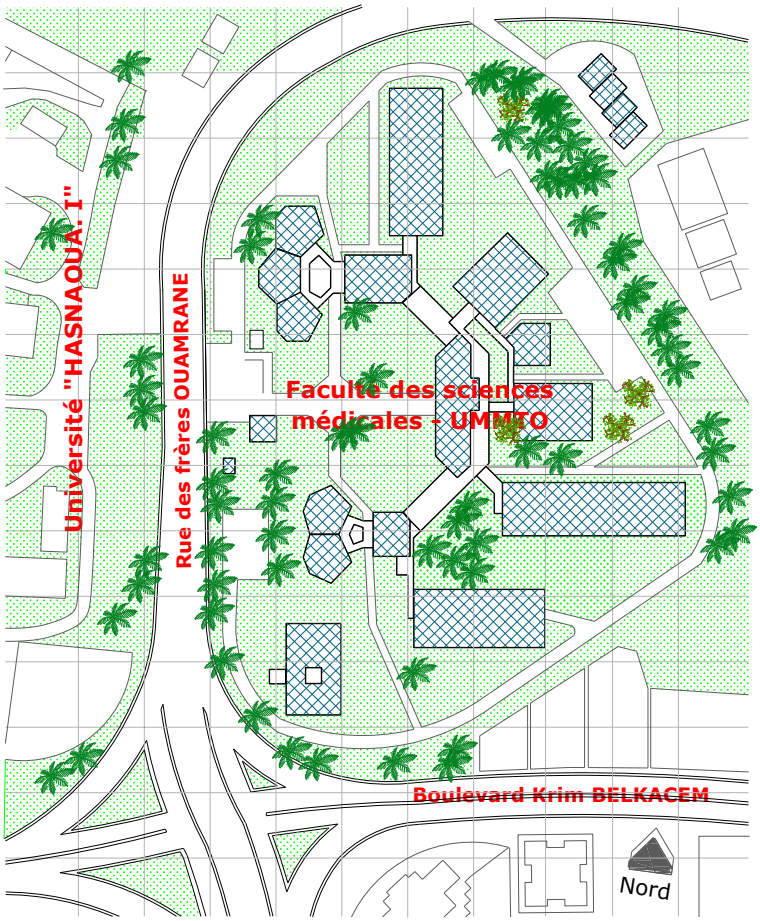


Figure 3.23 : Plan masse du centre biomédical. **Source :** Auteur

III-4. 2. Un point d'histoire

Le 22 Décembre 1982, fut signé un « *contrat pour la fourniture et la réalisation « clés en mains» d'un complexe biomédical et d'un bloc chirurgie dentaire dans la wilaya de Tizi-Ouzou »*[161] entre la wilaya de Tizi-Ouzou en qualité de maitre de l'ouvrage

[161] Extrait du contrat passé entre la Wilaya de Tizi-Ouzou et l'entreprise Pascal-SARL, pour la fourniture et la réalisation « clés en mains» d'un complexe biomédical et d'un bloc chirurgie dentaire en préfabriqué à Tizi-Ouzou. Contrat I.U.P 15.184.82 du 22 Décembre 1982. N° réf. 2380/DAF/1983 complété par plusieurs avenants dont l'avenant n°1 du 18 Octobre 1983 n° réf. 2845/DAF/ZL/1983, l'avenant n° 2 du 19 Septembre 1984 et l'avenant n° 3 non daté ni référencé.

représentée par Monsieur le Wali, d'une part, et l'entreprise Française PASCAL-SARL représentée par Monsieur Henri Mottin en qualité de gérant. Deux autres entreprises ont été désignées comme garantes afin de « *garantir pleinement et sans aucune restriction, l'exécution du contrat dans l'ensemble de ses phases* »[162]. Il s'agit de la société GUERRA-TARCY-S.A. représentée par son directeur Monsieur Jean-Claude Granger, et la société THOURAUD-S.A. représentée par son directeur Monsieur Jean-Pierre Delaitre.

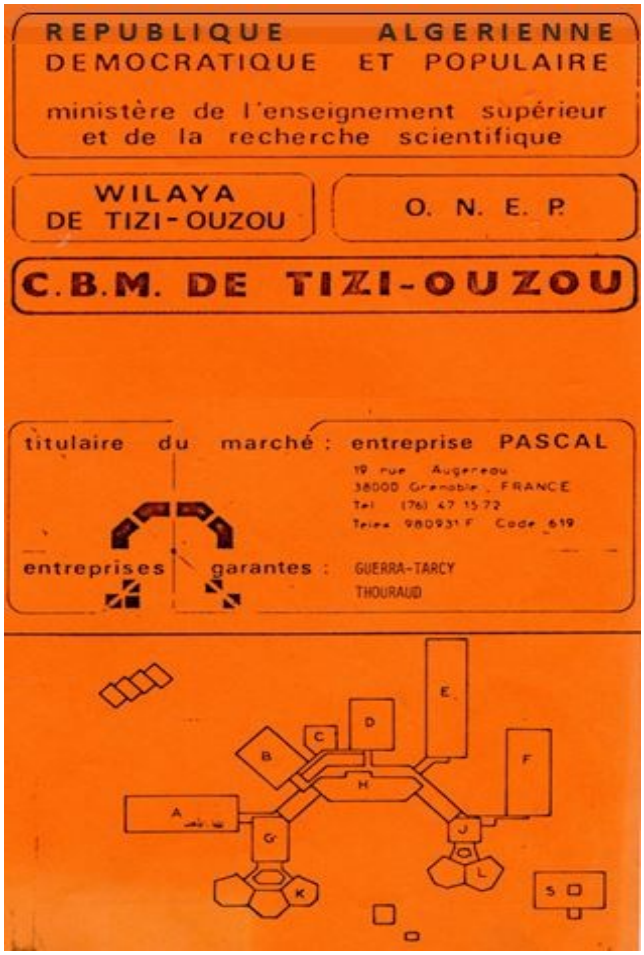


Figure 3.24 : Page de garde du contrat passé entre la Wilaya de Tizi-Ouzou et PASCAL SARL. **Source :** Archives du service des moyens généraux de la faculté des sciences médicales de l'UMMTO.

Il est prévu dans ce contrat que le montant du marché soit réglé en dinars et en devises. Il était fixé à la somme de :

- 93 504 040, 00 FF (Quatre vingt treize millions cinq cent quatre mille quarante Francs français), pour la partie en devises ;
- 11 219 200, 00 DA (Onze millions deux cent dix neuf mille deux cents Dinars algériens), concernant la partie en dinars.

Il est utile de signaler que certains témoins entendus par nos soins attribuent la réalisation de l'ex Centre Biomédical à une dite entreprise espagnole, cela est sans doutes du à la présence d'ouvriers espagnols sur le chantier lors des travaux de réalisation.

III-4. 3. L'entreprise PASCAL SARL

En 1979, les entreprises PASCAL et SOGETRA[163] s'associent et forment l'un des groupes de BTP les plus importants de France et emploient environ 2000 personnes. Ils

[162] Ibid.
[163] SO.GE.TRA (**So**ciété **Gé**nérale de **Tra**vaux de construction industrialisée)

développent le gros de leur activité dans la réalisation de groupes scolaires livrés « clés en mains ». L'entreprise est dirigée par son fondateur Monsieur Paul Favier qui appose à juste titre sa signature sur les documents du contrat de la réalisation du CBM de Tizi-Ouzou en tant que responsable mandaté. Au même moment, Lionel Favier intègre l'entreprise après une année d'apprentissage à PREFALP[164], il se passionne pour le sujet des maisons individuelles et monte son projet assisté de Bruno Demoulin. C'est ainsi que sont produites et commercialisées les premières maisons en panneaux de béton préfabriqué sous l'enseigne « MAICOS » qui est la contraction de maisons et COSTAMAGNA[165] avec qui le groupe PASCAL / SOGETRA travaille d'ailleurs. En mars 1982, la décision est prise de passer à des méthodes de construction plus traditionnelles, c'est à ce moment la que la marque MAICOS laisse sa place à « Les bâtisseurs d'aujourd'hui ». A la fin de l'année 1983, le groupe SOGETRA/PASCAL se restructure, « les bâtisseurs d'aujourd'hui » alors simple enseigne commerciale devient une SARL indépendante. En janvier 2005, 25 ans après leurs débuts, les bâtisseurs d'aujourd'hui livrèrent leur 1000ème maison. L'entreprise continue toujours d'exister et d'imposer ses marques dans le marché Français et international.[166]

III-4. 4. Principaux ouvrages et programme surfacique initiaux

Les différents blocs constituants le Centre biomédical et la clinique dentaire de Tizi-Ouzou sont situés sur un terrain appartenant à la Wilaya de Tizi Ouzou et sont initialement répartis comme suit :

a. Le centre Biomédical d'une superficie de 17 158 m² constitué :

- D'un bâtiment central en forme d'arc de cercle, regroupant tous les locaux communs : Hall d'entrée, service de scolarité, salles de TD, bibliothèque, services administratifs et services techniques, cinq amphithéâtres aux deux extrémités ;
- De cinq bâtiments de deux niveaux, implantés en éventail autour du bâtiment central ou sont implantés les différents laboratoires spécialisés : anatomie normale, histologie, physiologie, biochimie, anatomie pathologique, pharmacologie, microbiologie, hématologie, immunologie, parasitologie ;

[164] PREFALP, Usine de préfabrication lourde, filiale du groupe SOGETRA/PASCAL.
[165] Enseigne « MAICOS » qui est la contraction de **Mai**sons et **COS**TAMAGNA (COSTAMAGNA est une entreprise spécialisée dans la réalisation de groupes scolaires préfabriqués qui possède son propre procédé de préfabrication).
[166] Texte publié dans la presse et dans le site internet de l'entreprise à l'occasion de son 25^{éme} anniversaire coïncidant avec le mois de Juin de l'année 2005.

- De quatre logements d'astreinte, réalisés sous forme de logements individuels en bande à un niveau ;
- De la conciergerie, à l'entrée de l'ensemble.

b. Le bloc de stomatologie d'une superficie de 704 m²

Désignation	Bloc	Niveau	Surface (m²)
COMPLEXE BIOMEDICAL			
Amphithéâtres	K et L	R.D.C	1480 m²
Salles TD	G	R.D.C	1140 m²
Laboratoires			
Anatomie normale	F	1er Etage	1020 m²
Histologie	E	R.D.C	1360 m²
Physiologie	E	1er Etage	1360 m²
Biochimie	A	1er Etage	1134 m²
Anatomie pathologique	F	R.D.C	606 m²
Pharmacologie	A	1er Etage	1134 m²
Microbiologie	D	R.D.C	622 m²
Hématologie	D	R.D.C	622 m²
Immunologie	B	1er Etage	622 m²
Parasitologie	B	1er Etage	622 m²
Locaux communs	C	R.D.C	245 m²
Sanitaires. Bloc pédagogique	G	R.D.C	310 m²
Animalerie - Morgue	F	R.D.C	414 m²
Services communs			
Bibliothèque	J	1er Etage	1136 m²
Centre polycopie	J	R.D.C	162 m²
Centre audio-visuel	J	1er Etage	207 m²
Centre informatique	J	R.D.C	115 m²
Service administratif	H	R.D.C	193 m²
Service administratif	H	2eme Etage	705 m²
Hall d'entrée	H	R.D.C	251 m²
Portique extérieur			
Façade principale	/	R.D.C	148 m²
Circulations verticales	/	R.D.C	389 m²
Liaison avec amphithéâtres	/	R.D.C	248 m²
Locaux techniques et divers	/	R.D.C	553 m²
Conciergerie	/	R.D.C	77 m²
Total	**17 158 m²**		
LOGEMENTS D'ASTREINTE			
3 Logements « 3 pièces »	R	R.D.C	198 m²
1 Logement « 4 pièces »	R	R.D.C	85 m²
Total	360 m²		
STOMATOLOGIE			
Bloc chirurgie dentaire	S	R.D.C	704 m²
Total	**704 m²**		
SURFACE TOTALE	**17 862 m²**		

Tableau 3.7 : Composition des principaux ouvrages. **Source :** Cahier des prescriptions spéciales. Consulté au niveau des archives du service des moyens généraux de la faculté des sciences médicales de l'UMMTO.

A : Pharmacologie - Biochimie

B : Immunologie - Parasitologie

C : Bâtiment commun

D : Microbiologie - Hématologie

E : Physiologie - Histologie

F : Anatomie / Ana pathologique

G : Salle de TD

H : Administration

J : Quatre salles de cours / TD

K : Trois amphithéâtres

L : Deux amphithéâtres

R : Logements d'astreinte

S : Bloc Stomatologie

V : Conciergerie

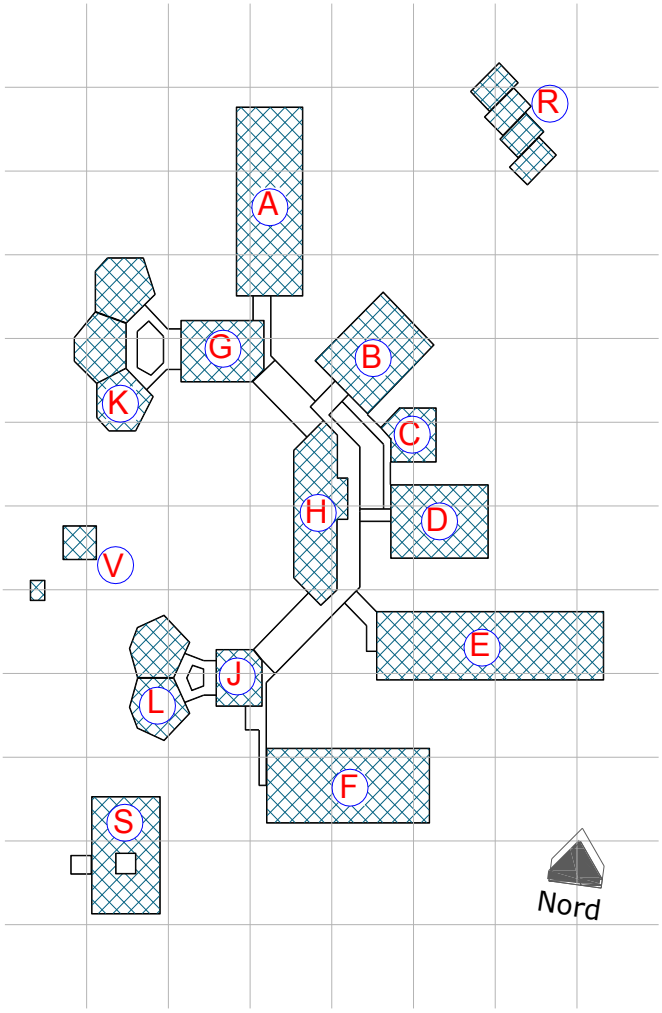


Figure 3.25 : Répartition surfacique par bloc du centre biomédical et de la clinique de chirurgie dentaire.

Source : Archives du service des moyens généraux de la faculté des sciences médicales / Auteur.

III-4. 5. Matériaux et techniques constructives

Après dépouillement de divers documents d'archives (pièces graphiques, contrats, avenants au contrat, cahier des prescriptions spéciales, rapports descriptifs et quantitatifs…etc.) et à la suite d'observations effectuées in-situ, nous avons pu constater la nature à la fois de la structure portante, de l'enveloppe des bâtiments, des ouvertures et de l'isolation.

Il est par ailleurs important de préciser que dans le contrat signé entre la wilaya de Tizi-Ouzou (Maitre de l'ouvrage) et l'Entrepreneur (Entreprise PASCAL), il est dit que *les matériaux et produits fabriqués nécessaires à l'exécution des travaux ou fournitures devront obligatoirement provenir du pays d'origine de l'Entreprise* (France). Ce qui veut dire que la structure métallique ou les panneaux de façade en béton préfabriqué ont été acheminés de France vers le chantier.

III-4. 5. 1. Ossature

Reposant sur des plateformes en béton armé situées à des niveaux différents imposés par la topographie particulière du terrain (131.00 – 129.00 – 127.33 – 123.65 – 121.50 pour le cas des blocs A, B, D, E et F respectivement), l'ossature de l'ex Centre Biomédical est essentiellement constituée de poteaux et de poutres en acier. Les passerelles et les escaliers conçus pour permettre l'accès entre les différents blocs sont eux aussi portés par une ossature métallique.

Figure 3.26 : Ossature métallique de l'ex CBM. **Source :** Auteur

Figure 3.27 : Ossature métallique d'un escalier. **Source :** Auteur

III-4. 5. 2. Murs

III-4. 5. 2. 1. Murs de façade

Les façades sont constituées d'un assemblage de panneaux en béton préfabriqué de différents types et dimensions. Ils sont livrés avec des pièces de fixations en acier galvanisé (Equerres de liaison, Rails Halfen, Boulons tète marteau, Rondelle grower, Goujon, Ecrou…etc.). On distingue deux types de panneaux en fonction de l'épaisseur et du remplissage. Au niveau des logements d'astreinte, on retrouve des panneaux agglomérés creux de 20 cm d'épaisseur enduits de la face extérieure et munis d'une isolation dite « termipan III » de 4 cm d'épaisseur de la face intérieure. En guise

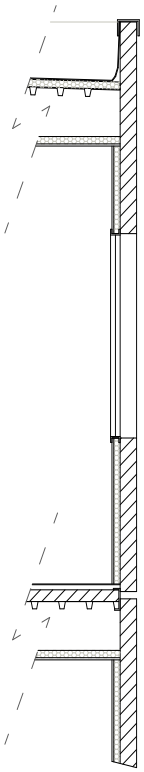


Fig 3.29 : Coupe sur mur de façade **Source :** Auteur

Fig 3.28 : Façades d'un bloc de l'ex CBM composé de panneaux en béton préfabriqué. **Source :** Auteur

Figure 3.30 : Epaisseur d'un panneau en béton préfabriqué. **Source :** Auteur

d'enveloppe pour les autres bâtiments du centre biomédical, des panneaux agglomérés pleins de 12 cm d'épaisseur dotés du même dispositif d'isolation.

III-4. 5. 2. 2. Murs de séparation

Les murs de séparation sont composés d'une ossature en éléments métalliques légers sur laquelle sont fixées de chaque coté deux fines plaques de plâtre de types BA13. L'intérieur ne contient aucun isolant ni autre remplissage.

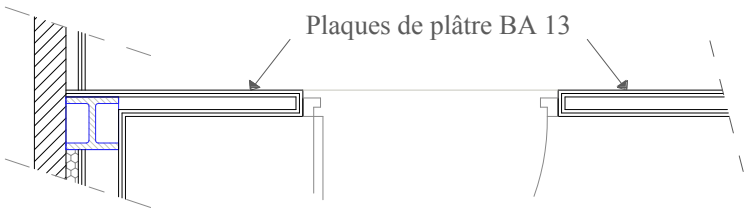


Figure 3.31 : Coupe sur mur de séparation. **Source :** Auteur

III-4. 5. 3. Planchers et toiture

Les planchers sont des dalles pleines en béton de 12 cm d'épaisseur, armées de barres HA8 et HA5, le renforcement des fibres inférieure et supérieure est garanti par des lits de treillis soudé. Le tout est accueilli par un bac en acier formant des ondulations d'une épaisseur de 5 cm qui s'appuient sur les éléments porteurs métalliques.

Les derniers niveaux sont recouverts d'une toiture soutenue par un système de poutres métalliques selon une inclinaison apparente dans un ou deux sens et ce pour une évacuation optimale des eaux pluviales. Ces toitures qui ne contiennent pas de dalle en béton, sont constituées d'un bac en tôle d'acier sur lequel sont placées des plaques de laine de verre en guise d'isolant protégées par une étanchéité formée de rouleaux de bitume. Des plaques amovibles et légères forment les faux-plafonds placés à des hauteurs qui différent selon la fonction qu'abrite le local en question.

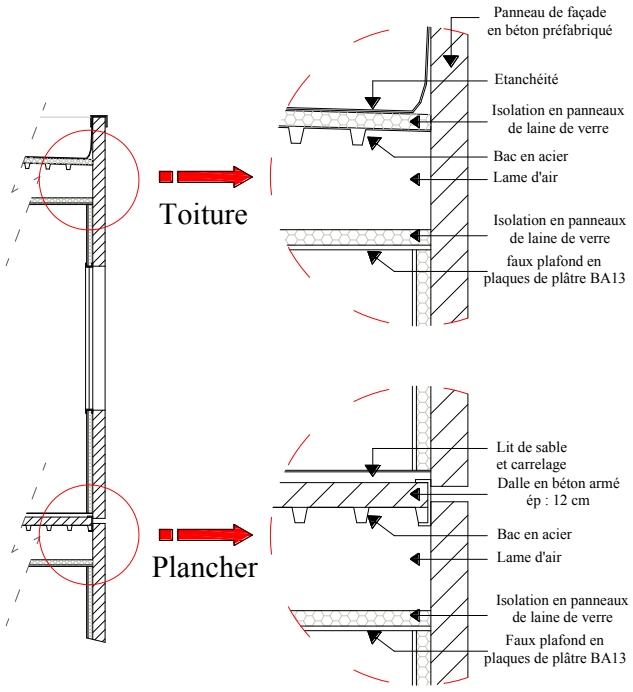


Figure 3.38 : Coupe sur toiture et plancher. **Source :** Auteur

III-4. 5. 4. Ouvertures

La structure de l'ex Centre Biomédical est équipée de portes métalliques et en bois de diverses dimensions. Par contre, les fenêtres sont toutes en aluminium à deux ouvrants coulissants. Elles mesurent 1, 40m x 1, 40m et sont dotées d'un vitrage simple et clair de 4 mm d'épaisseur. Ce type de fenêtres est réputé pour son étanchéité à l'air et à l'eau, sa résistance et sa durabilité dans le temps. Ces fenêtres sont dotées de stores en plastic détériorés pour la plupart.

Figure 3.33 : Fenêtres coulissantes en aluminium équipant les blocs de l'ex CBM. **Source :** Auteur

III-4. 5. 5. Isolation

L'isolation thermique et acoustique est garantie en grande partie grâce à la laine de verre qui équipe les toitures, les plafonds et les murs extérieurs. Elle est cependant améliorée à l'aide des plaques de plâtre de type BA13 qu'on retrouve sur les murs extérieurs et intérieurs ainsi que les plaques de faux plafonds.

Figure 3.34 : Isolation en plaques de laine de verre. **Source :** Auteur

III-5. Le bâtiment sélectionné pour l'étude

Notre choix s'est porté sur le bloc « J » en deux niveaux (R+1) abritant deux grandes salles de travaux dirigés à chaque niveau, des sanitaires et un dépôt. Il bénéficie d'une orientation Nord-Sud. Le premier niveau est accessible à partir du coté Ouest, l'étage quand à lui est accessible par le coté Est ou bien par le coté Ouest en empruntant l'escalier métallique accolé au bloc. A l'image de l'ensemble des blocs du centre bio médical, l'enveloppe est constituée d'éléments en béton préfabriqué portés par une structure métallique. Le plancher est une dalle pleine en béton armé et la toiture est composée d'éléments légers.

En somme, nous avons opté pour les deux salles de travaux dirigés sises à l'étage du bloc « J » de l'ex centre biomédical de Tizi-Ouzou pour un certain nombre de raisons, nous citons :

- Leur exposition aux conditions extérieures sans aucun obstacle physique et ce à travers trois façades et la toiture (les façades Nord, Ouest et Sud) ;
- Leur état de préservation et leur disponibilité, puisqu'il faut savoir que certaines salles susceptibles de faire objet de notre étude sont continuellement indisponibles ou bien sinistrées ;
- La diversité des éléments constructifs qu'on retrouve dans ces deux salles et leur représentativité de ce qui se trouve dans l'ensemble des blocs du centre biomédical ;
- La possibilité de comparer entre les résultats expérimentaux obtenus dans les deux salles grâce à leur similitudes physique et leur orientations opposées (Nord / Sud) ;
- l'enveloppe de l'ex centre biomédical qui est exclusivement constituée de panneaux en béton préfabriqué grâce notamment à sa structure métallique ponctuelle et l'absence de murs porteurs, le rend représentatif de ce type de structure ;

Figure 3.35 : Façades Nord et Ouest du bloc « J ». **Source :** Auteur

Figure 3.36 : Façades Sud et Ouest du bloc « J ». **Source :** Auteur

Figure 3.37 : Façades Est du bloc « J ». **Source :** Auteur

- La structure de l'ex centre biomédical est munie d'un dispositif d'isolation bien élaboré et étudié (en laine de verre et plaques de plâtre) ;
- Le caractère définitif et non provisoire du procédé de préfabrication utilisé pour la réalisation de cet établissement.

III-5. 1. Caractéristiques et dimensions

Les deux salles pour lesquelles nous avons opté ont les caractéristiques dimensionnelles résumées dans le tableau 3.8. Il faut noter que chaque salle dispose de six fenêtres coulissantes en aluminium de 1,40 m² et de deux portes d'entrée en bois de 2,07m x 0,97m.

Désignation	**Salle orientée au Nord**	**Salle orientée au sud**	**Fenêtres**	**Portes**
Longueur (m)	10, 84	10, 45	1, 40	2, 07
Largeur (m)	7, 06	7, 06	1, 40	0, 97
Hauteur (m)	3, 00	3, 00	/	/

Tableau 3.8 : Caractéristiques dimensionnelles des deux salles de travaux dirigés sélectionnées pour l'étude. **Source :** Auteur

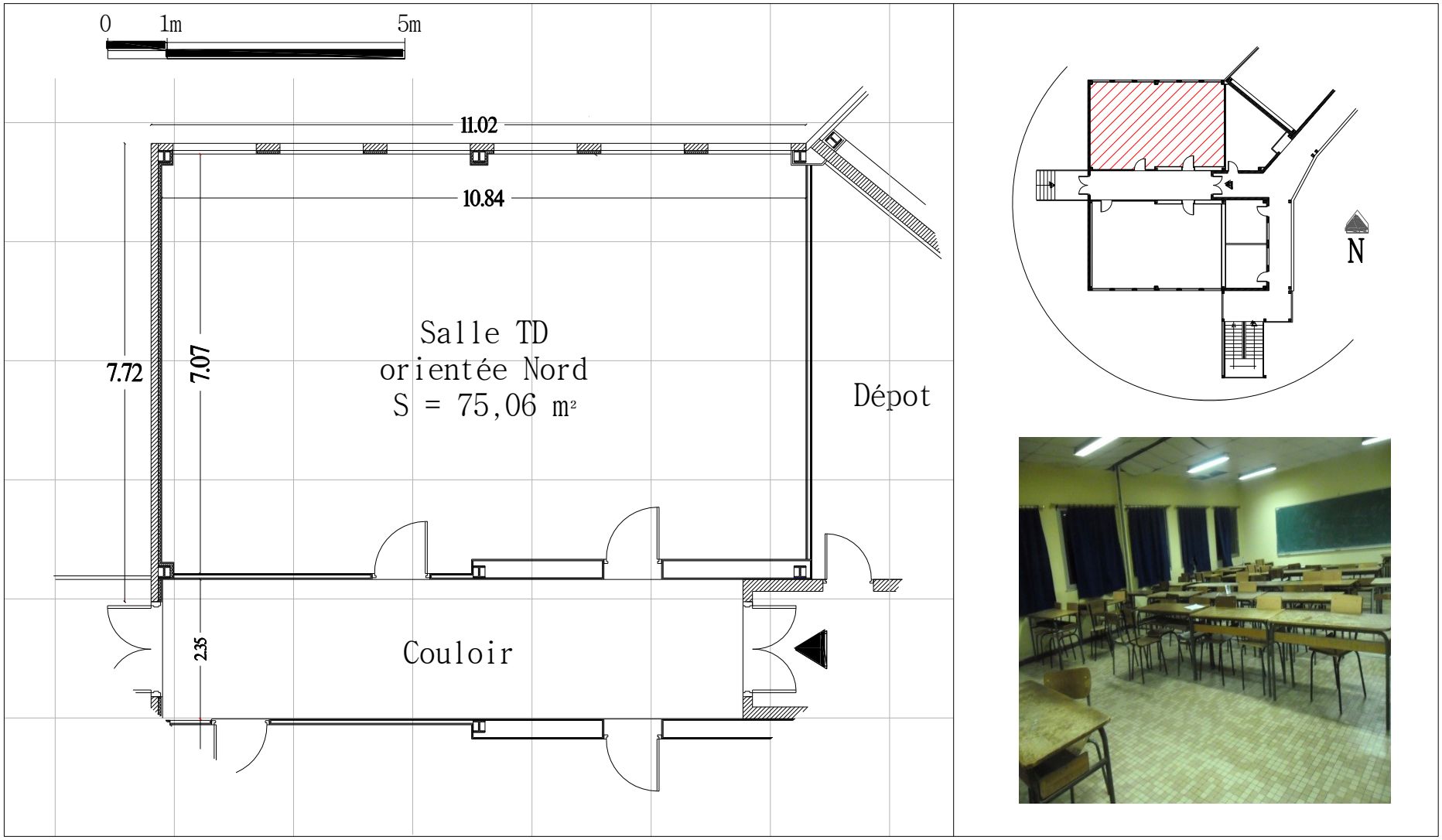


Figure 3.38 : Plan de la salle TD/Cours orientée au Nord.

Source : Auteur

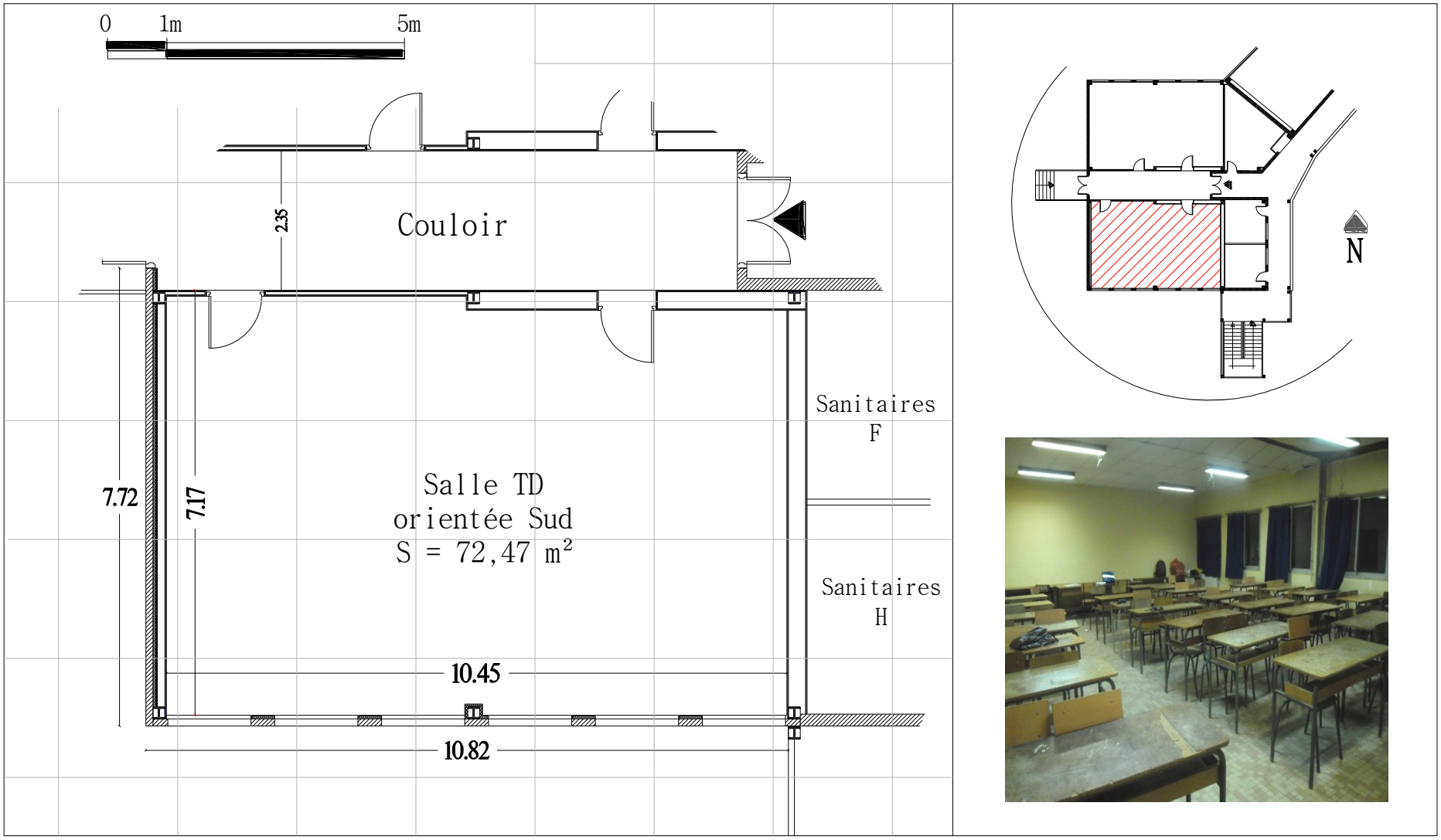


Figure 3.39 : Plan de la salle TD/Cours orientée au Sud.

Source : Auteur

Conclusion

La question principale que nous avons développée dans ce chapitre consiste à identifier et à analyser les variables climatiques qui caractérisent la région de Tizi-Ouzou, contexte global de notre étude. Ce travail revêt une importance majeure car le climat influe grandement sur le confort thermique des individus et sur le comportement de l'enveloppe des bâtiments. Les données climatiques de Tizi-Ouzou des dix dernières années, rappellent que cette région est caractérisée par un été très chaud et assez humide tandis que l'hiver y est froid et très humide. L'ensemble de son territoire bénéficie été comme hiver d'une importante durée d'insolation, et une saison des pluies qui s'étend de septembre à mai. C'est suivant les conclusions de cette analyse que nous avons opté pour les mois d'août et janvier pour effectuer nos mesures de température et d'humidité.

Une autre partie de ce chapitre est dédiée à l'identification des bâtiments comportant des panneaux de façades en béton préfabriqué se trouvant sur le territoire de la wilaya de Tizi-Ouzou. Cette étape que nous avons abordé avec beaucoup d'intérêt, permet non seulement de comprendre l'historique et les raisons de l'application des techniques de l'industrialisation au bâtiment, mais aussi de distinguer les différents types et procédés de préfabrication utilisés pour bâtir un grand nombre de cités d'habitation et d'établissements publics à Tizi-Ouzou, deux (02) résidences universitaires, deux (02) lycées, un (01) établissement universitaire et une dizaine de cités d'habitation dans le seul chef-lieu de la wilaya.

A l'échelle de l'ex centre biomédical, contexte immédiat de notre l'étude, nous avons rassemblé un maximum de données concernant l'historique du projet, la fiche technique de l'entreprise réalisatrice, les principaux ouvrages et programmes surfaciques, les documents graphiques, ou encore les matériaux et les techniques constructives. Toutes ces données, seront utilisées, lors de l'étude du confort thermique de ces locaux, objet du prochain chapitre.

ETUDE DU CONFORT THERMIQUE DANS UN CAS DE CONSTRUCTION EN BETON PREFABRIQUE

CHAPITRE

4

IV-1. Approche expérimentale par mesures thermo-hygrométriques in-situ

Il est à la connaissance de tous que l'enveloppe est le lieu des échanges thermiques entre l'intérieur d'un local et l'environnement extérieur. C'est à travers son épaisseur que transite la chaleur dans un sens ou dans un autre, créant parfois des sensations d'inconfort lorsque ces échanges sont excessifs. C'est donc sur les caractéristiques de cet élément clé de la construction qu'il faut agir pour prendre en charge et traiter les problèmes de confort thermique.

Cette question, nous l'avons abordée par une première approche de type expérimental. Parmi la multitude d'équipements publics et de cités d'habitation comportant des panneaux de façade en béton préfabriqué érigés sur le territoire de la Wilaya de Tizi-Ouzou, nous avons retenu l'établissement de l'ex centre biomédical. Nous y avons mené une campagne de mesures de température et d'humidité durant les deux journées du 25 Janvier 2014 et du 16 Août 2014 en procédant au relevé heure par heure des températures et des humidités relatives de l'air ambiant à l'intérieur et extérieur du bâtiment.

Cette campagne de mesures réalisée in-situ, vise à mettre en évidence, dans un premier temps, les performances ou carences de l'enveloppe des locaux étudiés. Les données récoltées seront consignées dans des tableaux et traduites sous forme de graphiques. Ces résultats seront exploités en second lieu dans les bilans thermiques pour localiser, dans l'enveloppe du bâtiment, les raisons des éventuelles anomalies thermiques.

IV-1. 1. Conditions de déroulement des mesures

Dans le but d'obtenir des résultats optimaux et fiables, nous avons préalablement mis en place un protocole d'étude qui repose sur un certain nombre de conditions, voici quelques unes :

- Sur les six (6) fenêtres qui équipent chaque salle, deux seulement resteront légèrement entrouvertes pour garantir un minimum d'aération, les quatre autres seront fermées. Par ailleurs, ces fenêtres seront occultées à l'aide de rideaux en tissus épais pour réduire ou éliminer les apports solaires à travers le vitrage.
- Ces mesures seront réalisées durant deux journées de week-end (Samedi 25 Janvier et Samedi 16 Août 2014) en raison de l'absence des occupants et la non-mise en marche des systèmes de chauffage ou de climatisation.

- Le bloc choisi pour l'étude est dépourvu de masques environnementaux pouvant diminuer le rayonnement solaire et comporte deux salles situées au même niveau, ayant les mêmes caractéristiques et dimensions, orientées l'une au nord et l'autre au sud et dotées d'une toiture et d'un plancher intermédiaire (situées au dernier étage).
- Au cours de ces vingt quatre (24) relevés de températures et d'humidités réalisés vingt quatre (24) heures durant, les appareils de mesures sont placés au milieu de chaque salle à une hauteur de 1, 50 m. A l'extérieur, les appareils de mesures sont protégés des rayonnements solaires et des aléas climatiques comme le vent ou la pluie.

IV-1. 2. Appareils de mesure utilisés

Durant cette première étape de l'étude, il été question pour nous de mesurer les deux facteurs climatiques ayant le plus d'impact sur le confort thermique, à savoir la température de l'air ambiant en C° et l'humidité relative en %. Pour ce faire, nous nous sommes procuré les appareils représentés dans le tableau ci-contre qui sont professionnels et fiables. Il s'agit précisément d'un thermomètre à sonde de marque HANNA modèle HI935005 et d'un Thermo-hygromètre à sonde de marque CONTROLAB.

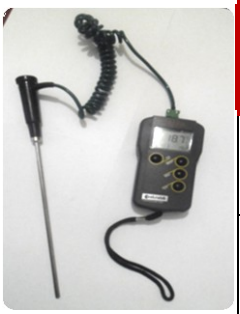
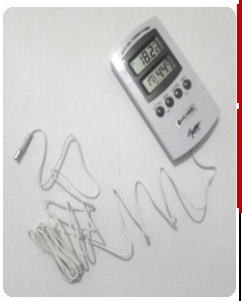
Appareils de mesure		Types de mesures
Thermomètre à sonde HANNA HI935005		Température de l'air (C°)
		Humidité relative (%)
		Température de surface (C°)
Thermo-hygromètre à sonde CONTROLAB		Température de l'air (C°)
		Humidité relative (%)
		Température de surface (C°)

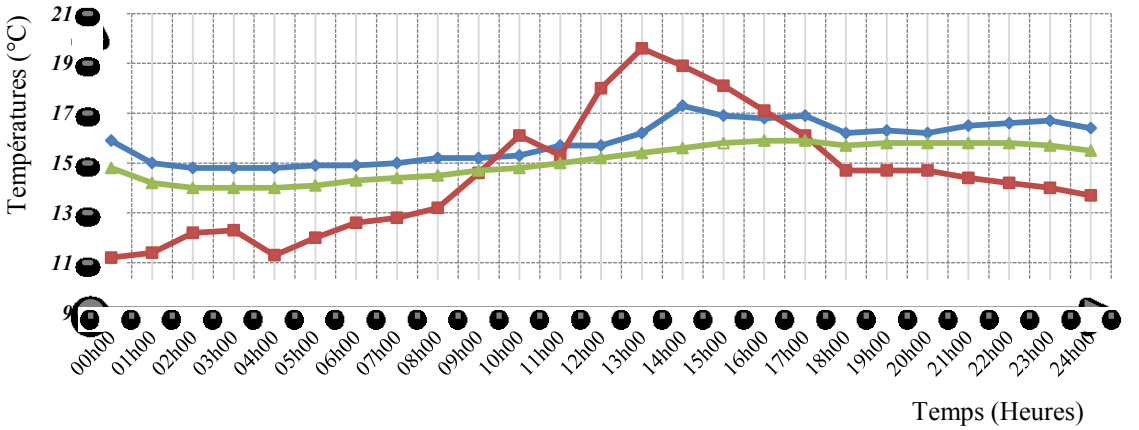
Tableau 4.1 : Appareils utilisés pour les mesures de température et d'humidité. **Source :** Auteur.

IV-1. 3. Campagne de mesure

Les températures de l'air ambiant et les humidités relatives relevées lors de la campagne de mesures que nous avons accomplie à l'intérieur et à l'extérieur des locaux étudiés sont consignées et représentées sous forme de graphiques dans les tableaux suivants.

IV-1. 3. 1. Mesures réalisées durant la saison hivernale en date du 25 Janvier 2014

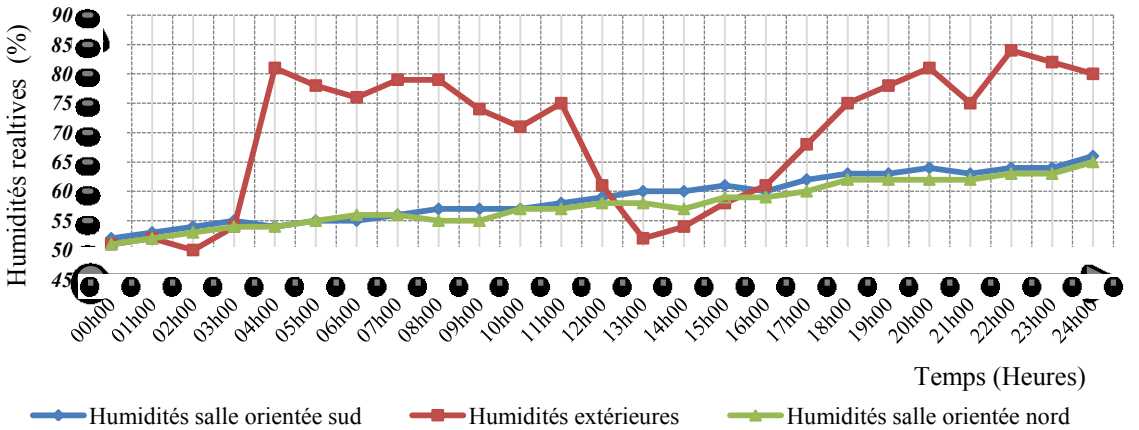
IV-1. 3. 1. 1. Les températures de l'air ambiant



	00H00	01H00	02H00	03H00	04H00	05H00	06H00	07H00	08H00	09H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00	15H00	16H00	17H00	18H00	19H00	20H00	21H00	22H00	23H00	24H00
(C°) Salle Nord	14.8	14.2	14.0	14.0	14.0	14.1	14.3	14.4	14.5	14.7	14.8	15.0	15.2	15.4	15.6	15.8	15.9	15.9	15.7	15.8	15.8	15.8	15.8	15.7	15.5
(C°) Salle Sud	15.9	15.0	14.8	14.8	14.8	14.9	14.9	15.0	15.2	15.2	15.3	15.7	15.7	16.2	17.3	16.9	16.8	16.9	16.2	16.3	16.2	16.5	16.6	16.7	16.4
(C°) Extérieur	11.2	11.4	12.2	12.3	11.3	12.0	12.6	12.8	13.2	14.6	16.1	15.3	18.0	19.6	18.9	18.1	17.1	16.1	14.7	14.7	14.7	14.4	14.2	14.0	13.7

Tableau 4.2. Variation de la température à l'extérieur et à l'intérieur des salles orientées nord et sud en hiver. **Source :** Auteur.

IV-1. 3. 1. 2. Les humidités relatives



	00H00	01H00	02H00	03H00	04H00	05H00	06H00	07H00	08H00	09H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00	15H00	16H00	17H00	18H00	19H00	20H00	21H00	22H00	23H00	24H00
(HR %) Salle Nord	51	52	53	54	54	55	56	56	55	55	57	57	58	58	57	59	59	60	62	62	62	62	63	63	65
(HR %) Salle Sud	52	53	54	55	54	55	55	56	57	57	57	58	59	60	60	61	60	62	63	63	64	63	64	64	66
(HR %) Extérieure	51	52	50	54	81	78	76	79	79	74	71	75	61	52	54	58	61	68	75	78	81	75	84	82	80

Tableau 4.3. Variation de l'humidité relative à l'extérieur et à l'intérieur des salles orientées nord et sud en hiver. **Source :** Auteur.

IV-1. 3. 1. 3. Lecture des résultats

Au vu des courbes de températures, le climat à l'intérieur de la salle orientée Nord n'est pas très différent de celui de la salle orientée au Sud. Toutefois, la température est légèrement supérieure dans la salle exposée au soleil. Nous avons enregistré, pour la salle nord un maximum de 15.9 C° entre 16h et 17h et un minimum de 14.0 C° entre 2h et 4h ; tandis que pour la salle orienté au sud, le maximum est 17.3 C°, atteint à 14h, et le minimum est à 14.8 C° entre 2h et 4h. Pour cette journée, la courbe des températures extérieures est de type oscillatoire, atteignant un maximum de 19.6 °C à 13h, et un seuil minimal de 11.3 °C à 4h du matin.

Les mesures d'humidité relative effectuées ce jour du 25 janvier 2014 à l'extérieur sont marquées par trois phases, en relation directe avec l'évolution de la température de l'air. La première phase de 4h à 11h du matin est caractérisée par de forts taux d'humidité ; la seconde est à tendance baissière et concerne l'intervalle horaire 11h–18h ; la dernière de 18h et 24h est caractérisée de nouveau par une importante croissance des taux d'humidité en raison de la baisse de la température. Le taux le plus bas à l'extérieur 50 % est enregistré à 2h et le taux le plus élevé 84 % est mesuré à 22h soit une amplitude de 34 %.

A l'intérieur des deux salles, les taux d'humidité relative enregistrés, en relation avec l'évolution de la température à l'intérieur des salles, sont très proches, les courbes correspondantes se confondant à plusieurs moments de la journée. Ces taux varient entre 52 % et 65 % pour la salle orientée au nord et entre 53 % et 66 % pour la salle orientée au sud : l'amplitude des variations journalières de l'humidité interne est faible, de l'ordre de 10 % dans les deux salles, contrairement aux taux d'humidité externes.

La lecture comparée des graphiques de la température et de l'humidité montre des évolutions opposées. En effet, lorsque la température atteint ses niveaux les plus hauts, l'humidité affiche ses plus bas niveaux et vice-versa. Cependant, les températures et les humidités à l'intérieur des salles ne subissent pas de grandes variations au cours de la journée et semblent ne pas être grandement affectées par les conditions extérieures ; ce qui dénote de la bonne isolation relative du bâtiment.

IV-1. 3. 1. 4. Analyse et interprétation préliminaires des résultats

Le fait que la température et l'humidité intérieures connaissent une évolution lente et régulière au moment où elles subissent de grandes variations à l'extérieur, signifie un bon comportement thermique de l'enveloppe des locaux étudiés. Ainsi, l'amplitude journalière

des températures, 2.5 C° pour la salle orientée au sud et 1.9 C° pour la salle orientée au nord, est peu significative et n'est pas sensée générer une sensation d'inconfort considérable. De plus, la température moyenne dans les salles en hiver (15.1 C° et 15.8 C°) n'est pas très éloignée de la température de confort souhaitée en hiver (21 C°). Dans ces conditions, l'usage d'un système de chauffage d'appoint sera limité à ne compenser qu'une différence de 5.9 C° dans la salle orientée au nord et 5.2 C° pour la salle sud.

Les deux salles objet de l'étude sont caractérisées par une importante surface vitrée (6 fenêtres de 1, 40 x 1, 40 m², soit 11, 76 m² chacune). Cependant, ces ouvertures placées sur les façades Nord et Sud des salles ne permettent pas de bénéficier des apports solaires de la matinée et fin de journée.

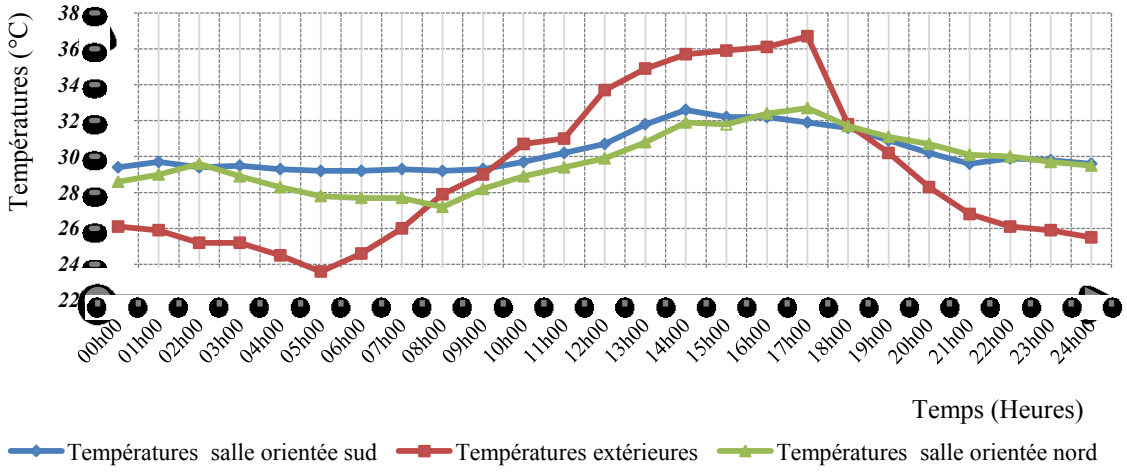
Constitué de panneaux de laine de verre et de plaques de plâtre, le dispositif d'isolation thermique appliqué à cet établissement s'avère plutôt satisfaisant. Cependant, l'isolation n'explique pas seule la stabilité du climat dans les salles, un autre facteur joue un rôle tout aussi déterminant : son inertie thermique. Les parois de cet établissement préfabriqué, alourdies par le béton, ont une forte inertie thermique ; elles jouent un rôle de stockage et permettent de réguler la température à l'intérieur des salles en réduisant les écarts avec le milieu extérieur. En effet, plus l'inertie d'un bâtiment est forte, plus il se réchauffe et se refroidit lentement. En hiver, le béton absorbe la chaleur de la journée et la restitue la nuit, par conduction. C'est ce qui explique les courbes de température à l'intérieur des salles, écrêtées et dépourvues des pics de froid. Toutefois, l'isolation intérieure ne laisse pas profiter pleinement de l'inertie thermique en freinant quelque peu son effet ; ce qui se traduit par une faible augmentation de la température en début de nuit.

La toiture est l'un des compartiments de l'enveloppe du bâtiment les plus exposés aux conditions extérieures ; c'est à travers elle que se produit une bonne partie des échanges thermiques entre les ambiances intérieure et extérieure. Les deux salles, objet de notre étude, sont couvertes d'une toiture légère, sans béton et munie de deux couches d'isolant en laine de verre séparées par une lame d'air de grande épaisseur. La grande résistance thermique de la couverture a contribué, malgré sa faible inertie thermique, à la bonne tenue thermique du bâtiment en réduisant les déperditions calorifiques vers l'extérieur.

Les niveaux d'humidité ne subissent pas de grandes variations dans les salles et demeurent dans la zone de confort tout au long de la journée en raison de la bonne isolation thermique du bâtiment et des faibles variations de la température à l'intérieur des salles.

IV-1. 3. 2. Mesures réalisées durant la saison estivale en date du 16 août 2014

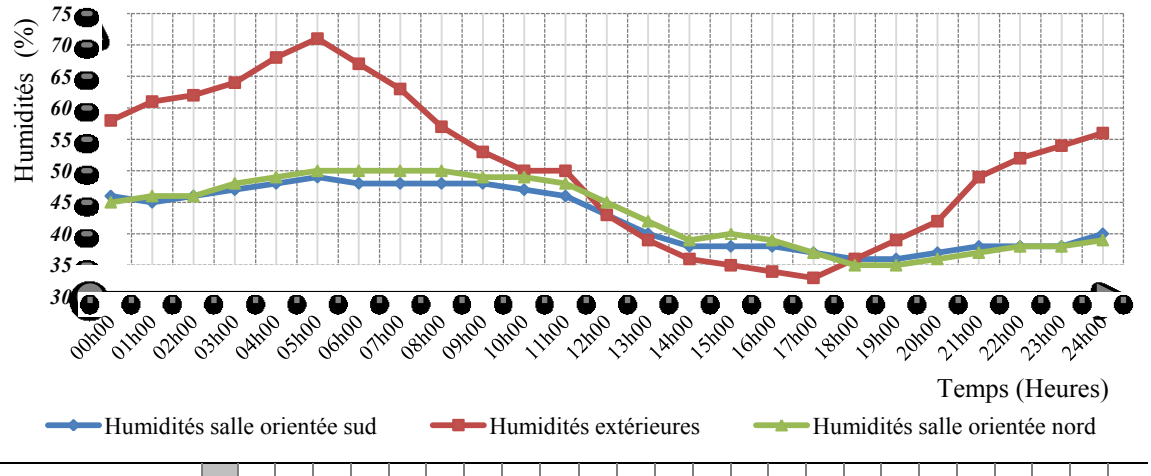
IV-1. 3. 2. 1. Les températures de l'air ambiant



	00H00	01H00	02H00	03H00	04H00	05H00	06H00	07H00	08H00	09H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00	15H00	16H00	17H00	18H00	19H00	20H00	21H00	22H00	23H00	24H00
(C°) Salle Nord	28.6	29.0	29.6	28.9	28.3	27.8	27.7	27.7	27.2	28.2	28.9	29.4	29.9	30.8	31.9	31.8	32.4	32.7	31.7	31.1	30.7	30.1	30.0	29.7	29.5
(C°) Salle Sud	29.4	29.7	29.4	29.5	29.3	29.2	29.2	29.3	29.2	29.3	29.7	30.2	30.7	31.8	32.6	32.2	32.2	31.9	31.6	30.9	30.2	29.6	29.9	29.8	29.6
(C°) Extérieur	26.1	25.9	25.2	25.2	24.5	23.6	24.6	26.0	27.9	29.0	30.7	31.0	33.7	34.9	35.7	35.9	36.1	36.7	31.8	30.2	28.3	26.8	26.1	29.6	29.4

Tableau 4.4. Variation de la température à l'extérieur et à l'intérieur des salles orientées nord et sud en été. **Source :** Auteur.

IV-1. 3. 2. 2. Les humidités relatives



	00H00	01H00	02H00	03H00	04H00	05H00	06H00	07H00	08H00	09H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00	15H00	16H00	17H00	18H00	19H00	20H00	21H00	22H00	23H00	24H00
(HR %) Salle Nord	45	46	46	48	49	50	50	50	50	49	49	48	45	42	39	40	39	37	35	36	36	37	38	38	39
(HR %) Salle Sud	46	45	46	47	48	49	48	48	48	48	47	46	43	40	38	38	38	37	36	36	37	38	38	38	40
(HR %) Extérieure	58	61	62	64	68	71	67	63	57	53	50	50	43	39	36	35	34	33	36	39	42	49	52	54	56

Tableau 4.5. Variation de l'humidité relative à l'extérieur et à l'intérieur des salles orientées nord et sud en été. **Source :** Auteur.

IV-1. 3. 3. Lecture des résultats

En période estivale, les températures extérieures sont assez élevées, elles ont atteint un maximum de 36.7 C° à l'ombre lors de cette journée du 16 août 2014. Les températures mesurées à l'intérieur des salles sont également très élevées et se situent autour de 30 C°. Ainsi, nous avons enregistré un maximum de 32.7 C° dans la salle nord à 17h et un minimum de 27.2 C° à 8h tandis que dans la salle orientée au sud la température la plus élevée 32.6 C° a été mesurée à 14h et la plus basse 29.2 C° à 5h. Les températures mesurées dans les deux salles, très proches voir égales à certains moments, évoluent lentement au cours de la journée à l'exception de l'après midi où elles subissent une légère augmentation.

En observant la courbe représentative des 24 mesures d'humidités extérieures effectuées ce même jour, on constate comme pour la période hivernale, qu'elle est constituée de trois phases. La première phase, ascendante, s'étale de minuit à 5h du matin, heure coïncidant avec un sommet à 71 % ; la seconde phase commence juste après avec une diminution lente et régulière pour atteindre 33 % à 17h. La dernière phase est une remontée du taux d'humidité relative jusqu'à 56 % atteint à minuit. Les valeurs de l'humidité évoluent en sens inverse de la température extérieure et se situent entre 35 % et 50 % pour le cas de la salle orientée au nord et entre 36 % et 49 % dans la salle orientée au sud.

Les amplitudes des températures (5.5 C° pour la salle nord et 3.4 C° pour la salle sud) et du taux d'humidité (15 % pour la salle nord et 13 % pour la salle sud) ne sont pas très importantes et ne peuvent donc constituer une source d'inconfort thermique à l'inverse du niveau des températures en été.

IV-1. 3. 4. Analyse et interprétation préliminaires des résultats

Contrairement à la période hivernale où les températures observées à l'intérieur des deux salles étudiées sont assez proches de la température de confort (21.0 C°, selon le DTR), celles que nous avons relevées en saison estivale sont hautes et considérablement éloignées de la température de confort exigée dans ce type d'établissement (24.0 C°, selon le DTR). En conséquence, et dans le cas précis de notre bâtiment, l'usage d'un dispositif d'appoint pour la climatisation des salles s'imposerait grandement.

En période estivale, les apports calorifiques dans un bâtiment peuvent être d'origine multiple et sont souvent complexes à appréhender. Les rayons solaires, les occupants ou

encore l'éclairage sont autant d'éléments à l'origine de ces apports alors que les parois opaques et les surfaces vitrées, entre autres, sont les lieux de transit de la chaleur. Il est, par conséquent, toujours difficile de cerner à priori et avec exactitude l'origine d'une éventuelle surchauffe d'un bâtiment avant d'en avoir fait un bilan thermique exhaustif. C'est ce que nous envisageons de faire dans la suite de cette étude pour comprendre et analyser l'origine de la surchauffe constatée à l'intérieur des deux salles.

IV-1. 4. Synthèse

A la lumière des investigations menées sur le terrain, nous pouvons conclure en premier lieu et avant tout que la source d'inconfort thermique dans les salles est liée à la valeur inappropriée des températures. En effet, aussi bien pour la journée d'hiver que pour l'été, elles sont situées totalement à l'extérieur de la zone de confort.

Le faible déphasage thermique constaté prouve que l'enveloppe en panneaux de béton préfabriqué de la structure étudiée a une inertie thermique relativement faible. Cependant, la bonne isolation thermique de ces panneaux permet de protéger en partie le bâtiment des excès thermiques externes surtout pendant la période hivernale. En été, cela ne suffit pas cependant pour parvenir à des températures raisonnables et l'usage d'un système de rafraichissement d'appoint devient être impératif et important ; à l'inverse, le niveau des températures en hiver laisse penser que l'énergie de chauffage de ces locaux devrait être raisonnable.

Des températures trop élevées ou très basses ou des fluctuations importantes engendrent inévitablement une sensation d'inconfort thermique pour l'homme. Lorsque les taux d'humidité relative sont inadéquats, cet inconfort devient encore plus grave. Fort heureusement, les taux d'humidité relative mesurés dans notre bâtiment sont tous situés dans l'intervalle dit de confort.

IV-2. Bilans thermiques en périodes estivale et hivernale

Dans cette seconde phase de l'étude pratique du confort thermique dans les constructions en béton préfabriqué, nous nous pencherons sur la question de savoir si la composition de l'enveloppe d'un bâtiment conçu à l'aide de ce système constructif - panneaux en béton préfabriqué - offre des conditions thermiques appréciables ou, au contraire, implique l'installation exagérée d'appareils d'appoint. Dès lors, une étude des échanges calorifiques entre ces locaux et le milieu extérieur s'impose. Le schéma ci-dessous résume ces modes de transferts thermiques.

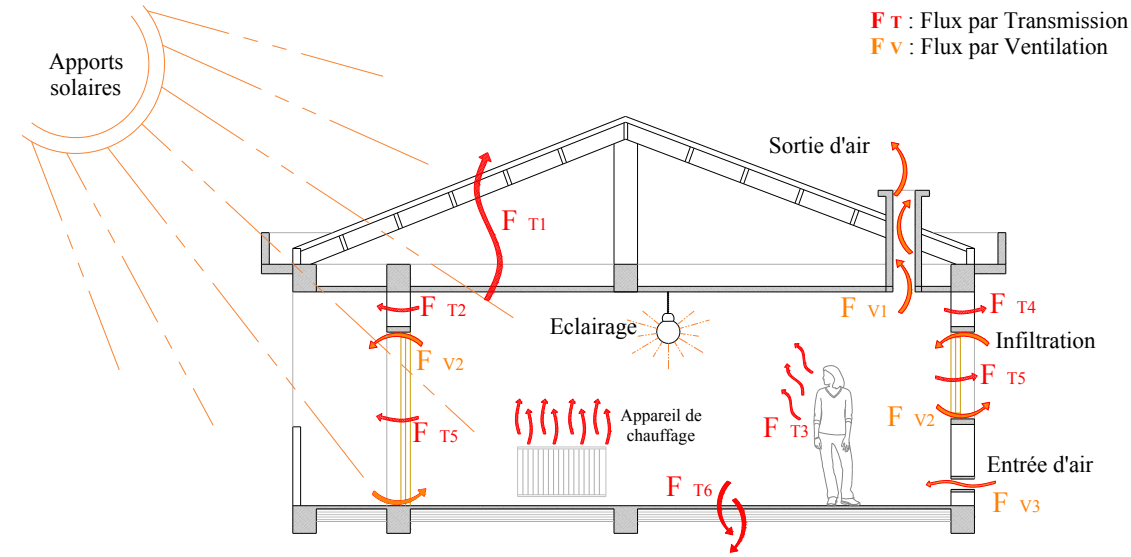


Figure 4.1. Modes d'échange de chaleur dans un local. **Source :** Auteur

Le phénomène de transfert thermique est complexe, nous sommes contraints de nous enquérir au préalable d'une multitude de paramètres en procédant à la reconnaissance des lieux. En effet, dans le souci de bien préparer cette étude, une nomenclature a été dressée en annexe ; elle comprend les dimensions des locaux, la nature des éléments constituants, les différentes parois et leurs dimensions, la nature et les dimensions des ouvertures (portes et fenêtres), etc.

Nous nous sommes reportés pour cette étude, à un certain nombre de documents officiels ou professionnels de référence servant aux calculs thermiques des bâtiments, et principalement les Documents Techniques Réglementaires élaborés par un collectif de chercheurs et de spécialistes Algériens fixant les règles de calcul des déperditions et des apports calorifiques des bâtiments.

Pour une meilleure analyse, les bilans doivent être faits en régime transitoire en raison des fortes variations de la température et de l'humidité à l'extérieur, et en tenant compte des mouvements de l'air. Cependant, dans notre cas, nous nous sommes restreints au régime permanent pour des raisons de stratégie et de simplification de l'étude.

IV-2. 1. Bilan thermique en période hivernale

Nous avons procédé, dans un premier temps, à l'établissement d'un bilan thermique en période hivernale afin de déterminer la quantité de calories perdues par transmission à travers les parois verticales et horizontales et par renouvellement d'air dues aux infiltrations à travers les joints des portes et fenêtres. Ces déperditions seront comparées aux déperditions de références pour vérifier leur compatibilité et seront analysées dans le but de localiser les compartiments de l'enveloppe qui présentent des insuffisances et qui causent les pertes les plus élevées.

IV-2. 1. 1. Déperditions par transmission

IV-2. 1. 1. 1. Déperditions par transmission surfacique

Les parois constituent l'une des parties du bâtiment où les transferts thermiques sont les plus présents. Le flux d'énergie s'échappe vers l'extérieur à travers l'épaisseur des ces parois en suivant différents chemins :

- **A travers les murs :** A travers les couches qui constituent son épaisseur, le mur transmet la chaleur par conduction, souvent de l'intérieur vers l'extérieur du bâtiment ou des locaux chauffés vers les moins chauffés ou non chauffés. Par convection, le vent accentue cet échange thermique à la surface extérieure du mur.
- **A travers les fenêtres :** Elles sont responsables d'une bonne partie des déperditions de chaleur vers l'extérieur du bâtiment. Par conduction, la vitre transmet la chaleur à travers son épaisseur. Cette déperdition est accélérée par convection avec l'effet du vent. Une partie de l'énergie est cédée de l'intérieur vers l'extérieur par rayonnement à travers le vitrage.
- **A travers la toiture :** De l'énergie s'échappe à travers la toiture par conduction et par convection comme pour le cas des murs.
- **A travers le plancher :** Par conduction, le bâtiment cède de la chaleur vers le sol à travers l'épaisseur de la dalle. Il n'y a d'échanges convectifs que lorsque la dalle est

située sur un vide sanitaire ventilé ou, lorsqu'il s'agit d'un plancher intermédiaire situé au dessus de pièces moins chauffées ou non chauffées.

Le flux de déperdition par transmission à travers une paroi (en W) s'écrit :

$$\Phi S = K.S.(T_{int} - T_{ext})$$

(Equation 4.1.)

Φs : Charge calorifique cédée par transmission surfacique (en W) ;
K : Coefficient de transmission surfacique (en W/m². °C) ;
Tint – Text : Différence de température (en °C) ;
S : Surface de la paroi (en m²).

IV-2. 1. 2. Déperditions par transmission linéique

Connus sous l'appellation de ponts thermiques linéaires, les cas les plus importants sont selon le DTR C 3-2 de trois types :

- Les liaisons entre un mur et une menuiserie extérieure ;
- Les liaisons de deux parois extérieures ;
- Les liaisons entre une paroi intérieure et une paroi extérieure (refend/façade, cloison/façade, plancher/façade).

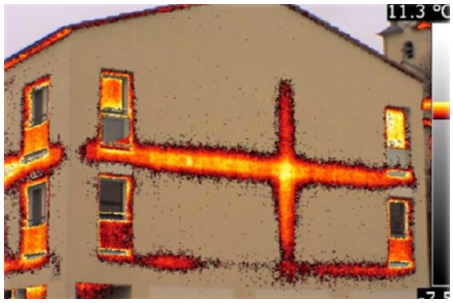


Figure 4.2. Thermographie faisant apparaitre les ponts thermiques. **Source :** Le Centre Technique de la Thermographie Appliquée au Bâtiment (http://www.ctta.fr/)

Ces déperditions sont exprimées par la relation suivante (en W) :

$$\Phi_L = k.L.\Delta T$$

(Equation 4.2.)

Φ_L **:** Charge calorifique cédée par transmission linéique (en *W*) ;
k **:** Coefficient de transmission linéique (en *W/ m². °C*) ;
L**:** La longueur de la liaison (en *m*) ;
ΔT **:** Différence de température (en *°C*).

IV-2. 1. 2. 1. Déperdition à travers les liaisons du mur extérieur et les menuiseries

Selon le DTR C 3-2, le coefficient de transmission thermique (*k*) pour le cas des déperditions par transmission linéique à travers les liaisons avec les menuiseries est nul (*k* = 0) lorsque l'isolation et la fenêtre sont placées à la face intérieure de la paroi. Cette situation s'applique à notre cas d'étude.

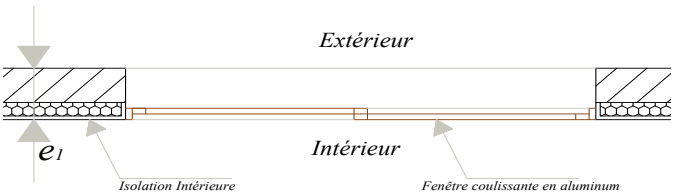


Figure 4.3. Dispositif d'isolation et fenêtres appliqués de l'intérieur.
Source : Auteur.

Figure 4.4. Dispositif d'isolation et fenêtres appliqués de la face intérieure des parois de façade faculté des sciences médicales -UMMTO.
Source : Auteur.

IV-2. 1. 2. 2. Déperdition à travers les liaisons de deux parois extérieures

Les deux salles que nous avons étudiées contiennent chacune un angle formé de deux parois extérieures. Ces dernières sont formées de panneaux préfabriqués en béton dotés d'une isolation appliquée de la face intérieure. Selon le DTR C 3-2, le coefficient de transmission thermique (k) est nul dans ce cas précis. Autrement dit, il n y'a pas de déperditions calorifiques par transmission linéaire à travers cet angle.

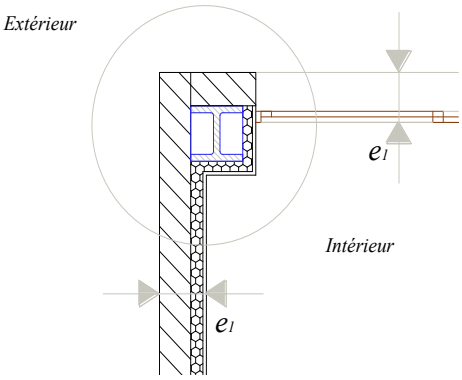


Figure 4.5. Vue en plan sur l'angle formé par deux parois extérieures. **Source :** Auteur.

IV-2. 1. 2. 3. Déperdition à travers les liaisons entre une paroi intérieure et une paroi extérieure (refend/façade, cloison/façade, plancher/façade)

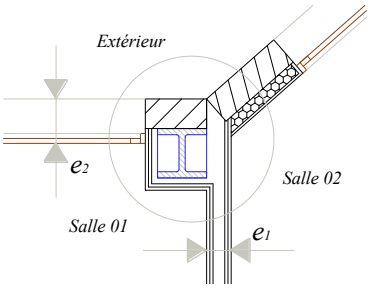


Figure 4.6. Mur intérieur à isolation intérieure non coupée par la paroi intérieure.
Source : Auteur.

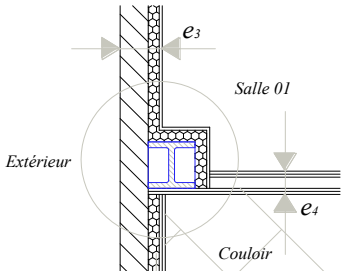


Figure 4.7. Deux parois extérieures à isolation intérieures formant angle.
Source : Auteur.

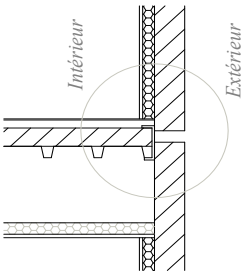


Figure 4.8. Liaison entre une paroi extérieure à isolation intérieure et le plancher.
Source : Auteur.

Il y a dans les deux salles trois types de liaisons entre les parois extérieures et intérieures. Elles sont représentées par les vues en plan et en coupe ci-dessus.

IV-2. 1. 3. Déperditions par infiltration et renouvellement d'air à travers les fenêtres

Lorsqu'il y a une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur ou une différence de pression due au vent, une infiltration d'air survient en se déplaçant des zones chaudes vers les zones froides et des zones de haute pression vers les zones de basse pression. Les infiltrations d'air peuvent être constatées au niveau :

- Des châssis de fenêtres : ces pertes représentent en moyenne 20 % de l'ensemble des infiltrations, jusqu'à 75 % pour les châssis les moins performants ;
- Des raccords entre les éléments de la construction : façade/toiture, façade/plancher, façade/mur intérieur, etc. ;

- Des percements : passage de conduites, portes, caissons de volets, etc. ;
- Des raccords entre les menuiseries et les maçonneries : ces déperditions représentent en moyenne 40 % des pertes à travers l'ensemble des joints de menuiserie.[167]

La formule ci-dessous exprime les pertes dues aux infiltrations par les joints des fenêtres et des portes donnant vers l'extérieur (en W).

$$\Phi_{inf} = f_i . l_i . \Delta T$$

(Equation 4.3.)

Φ_{inf} **:** Charge calorifique cédée par infiltration (en *W*) ;
f_i **:** Coefficient de déperdition par infiltration (en *W/ m. °C*) ;
l_i **:** Longueur du joint (en m^2) ;
ΔT **:** Ecart de température entre l'intérieur et l'extérieur (en *°C*).

IV-2. 1. 3. Vérification et déperditions de référence

IV-2. 1. 3. 1. Vérification réglementaire

Les déperditions par transmission Φ_t des locaux doivent vérifier :

$$\Phi_t \leq 1{,}05 \text{ x } \Phi_{réf}$$

(Equation 4.4.)

Φ_t : Représente les déperditions par transmission des locaux (en W/°C) ;
$\Phi_{réf}$: Représente les déperditions de référence (en W/°C).

IV-2. 1. 3. 2. Calcul des déperditions de référence

Les déperditions de référence $\Phi_{réf}$ (en W/°C) sont calculées par la formule suivante :

$$\Phi_{réf} = a \text{ x } S_1 + b \text{ x } S_2 + c \text{ x } S_3 + d \text{ x } S_4 + e \text{ x } S_5 \quad \ldots. \textit{(Equation 4.5.)}$$

Les Si (en m²) représentent les surfaces des parois en contact avec l'extérieur, un comble, un vide sanitaire, un local non chauffé ou le sol. Elles concernent respectivement S_1 la toiture, S_2 le plancher bas y compris les planchers bas sur locaux non chauffés, S_3 les murs, S_4 les portes, S_5 les fenêtres et les portes-fenêtres. S_1, S_2, S_3 sont comptées de l'intérieur des locaux, S_4 et S_5 sont comptées en prenant les dimensions du pourtour de l'ouverture dans le mur. Les coefficients a, b, c, d et e, (en W/m². °C), sont donnés dans le tableau ci-dessous. Ils dépendent de la nature des locaux et de la zone climatique.

Zone (Tizi-Ouzou)	a	b	c	d	e
B	0, 90	2, 40	1, 20	3, 50	4, 50

Tableau 4.6. Coefficients donnés en fonction de a nature des locaux et de la zone climatique. **Source :** DTR C 3-2.

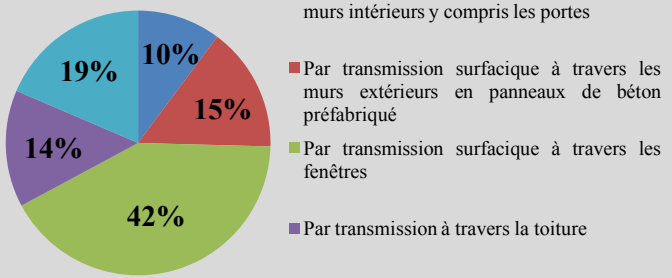
IV-2. 1. 4. Résultats et commentaires

Les résultats obtenus pour l'ensemble des déperditions thermiques sont regroupés dans le tableau ci-après.

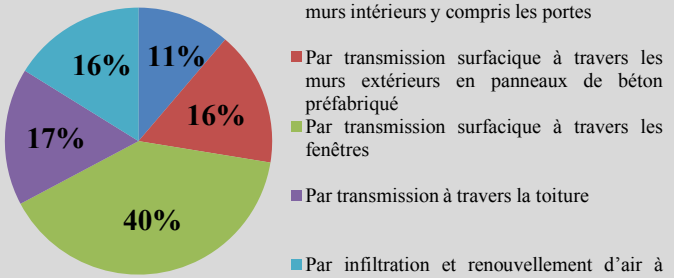
[167] Elisabeth Gratia, André de Herde « Thermique des immeubles de bureaux », UCL Presse universitaire de Louvain, 2006.

			FORMULES DE CALCUL	VALEURS (W) Salle orientée au nord	VALEURS (W) Salle orientée au sud
DEPERDITIONS THERMIQUES	PAR TRANSMISSION SURFACIQUE	A travers les murs intérieurs et portes	$\Phi S = K.S.(T_{int} - T_{ext})$	*348, 09*	*330, 67*
		A travers les murs extérieurs en panneaux de béton préfabriqué		*520, 21*	*480, 07*
		A travers les fenêtres		*1425, 55*	*1 166, 36*
		A travers le plancher		*00, 00*	*00, 00*
		A travers la toiture		*488, 12*	*480, 09*
		SOUS-TOTAL 01		*2 781, 97*	*2 457, 19*
	PAR TRANSMISSION LINEIQUE	A travers les liaisons Mur extérieur / Menuiseries	$\Phi_L = k.L.(T_{int} - T_{ext})$	*00, 00*	*00, 00*
		A travers les liaisons Paroi extérieure / Paroi extérieure		*00, 00*	*00, 00*
		A travers les liaisons Paroi intérieure / Paroi extérieure		*00, 00*	*00, 00*
		SOUS-TOTAL 02		*00, 00*	*00, 00*
	PAR INFILTRATION	Par infiltration et renouvellement d'air à travers les fenêtres	$\Phi_{inf} = f_i.l_i.(T_{int} - T_{ext})$	*634, 00*	*475, 50*
		SOUS-TOTAL 03		*634, 00*	*475, 50*
		TOTAL PAR SALLE		*3 415, 97*	*2 932, 69*
		TOTAL		*6 348. 66*	

Déperditions calorifiques - salle orientée nord- (watts)



Déperditions calorifiques - salle orientée sud - (watts)



VERIFICATION REGLEMENTAIRE $\Phi_t \leq 1{,}05 \times \Phi_{réf}$				
	DEPERDITIONS Par transmission vers l'extérieur	*2 433. 88*	*2 126. 52*	***POSITIVE***
	DEPERDITIONS DE REFERENCE	*3 307, 90*	*3 276. 39*	

Tableau 4.7. Synthèse du bilan thermique hivernal et vérification réglementaire. **Source :** Auteur.

Le bilan thermique hivernal repose sur l'évaluation des énergies perdues à travers l'enveloppe du bâtiment, par transmission à travers les parois et par renouvellement d'air. Cette étude détaillée permet de mesurer l'implication des murs de façades en panneaux de béton préfabriqué dans les déperditions globales de ces locaux.

La synthèse du bilan thermique consignée dans le tableau ci-dessus, montre que les pertes calorifiques par transmission surfacique à travers les murs de façades en panneaux de béton préfabriqué ne représentent finalement que **15 %** des déperditions totales pour la salle orientée au nord et **16 %** pour la salle orientée au sud. A l'opposé, les fenêtres sont le lieu où se produit la plus grande part des pertes avec 42 % pour la salle orientée au nord et 40 % pour la salle orientée au sud. Le reste des déperditions est ainsi réparti :

- A travers la toiture :
  - Salle orientée au nord : 14 % ;
  - Salle orientée au sud : 17 %.
- A travers les parois intérieures y compris les portes en bois :
  - Salle orientée au nord : 10 % ;
  - Salle orientée au sud : 11 %.
- Par infiltration et renouvellement d'air à travers les fenêtres :
  - Salle orientée au nord : 19 % ;
  - Salle orientée au sud : 16 %.

Dans l'éventualité d'une réhabilitation thermique de ces locaux, les murs de façades en panneaux de béton préfabriqué ne figureraient pas parmi les parties dont la qualité thermique est à améliorer en particulier. Si l'on additionne les déperditions thermiques qui se produisent au niveau des fenêtres on obtient 61 % au niveau de la salle orientée au nord et 56 % pour la salle orientée au sud ; ce qui en fait les zones les plus sensibles et celles qu'il faudrait traiter en priorité pour améliorer les performances énergétiques de ce bâtiment.

La vérification règlementaire qui ne concerne que les déperditions par transmission à travers les murs communicants avec l'extérieur montre que ces dernières sont inférieures d'environ 30 % aux déperditions de références recommandées par le D.T.R. C 3-2. En effet, ces déperditions calculées sont égales à 2 433, 88 W pour la salle orientée au nord, et 2 126, 52 W pour la salle orientée au sud tandis que les déperditions de références sont estimées à plus de 3 200 W pour chacune des deux salles.

IV-2. 2. Bilan thermique en période estivale

Etudier le bilan thermique d'un local en période estivale revient à évaluer les apports calorifiques dus à l'environnement intérieur et extérieur. Généralement, il est réalisé dans le but de déterminer la charge frigorifique susceptible d'absorber ces apports. Dans notre cas, l'objectif visé par la détermination de ces apports est de situer dans l'enveloppe du bâtiment les parties par lesquelles ils transitent en quantité. Comme nous l'avons fait pour les déperditions thermiques en période hivernale, nous avons confronté les résultats obtenus aux déperditions de références du D.T.R. C 3-4. Les apports à travers les différentes parties de l'enveloppe seront analysés afin de situer l'implication des panneaux de façades en béton préfabriqué.

En somme, le bilan thermique estival s'exprime par la relation suivante :

$$\sum \textbf{Apports extérieurs} + \sum \textbf{Apports intérieurs} = \textbf{Charge frigorifique}$$

Les apports calorifiques intérieurs sont dus aux occupants, aux appareils électriques, à l'éclairage et les apports calorifiques extérieurs sont dus au vitrage, aux infiltrations d'air extérieur, aux échanges thermiques par transmission etc.

Les gains externes seront calculés pour quatre mois (juin, juillet, août et septembre) et pour six heures de la journée (8h – 10h – 12h – 14h – 16h – 18h). L'ensoleillement maximal étant atteint pendant ces quatre mois et la durée moyenne de fonctionnement d'une éventuelle installation de climatisation est de dix heures par jour.

Quelques définitions :

Les apports ou gains calorifiques : Le D.T.R. C 3-4[168] définit les apports calorifiques d'un local comme *la somme des apports de chaleur sensible et latente, provenant d'une source intérieure ou extérieure du local, pour des conditions extérieures et intérieures déterminées, en ne tenant pas compte des apports dus à l'installation.*

Par ailleurs, **les apports calorifiques sensibles, ou gains sensibles** y sont définis comme *les apports de chaleur qui affectent directement la température sèche de l'air du local considéré.* Tandis que, les **apports calorifiques latents, ou gains latents,** *sont les apports d'humidité sous forme de vapeur d'eau qui affectent le local considéré.*

[168] C.N.E.R.I.B. (Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées en Bâtiment), 1998 « D.T.R. C 3-4, Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments », Alger.

IV-2. 2. 1. Apports calorifiques dus à l'environnement extérieur

Ces apports sont dus aux facteurs climatiques qui influencent l'environnement intérieur. Ils sont au nombre de trois, à savoir la température sèche de l'air extérieur, l'apport d'humidité de l'air extérieur et le rayonnement solaire.

Les apports externes se répartissent comme suit :

- L'apport du aux échanges thermiques par les parois extérieures ;
- L'apport du aux infiltrations de l'air extérieur ;
- L'apport du aux vitrages (Par transmission et par ensoleillement).

Il est par ailleurs important de signaler que les tables de Carrier n'offrent de données climatiques que pour les latitudes nord et sud 0°, 10°, 20°, 30°, 40° et 50°. En sachant que la ville de Tizi-Ouzou est située à la latitude 36° 42', il faudra donc procéder pour chaque opération à l'interpolation des données selon la formule suivante :

$$f(x) = f(x_0)\frac{x - x_n}{x_0 - x_1} + f(x_1)\frac{x - x_0}{x_1 - x_0}$$

IV-2. 2. 1. 1. Apports calorifiques par accumulation à travers les parois opaques

On calcule ces apports à l'heure où leur niveau le plus élevé est atteint. Ils dépendent à la fois de la différence entre les températures de l'air baignant les faces extérieures et intérieures des parois opaques et de l'action du rayonnement solaire. La constitution de la paroi, son orientation, le poids spécifique de la structure et le moment considéré sont autant de paramètres qui influencent ces apports.

Le caractère variable de l'ensoleillement et de la température extérieure est tel qu'on n'atteint jamais le régime permanent, il n'est donc pas aisé de déterminer de façon précise l'intensité du flux à un instant donné. On recourt alors à une température fictive de l'air extérieur notée ici différence équivalente de température ΔT_e.

La relation ci-après exprime le flux de chaleur en régime permanent (en w) à la fois par rayonnement, convection et conduction :

$$\boldsymbol{\Phi_{acc} = K.S.\Delta T_e}$$

(Equation 4.6.)

$\boldsymbol{\Phi_{acc}}$ **:** Flux de chaleur (en *kcal/h*) ou apports par accumulation ;
$\boldsymbol{K}$ **:** Coefficient de transmission global (en *kcal/ h.m².* °*C*) ;
$\boldsymbol{S}$ **:** Surface de la paroi (en m^2) ;
$\Delta\boldsymbol{T_e}$ **:** Différence équivalente de température (en °*C*).

La différence de température équivalente se calcule à partir de la formule suivante :

$$\Delta T_e = a + \Delta T_{es} + b\,\frac{R_s}{R_m}\,(\Delta T_{em} - \Delta T_{es})$$

(Equation 4.7.)

ΔT_e **:** Différence de température équivalente (°*C*) ;
a **:** Correction donnée par la table 20A de Carrier ;
ΔT_{es} **:** Différence équivalente de température à l'heure considérée pour la paroi à l'ombre donnée par les tables 19 ou 20 de Carrier (en °*C*) ;
ΔT_{em} **:** Différence équivalente de température à l'heure considérée pour la paroi ensoleillée donnée par les tables 19 ou 20 de Carrier (en °*C*) ;
b **:** Coefficient tenant compte de la couleur considérée : Couleur sombre b = 1, 00 --Couleur moyenne b = 0, 78 -- Couleur claire b = 0, 55
R_s **:** Ensoleillement maximal pour le mois et la latitude considérés (Tizi Ouzou 36.42°) à travers une surface vitrée donné par la table 15 de Carrier ;
R_m **:** Ensoleillement maximal pour le mois de juillet par 40° de latitude Nord donné par la table 15 de Carrier (en *kcal/h.m²*).

IV-2. 2. 1. 2. Apports calorifiques dus aux vitrages

Les apports calorifiques dus aux vitrages sont de deux types : apports par transmission et apports par ensoleillement.

IV-2. 2. 1. 2. 1. Apports calorifiques par transmission

Résultat de la différence de température entre le milieu intérieur et le milieu extérieur, ces apports dépendent fortement de la qualité et de la surface (encadrement inclus) du vitrage. Le flux de chaleur est donné par la relation suivante :

$$\Phi_{vt} = K_v . S . (T_{ex} - T_{in})$$

(Equation 4.8.)

Φ_{vt} **:** Flux de chaleur traversant un vitrage par transmission (en *kcal/h*) ;
K_v **:** Coefficient de transmission global de vitrage (en *kcal/ h.m². °C*) ;
S **:** Surface de vitrage (encadrement inclus) (en *m²*) ;
$T_{ex} - T_{in}$ **:** Différence de température entre l'extérieur et l'intérieur (en °*C*).

IV-2. 2. 1. 2. 2. Apports calorifiques par ensoleillement

Les apports dus à l'ensoleillement des vitrages sont de loin les plus importants, ils peuvent représenter 50 à 80% des charges totales des locaux climatisés.[169] Ils sont dus à l'intensité du flux solaire qui atteint la surface vitrée et dépendent des facteurs suivants :

- La situation géographique du bâtiment (La latitude, l'altitude, la configuration etc.) ;
- Le moment considéré (L'heure et le mois) ;
- L'orientation de la surface vitrée.

[169] Bougriou C., Hazem A., Kaouha K., 2000, « Protections Solaires des Fenêtres », in Revue des énergies renouvelables, Vol 3, pp. 127-135.

Ces apports s'expriment par la relation suivante (en *kcal/h*) :

$$\Phi_{ens} = F.K_1.K_2.G.N.S_v$$

(Equation 4.9.)

Φ_{ens} **:** Flux de chaleur du à l'ensoleillement (en *kcal/h*) ;
F **:** Facteur solaire de correction de vitrages spéciaux ;
F = 1 pour vitrage simple non protégé.
K_1 **:** Coefficient tenant compte de la nature de l'encadrement ;
K_1 = 1, 17 pour l'encadrement métallique.
K_2**:** Coefficient tenant compte de l'altitude et du trouble de l'atmosphère ;
G **:** Gains par ensoleillement donné par la table 15 de Carrier (kcal /h.m²) ;
N **:** Coefficient de correction affectant les apports effectifs maximaux d'un vitrage ordinaire ;
S_v **:** Surface totale de vitrage atteinte par l'ensoleillement en (m²).

IV-2. 2. 1. 3. Apports calorifiques par infiltration d'air extérieur

Les apports thermiques provenant de l'infiltration d'air par perméabilité des ouvrants dans une salle conditionnée et par l'introduction volontaire d'air neuf pour la ventilation doivent impérativement être pris en compte lors d'un bilan thermique en période estivale. La chaleur qui s'introduit par infiltration en une heure de temps s'exprime par la formule qui suit (en *kcal/h*) :

$$\Phi_{inf} = 0,31.V.r.(T_{ex} - T_{in})$$

(Equation 4.10.)

Φ_{inf} **:** Flux de chaleur par infiltration d'air extérieur (en *kcal/h*) ;
$0,31$ **:** Chaleur volumique de l'air (en $kcal/m^3$. °C) ;
V **:** Volume du local à conditionner (en m^3) ;
r **:** Coefficient d'infiltration en fonction du volume du local ;
$T_{ex} - T_{in}$ **:** Différence de température entre l'extérieur et l'intérieur (en °*C*) ;

IV-2. 2. 2. Apports calorifiques dus à l'environnement intérieur

On entend par gains internes les dégagements de chaleur ayant leur source à l'intérieur du local. L'importance des gains internes dépend de l'usage auquel le local est destiné[170]. Les occupants (organismes humains), l'éclairage et les éventuels appareils électriques se trouvant à l'intérieur du local à conditionner sont à l'origine des apports calorifiques dits « internes » en émettant des quantités de chaleur sous forme latente ou sensible. D'une manière générale, pour obtenir une estimation acceptable de ces apports, on devra leur appliquer un coefficient de simultanéité car il est rare qu'ils soient simultanés ou atteignent au même moment leur maximum.

[170] Carrier M., 1981, *première partie - bilan thermique*, Carrier international LDT, New York, USA. p. 5.

IV-2. 2. 2. 1. Apports calorifiques dus aux occupants

Le corps humain par son métabolisme, dégage une certaine quantité de chaleur, cédée à l'ambiance par rayonnement, convection et évaporation cutanée, ou par convection et évaporation du fait de la respiration. La quantité de chaleur produite et dégagée, dépend de la température ambiante et de l'activité déployée ; elle est donnée par la table 48 de Carrier[171]. La production thermique est permanente mais est toujours liée à l'activité physique de la personne. Plus le travail musculaire est intense et plus la production de chaleur est importante. La relation suivante donne les apports réels dus aux occupants (en *kcal/h*) :

$$\Phi_{occ} = n.C_s.C_a\,(\varphi_{sen} + \varphi_{lat})$$

(Equation 4.11.)

Φ_{occ} **:** Flux de chaleur dus aux occupants (en kcal/h) ;
n **:** Nombre d'occupants ;
C_s**:** Coefficient de simultanéité donné par la table 14de Carrier;
C_a **:** Coefficient d'amortissement qui est en fonction de la durée d'occupation (h), du type de la construction donné par la table 12 de Carrier ;
φ_{sen} **:** Chaleur sensible dégagée par les occupants (en kcal/h. personne) ;
φ_{lat} **:** Chaleur latente dégagée par les occupants (en kcal/h. personne).

IV-2. 2. 2. 2. Apports calorifiques dus aux appareils électriques

Les restaurants, les hôpitaux, laboratoires et quelques magasins possèdent des appareils électriques, à gaz ou à vapeur qui émettent une certaine quantité de chaleur dans l'ambiance.[172] Dans notre cas (salle de cours), ces appareils électriques sont absents, nous ne procéderons donc pas au calcul de cette catégorie d'apports calorifiques.

IV-2. 2. 2. 3. Apports calorifiques dus à l'éclairage

Les appareils d'éclairage dégagent par effet joule une part non négligeable de la charge thermique interne. Une partie de cette chaleur émise sous forme de rayonnement, est susceptible d'être emmagasinée dans les parois.[173]

Pour notre cas précis (Salles de cours situées à l'étage du bloc « J »), l'éclairage est assuré à l'aide de 16 néons fluorescents. Ces derniers sont rarement ou jamais allumés en période estivale durant l'intervalle 8h - 18h du fait de l'éclairage naturel apporté par la lumière du soleil. Par conséquent ces apports seront considérés nuls.

[171] Ibid, p. 5.
[172] Ibid, p. 5.
[173] Ibid, p. 10.

IV-2. 2. 3. Vérification et déperditions de référence

La vérification réglementaire des locaux à usage d'habitation, de bureaux et d'hébergement doit s'effectuer selon les étapes suivantes :

a. Calcul pour l'ensemble du local (supposé conditionné) à 15 h, pour le mois de Juillet :
- Des apports par les parois opaques aériennes,
- Des apports par les parois vitrées,
- Des apports calorifiques de référence,

b. Vérification de la conformité à la réglementation thermique d'été des locaux.

IV-2. 2. 3. 1. Vérification réglementaire

La somme des apports calorifiques par les parois vitrées et les parois opaques aériennes doit vérifier au mois de Juillet à 15 h, pour une température sèche intérieure de 27°C, la relation ci-après :

$$\boldsymbol{\Phi_{acc}}\ \mathbf{(15\ h)} + \boldsymbol{\Phi_{vt}}\ \mathbf{(15\ h)} \leq 1,05 \times \boldsymbol{\Phi_{réf}}\mathbf{(15\ h)}$$

(Equation 4.12.)

$\boldsymbol{\Phi_{acc}}$ Apports calorifiques à travers les parois opaques aériennes ;
$\boldsymbol{\Phi_{vt}}$ Apports calorifiques à travers les parois vitrées ;
$\boldsymbol{\Phi_{réf}}$ Apports calorifiques de référence.

IV-2. 2. 3. 2. Les apports calorifiques de référence

Les apports calorifiques de référence $\boldsymbol{\Phi_{réf}}$ (en W) sont donnés par la relation suivante :

$$\boldsymbol{\Phi_{réf}} = \boldsymbol{\Phi_{réf\ PH}} + \boldsymbol{\Phi_{réf\ PV}} + \boldsymbol{\Phi_{réf\ PVi}}$$

(Equation 4.13.)

$\boldsymbol{\Phi_{réf\ PH}}$: Apports calorifiques de référence à travers les parois opaques horizontales ;
$\boldsymbol{\Phi_{réf\ PV}}$: Apports calorifiques de référence à travers les parois opaques verticales ;
$\boldsymbol{\Phi_{réf\ PVi}}$: Apports calorifiques de référence à travers les parois vitrées.

IV-2. 2. 3. 2. 1. Calcul des $\boldsymbol{\Phi_{réf\ PH}}$

Les apports calorifiques de référence à travers les parois opaques horizontales sont donnés par la relation suivante (en W) :

$$\boldsymbol{\Phi_{réf\ PH}} = \sum (\mathbf{a} \times \boldsymbol{S_{int}} \times \Delta\mathbf{TS}_{\boldsymbol{réf\ PH}})$$

(Equation 4.14.)

a : Coefficient lié à la nature de la construction et la zone climatique (en W/m². °C) ;
$\boldsymbol{S_{int}}$: Surface de la paroi horizontale comptée de l'intérieur (en m²) ;
$\Delta\mathbf{TS}_{\boldsymbol{réf\ PH}}$: Différence de température de référence pour les parois horizontales (en °C).

IV-2. 2. 3. 2. 2. Calcul des $\Phi_{réf\ PV}$:

Les apports calorifiques de référence à travers les parois opaques horizontales sont donnés par la relation suivante (en W) :

$$\Phi_{réf\ PV} = \sum (c \times S_{int} \times \Delta TS_{réf\ PV})$$

(Equation 4.15.)

c : Coefficient lié à la nature de la construction et la zone climatique (en W/m². °C) ;
S_{int} : Surface de la paroi verticale comptée de l'intérieur (en m²);
$\Delta TS_{réf\ PV}$: Différence de température de référence pour les parois verticales (en °C).

IV-2. 2. 3. 2. 3. Calcul des $\Phi_{réf\ PVi}$:

Les apports calorifiques de référence à travers les parois vitrées en contact avec l'extérieur sont donnés par la relation suivante (en W) :

$$\Phi_{réf\ PVi} = \Phi_{réf\ PV\ ens} + \Phi_{réf\ PV\ gr\ T}$$

(Equation 4.16.)

$\Phi_{réf\ PVi\ ens}$ **:** Apports de référence dus à l'ensoleillement (en W) ;
$\Phi_{réf\ PVi\ gr\ T}$ **:** Apports de référence dus au gradient de température (en W).

IV-2. 2. 3. 2. 3. 1. Calcul des apports de référence dus à l'ensoleillement

$$\Phi_{réf\ PVi\ ens} = [SV_{ens} \times I_t + (SV - SV_{ens}) \times I_d] \times FS_{réf} \times N_{PVI\ réf}$$

(Equation 4.17.)

SVi : Surface totale vitrée (en m²) ;
SVi_{ens} : Surface vitrée ensoleillée à 15 h (m²) ;
I_t : Rayonnement total maximal réel pour l'orientation et la latitude considérées (W/m²) ;
I_d : Rayonnement diffus maximal réel (W/m²) ;
$FS_{réf}$: est le facteur solaire de référence, il est égal à 0,38 ;
$N_{PVI\ réf}$: Coefficient d'amortissement relatif aux gains de référence des parois vitrées pour l'orientation considérée. 0, 98 pour le Nord et 0, 65 pour le Sud.

IV-2. 2. 3. 2. 3. 2. Calcul des apports de référence dus au gradient de température

$$\Phi_{réf\ PVi\ gr\ T} = e' \times S_{ouv} \times \Delta TS_{réf\ PVI}$$

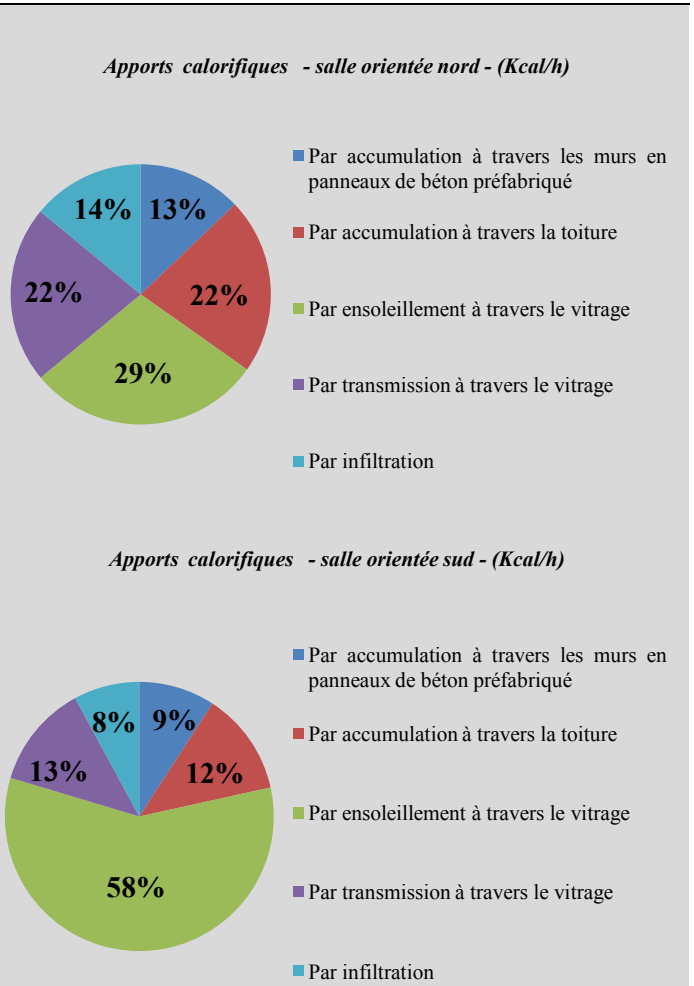
(Equation 4.18.)

e' : Coefficient relatif à la nature des locaux ;
S_{ouv} : Surface d'ouverture dans le mur ;
$\Delta TS_{réf\ PVI}$ **:** Différence de température de référence des parois vitrées.

IV-2. 2. 4. Résultats et commentaires

Les résultats obtenus pour l'ensemble des apports calorifiques sont regroupés dans le tableau ci-après.

			FORMULES DE CALCUL	VALEUR (Kcal/h) Salle nord	VALEUR (Kcal/h) Salle sud
APPORTS THERMIQUES	APPORTS DUS A L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR	Par accumulation et transmission à travers les murs en panneaux de béton préfabriqué :	$\Phi_{acc} = K.S.\Delta T_e$	*342, 56*	*431, 63*
		Par accumulation et transmission à travers la toiture :		*583, 68*	*583, 68*
		Par ensoleillement à travers le vitrage :	$\Phi_{ens} = F.K_1.K_2.G.N.S_v$	*775, 97*	*2 735, 85*
		Par transmission à travers le vitrage :	$\Phi_{vt} = K_v.S.(T_{ex} - T_{in})$	*586, 58*	*586, 58*
		Par infiltration :	$\Phi_{inf} = 0,31.V.r.(T_{ex} - T_{in})$	*372, 96*	*372, 96*
			SOUS-TOTAL 01	*2 661, 75*	*4 710, 70*
	APPORTS DUS A L'ENVIRONNEMENT INTERIEUR	Apports thermiques dus aux occupants :	$\Phi_{occ} = n.C_s.C_a.(\varphi_{sen} + \varphi_{lat})$	*5 883, 34*	*5 883, 34*
			SOUS-TOTAL 02	*5 883, 34*	*5 883, 34*
			TOTAL PAR SALLES	*8 545, 09*	*10 594, 04*
			TOTAL	*19 139, 13 Kcal/h*	
VERIFICATION REGLEMENTAIRE $\Phi_t \leq 1,05 \times \Phi_{réf}$			**APPORTS TOTAUX (Parois vitrées et opaques)**	*1 700, 38 W*	*1 921, 78 W*
			APPORTS DE REFERENCE	*2 359, 30 W*	*2 939, 90 W*



POSITIVE

Tableau 4.8. Synthèse du bilan thermique estival et vérification réglementaire. **Source :** Auteur.

Nous avons réalisé un bilan thermique pour la période estivale afin d'évaluer les apports calorifiques dus à l'environnement intérieur (occupants, appareils électriques, éclairage…) et extérieur (vitrage, infiltrations d'air extérieur, échanges thermiques par transmission…). Comme pour le cas de la saison hivernale, l'objectif est de situer la part de responsabilité dans les apports calorifiques des murs de façades en panneaux de béton préfabriqué.

Le tableau ci-après, résume les résultats des apports calorifiques obtenus. Les apports dus à l'environnement intérieur ne sont pas représentés dans les graphiques parce qu'ils n'affectent pas directement l'objet de notre étude à savoir l'incidence du béton préfabriqué. L'accent est mis sur les apports par accumulation à travers les murs de façades. Ils représentent seulement **13 %** des apports calorifiques totaux pour la salle orientée au nord et **9 %** pour la salle orientée au sud. Par ailleurs, Avec 51 % pour la salle orientée au nord et 71 % pour la salle orientée au sud, les fenêtres sont à l'origine de la plus grande part des apports calorifiques. Les apports restant se répartissent de la façon suivante :

- Par accumulation à travers la toiture :
  - Salle orientée au nord : 22 % ;
  - Salle orientée au sud : 12 %.
- Par infiltration :
  - Salle orientée au nord : 14 % ;
  - Salle orientée au sud : 8 %.

En été, les fenêtres constituent les zones les plus sensibles dans les locaux en raison de leur nombre important (Six) et l'absence d'un dispositif de protection thermique comme le double vitrage ou le brise-soleil ou encore un écran intérieur (Non pris en compte dans les bilans). Elles nécessiteraient en priorité une amélioration de leur qualité thermique. Les apports thermiques dus aux murs de façades constitués de panneaux en béton préfabriqué sont relativement réduits et ne requièrent pas particulièrement de traitement.

La vérification réglementaire indique un résultat positif avec des apports totaux par transmission à travers les parois opaques extérieures et le vitrage de l'ordre de 3 622, 16 W et des apports de références recommandés par le D.T.R. C 3-4 équivalant à 5 299, 2 W. Les apports totaux sont inférieurs d'environ 30 % aux apports de référence.

IV-3. Etude comparative par simulation thermique dynamique

Dans cette ultime étape de l'analyse du comportement thermique estival et hivernal du bâtiment en béton préfabriqué, nous avons fait appel à l'outil informatique pour valider et compléter les conclusions auxquelles nous sommes parvenus à partir des bilans thermiques globaux. Plus encore, nous avons mené une étude comparative des performances de ces salles avec celles d'un bâtiment doté de murs en béton préfabriqué comportant une isolation intégrée et avec celles d'un mur classique formé de doubles parois de briques.

Obtenir un bilan énergétique positif pour un bâtiment implique la recherche d'un équilibre entre isolation renforcée, compacité, gains solaires passifs, inertie thermique, confort thermique, qualité de l'air intérieur et coût d'investissement. Ceci doit faire l'objet d'une attention spécifique depuis la phase de l'avant-projet et requiert le plus souvent le recours à des simulations informatiques.[174] La simulation thermique dynamique appliquée au domaine du bâtiment, permet d'estimer les consommations réelles d'énergie, en tenant compte de l'enveloppe du bâtiment et de son inertie, des systèmes énergétiques (y compris les appareils électriques non thermiques), du comportement des occupants, et du climat local. Pour les architectes et les ingénieurs, elle permet de valider rapidement des options fondamentales (implantations, structure, ouvertures..), d'explorer et de commencer à optimiser certains choix pour un meilleur confort.[175]

Par le terme logiciel de simulation du comportement dynamique des bâtiments, on entend un programme qui calcule, pour certains intervalles de temps, toutes les grandeurs déterminantes du bilan énergétique.[176]

IV-3. 1. Utilité de la simulation numérique thermique dans le bâtiment

Les outils de simulation thermique dynamique sont pensés et réalisés de sorte à mettre à la disposition des architectes, ingénieurs et maitres d'ouvrage un large éventail de fonctionnalités afin d'orienter leur choix vers les meilleures solutions techniques et bioclimatiques pour optimiser l'efficacité énergétique des bâtiments, tout en préservant la qualité du service rendu et du confort d'usage.[177] La modélisation des bâtiments et la

[174] Cockelenbergh C., 2009, Optimisation énergétique d'un nouveau bâtiment tertiaire, Ed Wolters Kluwer, Belgique. p. 11.
[175] Chatelet A., Fernandez P., Lavigne P., 1998, Architecture Climatique, une contribution au développement durable, Ed Edisud. France. p. 133.
[176] Liebard A., De Herde A., 2005, Op Cit, p.81a.
[177] C.RT, (**C**entre de **R**essources **T**echnologiques), (http://www.nobatek.com/).

visualisation des résultats en 3D rendent ces simulations intéressantes dans la mesure où plusieurs scénarios et hypothèses sont testés pour une adaptation optimale du bâtiment à son environnement climatique.

IV-3. 2. Choix de l'outil de simulation

Il y'a aujourd'hui des dizaines de logiciels de simulation thermique dynamique conçus chacun pour un but bien précis. Parmi les plus utilisés on retrouve :

Comfie Pleiades : C'est un logiciel utile pour la conception bioclimatique et l'analyse du confort thermique par simulation dynamique ;

ANSYS Fluent : Cet outil qui s'applique à plusieurs domaines offre toutes les capacités physiques nécessaires pour la modélisation des écoulements fluides, des turbulences, des transferts de chaleur et des réactions chimiques ;

TRNSys : Le logiciel de simulation TRNSys est un environnement complet et extensible, dédié à la simulation dynamique des systèmes. Appliqué au bâtiment, il permet d'analyser les problèmes de confort thermique, de chauffage, de climatisation, consommations d'énergie, entre autres ;

Autodesk Ecotect Analysis : Avec un large champ d'application (thermique, acoustique, ensoleillement et éclairage), un espace de modélisation accessible et simple et un rendu riche et précis, Ecotect Analysis est l'un des outils de simulation les plus appropriés pour l'étude thermique dynamique du bâtiment ;

Energy Plus : Outil de simulation thermique dynamique développé par le département à l'énergie des USA. Ce qui fait sa force est la prise en compte des équipements énergétiques des bâtiments et de phénomènes complexes comme la ventilation naturelle ou l'impact d'une toiture végétalisée ;

Comsol Multiphysics : Il offre la possibilité de modéliser et de simuler de une importante quantité de phénomènes physiques tels que la diffusion, la convection, l'écoulement, la mécanique du solide…etc. Il la particularité de traiter avec une très grande précision les problèmes de ponts thermiques.

Notre choix s'est porté sur le logiciel Autodesk Ecotect Analysis dans sa version 2011. Les motifs ayant motivé ce choix sont multiples. Il s'agissait précisément d'opter pour un outil à la fois performant, fiable, qui convienne au problème posé dans notre étude et qui puisse garantir la continuité des deux premières étapes de notre travail (mesures réalisées in-situ et bilans thermiques). Ce logiciel permet aisément d'opérer des changements à tous les niveaux et de tester une multitude d'hypothèses. En effet, la simplicité de l'espace de modélisation permet d'ajouter ou de soustraire des éléments divers au bâtiment-modèle étudié. Les épaisseurs et les matériaux constituants les différentes parois sont interchangeables grâce à la possibilité de créer de nouveaux matériaux en plus de la librairie intégrée au logiciel. L'analyse thermique se fait dans un contexte climatique bien précis que l'utilisateur choisit lui-même.

Ecotect Analysis est doté de la fonctionnalité de transfert de fichiers vers des logiciels indépendants de dynamique des fluides numérique (CFD). Nous citons l'exemple de l'outil de recherche CFD Winair4 développé par le CRiBE (Centre for Research in the Built Environment). C'est un logiciel facile à utiliser en plus d'être fiable et renommé.

IV-3. 3. Présentation du logiciel Ecotect analysis 2011

Autodesk[178] présente dans son site internet officiel Ecotect analysis comme « *un outil complet de conception depuis la phase d'avant-projet jusqu'à celle de détail offrant un large éventail de fonctionnalités de simulation et d'analyse de l'énergie des bâtiments qui peut améliorer les performances des bâtiments et des nouveaux projets de bâtiments*»[179]. Ce logiciel qui possède une large gamme d'application (thermique, acoustique, ensoleillement et éclairage) permet :

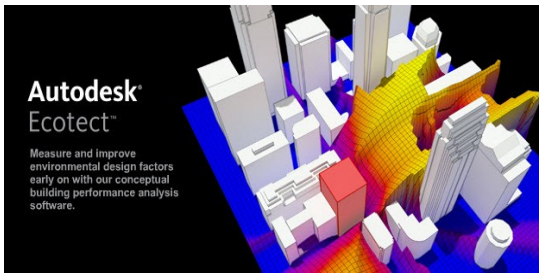


Figure 4.9. Logo officiel du logiciel Ecotect Analysis.
Source : http://www.autodesk.fr/

- de calculer la consommation d'énergie et des émissions de carbone d'un bâtiment sur une base annuelle, mensuelle, quotidienne et horaire, en utilisant une base de données d'informations météorologiques ;
- de calculer les besoins en chauffage et climatisation des modèles et d'analyser les effets de l'occupation, des gaines internes, de l'infiltration et de l'équipement.

[178] Autodesk, Société Américaine d'édition de logiciels de création et de contenu numérique, a été fondé en 1982. Son siège social se trouve à San Rafael, Californie, USA.
[179] Site internet officiel de la boite mère « Autodesk », (http://www.autodesk.fr/).

- d'estimer la consommation d'eau à l'intérieur et à l'extérieur du bâtiment.
- de visualiser le rayonnement solaire sur les fenêtres et les autres surfaces, à n'importe quelle période de l'année.
- de calculer les facteurs d'éclairage naturels et les niveaux d'éclairement à n'importe quel point du modèle.
- d'afficher la position et le parcours du soleil par rapport au modèle à n'importe quelle date, heure et emplacement.[180]

IV-3. 4. Fonctionnement pratique du logiciel Ecotect Analysis 2011

Le déroulement d'une simulation thermique dynamique d'un bâtiment sous Ecotect Analysis 2011 peut être résumé ainsi :

Première étape : Elle débute préalablement par l'introduction d'un certain nombre de renseignements comme les données climatiques de la région -qui couvrent une dizaine d'années, une année entière, quelques jours ou un pas de temps horaire- et les spécificités du site telles que la latitude, la longitude et l'altitude.

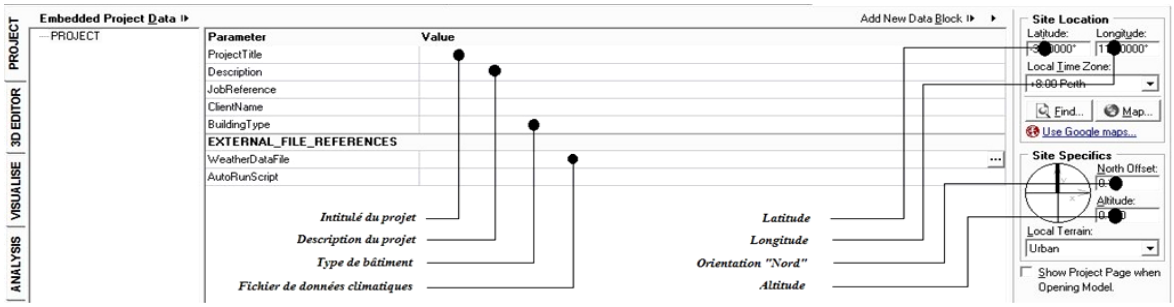


Figure 4.10. Première étape de la simulation sous Ecotect Analysis. **Source :** Ecotect 2011 / Auteur

Deuxième étape : Il s'agit de la construction en 3D de l'enveloppe du bâtiment en intégrant toutes les parois opaques et vitrées avec les caractéristiques thermiques et physiques des matériaux qui les composent. C'est durant cette étape que les zones thermiques et les apports internes qui s'y produisent sont définis.

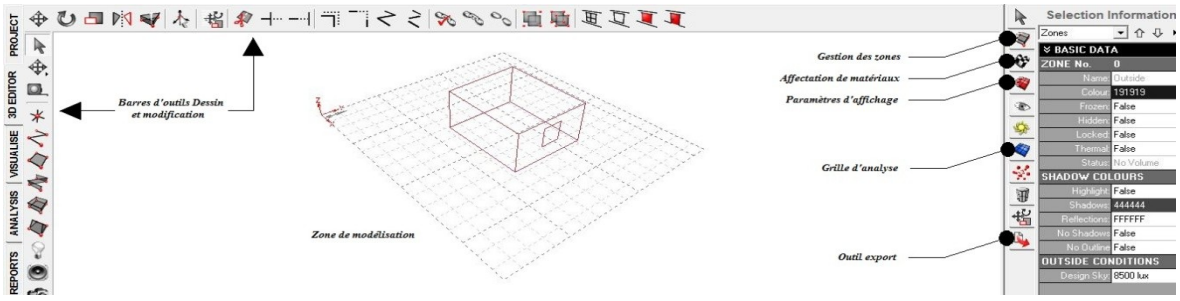


Figure 4.11. Seconde étape de la simulation sous Ecotect Analysis. **Source :** Ecotect 2011 / Auteur

[180] Ibid.

Troisième étape : Les résultats des simulations (thermique, aéraulique, acoustique, solaire, d'éclairage, de coûts des matériaux ou de consommation énergétique…etc.) exécutées sur Ecotect sont affichés à travers un éventail de représentations comme des graphiques en 2d et 3d, des diagrammes, des grilles thermiques…etc. Dans le cas ou la géométrie est exportée vers un module externe (CFD) comme Winair4, il faut prévoir une grille d'analyse pour recevoir les données calculées.

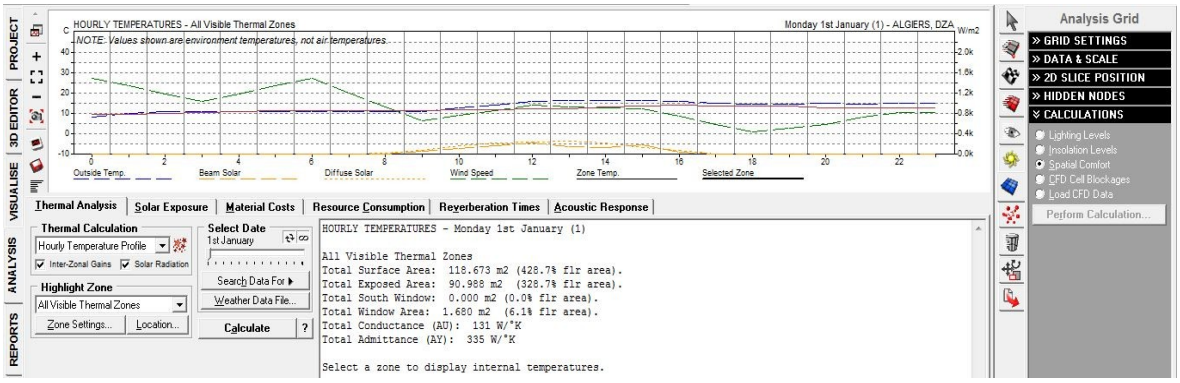


Figure 4.12. Troisième étape de la simulation sous Ecotect Analysis. **Source :** Ecotect 2011 / Auteur

IV-3. 5. Conditions générales de la simulation

Dans un souci de cohérence et de continuité avec les premières étapes de cette étude, nous avons choisi de modéliser un local avec des dimensions similaires à celles des salles de la faculté des sciences médicales. Ce local ne bénéficie pas de ventilation transversale puisque les six fenêtres sont toutes situées sur la même paroi, orientée sud. Pour les simulations, nous avons retenu les deux journées les plus défavorables, le 03 Août pour la saison estivale et le 28 Février pour l'hiver. Nous avons opté pour les deux modèles les plus représentatifs des constructions contemporaines en Algérie : le bâtiment industrialisé sous sa forme la plus connue du grand public, la préfabrication, et le bâtiment en parois de briques et planchers en corps creux. Il faut préciser en toute rigueur que nous avons utilisé les fichiers de données climatiques de la région d'Alger en raison de l'indisponibilité de données complètes et fiables pour la région de Tizi-Ouzou. La proximité géographique des deux régions est telle que l'on puisse considérer que les différences de climat de ces deux villes sont faibles et que finalement l'influence de cette interversion reste insignifiante sur les résultats des simulations du confort thermique dans les salles.

IV-3. 6. Déroulement et stratégie de la simulation

Le cheminement que nous avons adopté dans cette simulation suit les points suivants :

- Introduire les données descriptives du projet de simulation comme le nom, le type de bâtiment ou sa destination, avant de procéder au chargement des données climatiques et géographiques de la région.
- Modéliser en 3D le comportement thermique du bâtiment en introduisant les éléments architecturaux des modèles testés avec les caractéristiques thermiques et physiques des matériaux qui constituent leur enveloppe.

L'étude comparative du comportement thermique de l'enveloppe concerne quatre types de construction :

- ***Modèle 01*** : Construction contemporaine avec des parois en briques creuses et toiture en corps creux ;
- ***Modèle 02*** : Construction contemporaine avec des façades en panneaux de béton préfabriqué à isolation intégrée et toiture en dalle de béton ;
- ***Modèle 03*** : Construction contemporaine avec des façades en panneaux de béton préfabriqué à isolation appliquée de l'intérieur et toiture en dalle de béton ;
- ***Modèle 04*** : Construction contemporaine avec des parois en panneaux de béton préfabriqué, planchers en dalles pleines et toiture constituée d'éléments légers (cas de la faculté des sciences médicales).

Il est intéressant de comparer en particulier les deux types de construction (industrialisé en béton préfabriqué et artisanal en brique creuse) pour mesurer l'influence de chacune des ces deux structures sur les performances thermiques du bâtiment et de se faire une idée sur celle qui répond le mieux aux conditions de confort. Par ailleurs, le type de construction en béton préfabriqué fera objet d'une étude comparative interne, à travers plusieurs simulations pour intégrer divers scénarios et hypothèses (constitution et épaisseur des parois préfabriquées et de la toiture).

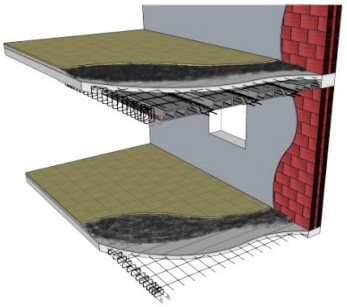


Figure 4.13. Modèle étudié N° 01.
Source : Auteur

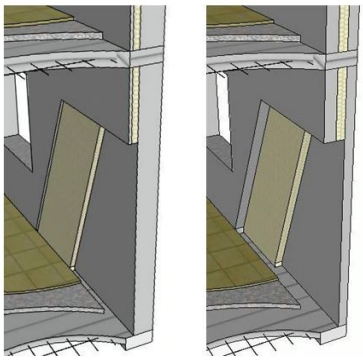


Figure 4.14. Modèles étudiés N° 02 et 03.
Source : Auteur

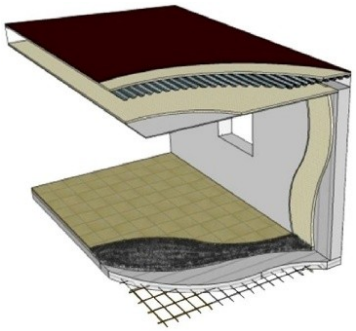


Figure 4.15. Modèle étudié N° 04.
Source : Auteur

IV-3. 7. Description du bâtiment cas d'étude

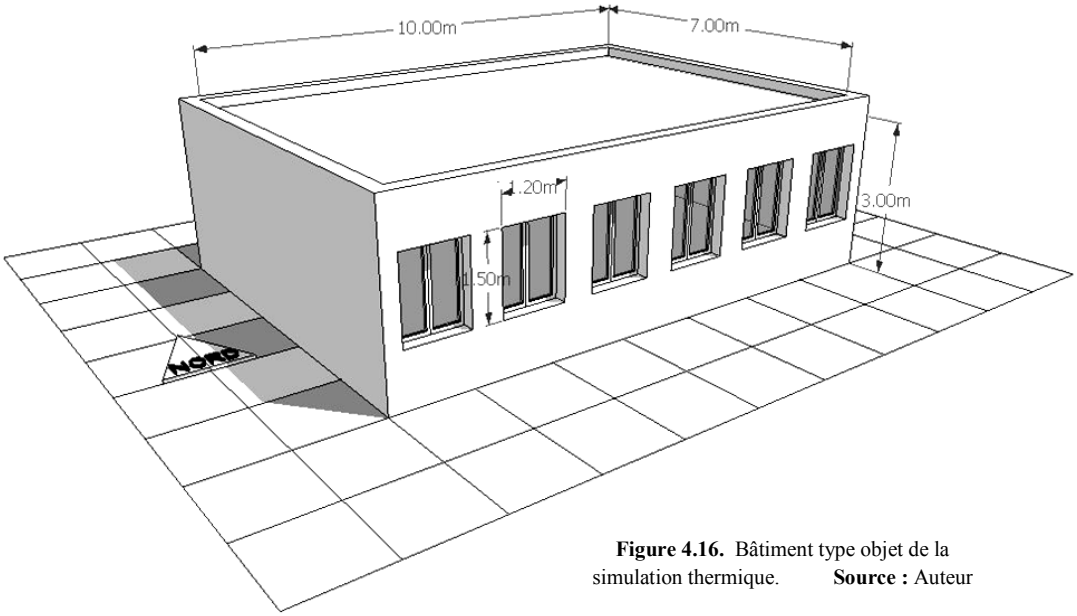


Figure 4.16. Bâtiment type objet de la simulation thermique. **Source :** Auteur

Le bâtiment objet de la simulation est une pièce de forme rectangulaire mesurant 10,00 m de long sur 7,00 m de large et une hauteur de 3,00 m, soit une surface habitable de 70,00 m² et un volume de 210,00 m^3, comprenant six ouvertures, de 1,2m x 1,5m chacune, positionnées sur la façade sud.

Lors des simulations, nous maintiendrons inchangés un certain nombre de paramètres ainsi que la disposition de quelques compartiments du local. Il s'agit :

- ***Du plancher bas*** : Construit sur terre plein, nous prendrons les mêmes caractéristiques pour tous les modèles ;
- ***Des fenêtres*** : Elles seront toutes positionnées sur la façade orientée au sud et auront les mêmes dimensions ;
- ***Le local*** : Il gardera la même forme et les mêmes dimensions tout au long de la simulation ;
- ***Le contexte*** : Les conditions climatiques et géographiques ainsi que la période durant laquelle seront simulés les différents scénarios resteront inchangés.

IV-3. 8. Modèles de constructions prévus pour la simulation

Dans les tableaux ci-dessous, nous représentons la composition de chacun des éléments de l'enveloppe et leurs caractéristiques thermo-physiques pour les modèles simulés.

IV-3. 8. 1. Composition de l'enveloppe du *Modèle 01*

Le premier modèle sélectionné est celui qui le plus répandu en Algérie. Les murs sont constitués d'une double paroi de briques creuses séparées par une lame d'air. Le revêtement est en enduit de ciment pour l'extérieur et en plâtre pour l'intérieur. Le plancher terrasse est constitué de corps creux, d'une dalle de compression et d'une forme de pente en béton. Les planchers sont réalisés en dalle pleine en béton sur terre plein, le revêtement des sols est en carrelage sur mortier de pose. Les fenêtres sont équipées d'un simple vitrage clair de 4 mm d'épaisseur.

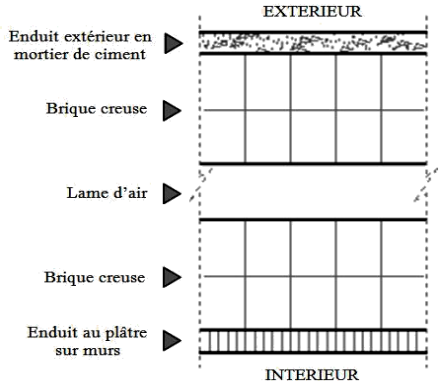


Figure 4.17. Coupe sur murs – modèle 01. **Source :** Ecotect 2011 / Auteur

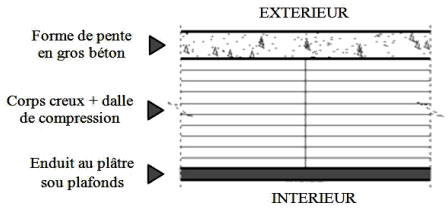


Figure 4.18. Coupe sur plancher terrasse – modèle 01. **Source :** Ecotect 2011 / Auteur

DESIGNATION	*Composition (Matériau)*	*Epaisseur (m)*	*Epaisseur totale (m)*	*Conductivité thermique λ (w/m °C)*	*e / λ*	*Résistance superficielle (1/hi + 1/he) (m² °C/w)*	*Coefficient de transmission K (w/m² °C)*	*Déphasage thermique D (Heures)*
MURS EXTERIEURS	Enduit extérieur en mortier de ciment	0.02	0.29	1.40	0.01	0.17	***1.22***	***7.30***
	Brique creuse	0.10		0.48	0.21			
	Lame d'air	0.05		R = 0.16				
	Brique creuse	0.10		0.48	0.21			
	Enduit intérieur en plâtre	0.02		0.35	0.06			
TOITURE TERRASSE	Forme de pente en gros béton	0.05	0.27	1.40	0.03	0.14	***2.70***	***7.00***
	Plancher en corps creux + dalle de compression en béton	0.20		1.45	0.14			
	Enduit intérieur en plâtre	0.02		0.35	0.06			
PLANCHER AU SOL	Dalle en béton armé	0.10	0.16	1.75	0.06	0.14	***4.35***	***4.50***
	Mortier de pose	0.03		1.40	0.02			
	Carrelage	0.03		2.10	0.01			

Tableau 4.9. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du Modèle 01. **Source :** Auteur

IV-3. 8. 2. Composition de l'enveloppe du *Modèle 02*

Le second modèle sélectionné est celui qu'on retrouve dans la plupart des constructions en béton préfabriqué se trouvant en Algérie. Les murs de façades sont fabriqués en usine et transportés sur chantier. Ils sont constitués d'un assemblage de panneaux en béton préfabriqué de différents types et dimensions et dotés d'une isolation intégrée en polystyrène (Figure 4.19.). La structure porteuse est constituée de refends en béton armé coulés sur place. Les planchers terrasses sont également en béton armé coulé en chantier et recouvert d'une forme de pente en gros béton et d'une couche d'étanchéité ; les plafonds sont enduits d'une fine couche de mortier de plâtre.

Dans le tableau suivant, nous donnons le détail des matériaux qui constituent les strates de l'enveloppe de ce bâtiment.

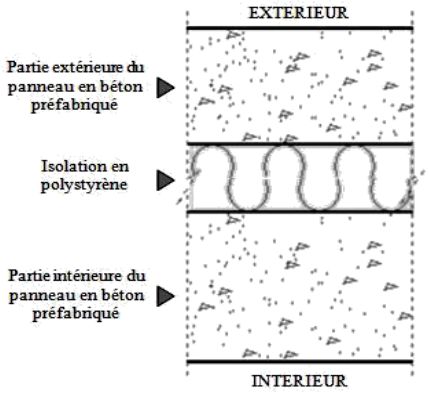


Figure 4.19. Coupe sur murs modèle 02. **Source :** Ecotect 2011 / Auteur.

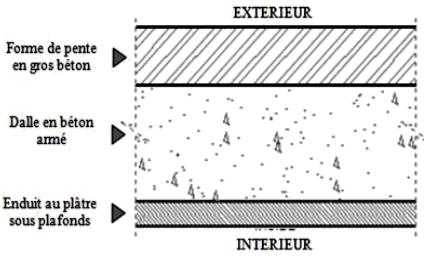


Figure 4.20. Coupe sur plancher terrasse modèle 02. **Source :** Ecotect 2011 / Auteur

DESIGNATION	*Composition (Matériau)*	*Epaisseur (m)*	*Epaisseur totale (m)*	*Conductivité thermique λ (w/m °C)*	*e / λ*	*Résistance superficielle (1/hi + 1/he) (m² °C/w)*	*Coefficient de transmission K (w/m² °C)*	*Déphasage thermique D (Heures)*
PANNEAUX DE FAÇADE EN BETON PREFABRIQUE	Panneau préfabriqué en béton armé	0.07	0.20	1.75	0.04	0.17	***0.63***	***5.70***
	Isolation en panneaux de polystyrène	0.04		0.03	1.33			
	Panneau préfabriqué en béton armé	0.09		1.75	0.05			
TOITURE EN BETON ARME	Forme de pente en gros béton	0.05	0.17	1.40	0.03	0.14	***3.45***	***5.10***
	Dalle en béton armé	0.10		1.75	0.06			
	Enduit au plâtre sous plafonds	0.02		0.35	0.06			
PLANCHER AU SOL	Dalle en béton armé	0.10	0.16	1.75	0.06	0.14	***4.35***	***4.50***
	Mortier de pose	0.03		1.40	0.02			
	Carrelage	0.03		2.10	0.01			

Tableau 4.10. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du Modèle 02. **Source :** Auteur

IV-3. 8. 3. Composition de l'enveloppe du *Modèle 03*

Nous avons choisi comme troisième modèle à étudier une structure similaire à celle du précédent modèle à un détail près. Il s'agit de l'emplacement et de la nature de l'isolation sur le panneau de façade préfabriqué. Les murs façades sont constitués d'un assemblage de panneaux en béton préfabriqué de différents types et dimensions, dotés d'une isolation, en laine de verre et plaques de plâtre (BA10), appliquée sur la face intérieure. Le plancher terrasse, le plancher bas et les fenêtres sont identiques au modèle précédent.

En plus du plancher bas, les panneaux de façades en béton préfabriqué de ce présent modèle sont en tous points de vue similaires à ceux de la faculté des sciences médicales de l'université de Tizi-Ouzou.

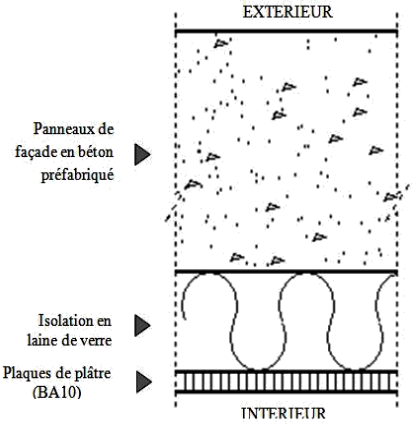


Figure 4.21. Coupe sur murs modèle 03.
Source : Ecotect 2001 / Auteur

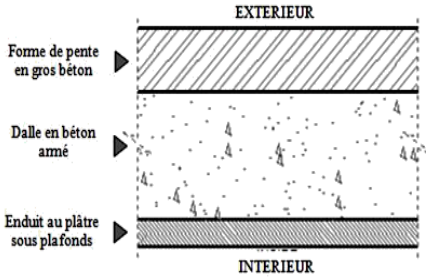


Figure 4.22. Coupe sur plancher terrasse – Modèle 03. **Source :** Ecotect 2011 / Auteur

DESIGNATION	*Composition (Matériau)*	*Epaisseur (m)*	*Epaisseur totale (m)*	*Conductivité thermique λ (w/m °C)*	*e / λ*	*Résistance superficielle (1/hi + 1/he) (m² °C/w)*	*Coefficient de transmission K (w/m² °C)*	*Déphasage thermique D (Heures)*
PANNEAUX DE FAÇADE EN BETON PREFABRIQUE	Panneau préfabriqué en béton armé	0.12	0.18	1.75	0.07	0.17	***0.64***	***4.80***
	Isolation en panneaux de laine de verre	0.05		0.039	1.28			
	Plaques de plâtre	0.01		0.35	0.03			
TOITURE EN BETON ARME	Forme de pente en gros béton	0.05	0.17	1.40	0.03	0.14	***3.45***	***5.10***
	Dalle en béton armé	0.10		1.75	0.06			
	Enduit au plâtre sous plafonds	0.02		0.35	0.06			
PLANCHER AU SOL	Dalle en béton armé	0.10	0.16	1.75	0.06	0.14	***4.35***	***4.50***
	Mortier de pose	0.03		1.40	0.02			
	Carrelage	0.03		2.10	0.01			

Tableau 4.11. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du Modèle 03. **Source :** Auteur

IV-3. 8. 4. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du *Modèle 04*

Le quatrième et dernier modèle sélectionné pour l'étude est celui qu'on retrouve à l'ex centre biomédical. Comme illustré dans la figure 4.23, les murs façades sont composés de panneaux en béton préfabriqué de différents types et dimensions et dotés d'une isolation en laine de verre et plaques de plâtre (BA10) appliquée sur la face intérieure. Les derniers niveaux sont recouverts d'une toiture légère constituée de plaques amovibles comme faux plafond, de deux couches de laine de verre séparées par une lame d'air et un bac en tôle d'acier. Une fine couche de bitume recouvre la toiture à l'extérieur (figure 4.24). Ce procédé de préfabrication appartient à l'entreprise Française PASCAL SARL.

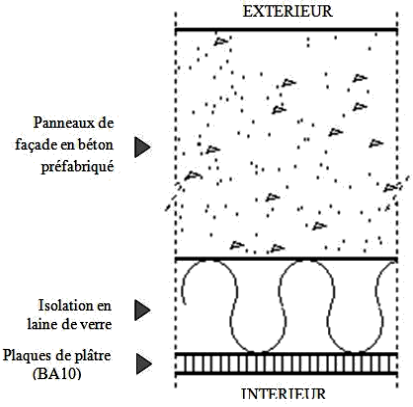


Figure 4.23. Coupe sur murs modèle 04.
Source : Ecotect 2011 / Auteur

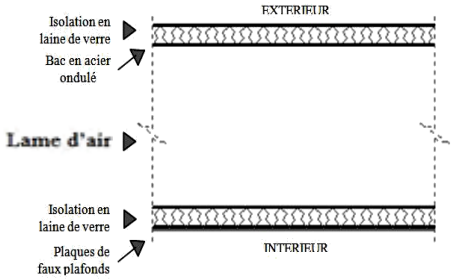


Figure 4.24. Coupe sur plancher terrasse modèle 04. **Source :** Ecotect 2011 / Auteur

DESIGNATION	*Composition (Matériau)*	*Epaisseur (m)*	*Epaisseur totale (m)*	*Conductivité thermique λ (w/m °C)*	*e / λ*	*Résistance superficielle (1/hi + 1/he) (m² °C/w)*	*Coefficient de transmission K (w/m² °C)*	*Déphasage thermique D (Heures)*
PANNEAUX DE FAÇADE EN BETON PREFABRIQUE	Panneau préfabriqué en béton armé	0.12	0.18	1.75	0.07	0.17	***0.64***	***4.80***
	Isolation en panneaux de laine de verre	0.05		0.039	1.28			
	Plaques de plâtre	0.01		0.35	0.03			
TOITURE CONSTITUEE D'ELEMENTS LEGERS	Faux plafond en carton amianté	0.01	0.52	0.07	0.14	0.14	***0.33***	***2.80***
	Panneaux de laine de verre	0.05		0.039	1.28			
	Lame d'air	0.41		R = 0.14				
	Panneaux de laine de verre	0.05		0.039	1.28			
PLANCHER AU SOL	Dalle en béton armé	0.10	0.16	1.75	0.06	0.14	***4.35***	***4.50***
	Mortier de pose	0.03		1.40	0.02			
	Carrelage	0.03		2.10	0.01			

Tableau 4.12. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du Modèle 04. **Source :** Auteur

IV-3. 8. 5. Caractéristiques des matériaux utilisés dans les modèles simulés

Le tableau ci-dessous réunit l'ensemble des caractéristiques des matériaux utilisés dans les quatre modèles simulés, comme la conductivité, la capacité, la diffusivité et le déphasage thermiques, ainsi que la masse volumique et l'épaisseur. Ces données seront introduites précisément lors de la seconde étape de la simulation thermique sous Ecotect Analysis 2011 (Chapitre IV-3. 4.).

Matériaux	***Conductivité thermique (W/m. °C)***	***Masse volumique (Kg/m3)***	***Capacité thermique (J/kg. °C)***	***Epaisseur (m)***	***Diffusivité thermique (m^2. h).(10^{-4})***	***Déphasage thermique (Heures)***
Panneaux préfabriqués en béton armé	1,75	2500	1080	0,12	23.30	3.40
Isolation en panneaux de laine de verre	0,039	40	1030	0,05	34.10	1.20
Plaques de plâtre BA10	0,35	900	400	0.01	35.00	0.20
Panneaux de faux plafonds (cartons amiantés)	0,07	375	470	0,01	14.30	0.40
Isolation en panneaux de polystyrène	0.03	30	1400	0.04	25.70	1.10
Carreaux de carrelage	2.10	2200	936	0.03	36.70	0.70
Mortier de pose (ciment)	1.40	2200	1080	0.03	21.20	0.90
Enduit en plâtre (Intérieur)	0.35	750	936	0.02	17.90	0.70
Plancher en corps creux y compris dalle de compression en béton	1.45	1450	1080	0.20	33.30	4.80
Forme de pente en gros béton	1.40	2200	1080	0.05	21.20	1.50
Enduit au mortier de ciment (Extérieur)	1.40	2200	1080	0.02	21.20	0.60
Dalle pleine en béton armé	1.75	2500	1080	0,10	23.3	2.90
Brique creuse	0.48	900	936	0.10	20.50	3.00

Tableau 4.13. Caractéristiques thermo-physiques des matériaux utilisés dans les cas simulés. **Source :** Auteur

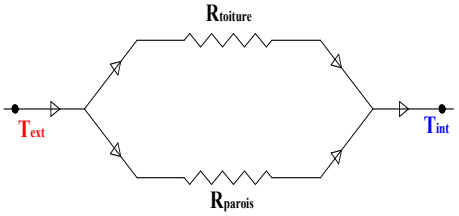
IV-3. 8. 6. Caractéristiques de l'enveloppe des modèles simulés

IV-3. 8. 6. 1. Calcul de la résistance thermique aux transferts conductifs

Nous avons : $\boldsymbol{\Phi_{éq} = \Phi_{parois} + \Phi_{toiture}}$

Avec : $\boldsymbol{\Phi_{par} = \frac{(T_{ex} - T_{in})}{R_{par}} . S_{par}}$

$\boldsymbol{\Phi_{toi} = \frac{(T_{ex} - T_{in})}{R_{toi}} . S_{toi}}$



Donc : $\boldsymbol{\Phi_{éq} = (\frac{S_{par}}{R_{par}} + \frac{S_{toi}}{R_{toi}}) . (T_{ex} - T_{in})}$

Nous prenons :

$$q = \frac{\Phi_{éq}}{(S_{par} + S_{toi}) \cdot (T_{ext} - T_{int})} \quad » \quad q = \frac{\frac{S_{par}}{R_{par}} + \frac{S_{toi}}{R_{toi}}}{S_{par} + S_{toi}} \quad » \quad q = \frac{1}{R_{éq}} = \frac{fS_{par}}{R_{par}} + \frac{fS_{toi}}{R_{toi}}$$

Finalement : $$R_{éq} = \frac{1}{\frac{fS_{par}}{R_{par}} + \frac{fS_{toi}}{R_{toi}}}$$

Avec :

$$fS_{par} = \frac{S_{par}}{S_{totale}}, \quad fS_{toi} = \frac{S_{toi}}{S_{totale}}, \quad R_{par} = \sum \frac{e_i}{\lambda_i} = \frac{e_{par}}{\lambda_{par}}, \quad R_{toi} = \sum \frac{e_i}{\lambda_i} = \frac{e_{toi}}{\lambda_{toi}}$$

IV-3. 8. 6. 2. Calcul de l'inertie thermique

- **Inertie thermique de l'enveloppe d'un bâtiment (Parois et toiture)**

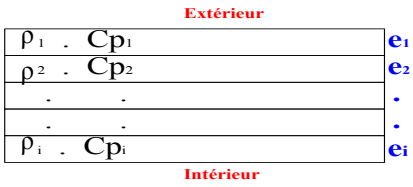
En sachant que : $$m \cdot C_p = \rho \cdot C_p \cdot V$$

Nous avons : $$(m \cdot C_p)_{env} = (m \cdot C_p)_{toi} + (m \cdot C_p)_{par}$$

Donc : $$\frac{(\rho \cdot V \cdot C_p)_{env}}{V} = \frac{(\rho \cdot V_{toi} \cdot C_p)_{toi}}{V} + \frac{(\rho \cdot V_{par} \cdot C_p)_{par}}{V}$$

Finalement : $$(\rho \cdot C_p)_{env} = (\rho \cdot C_p)_{toi} \cdot fv_{toi} + (\rho \cdot C_p)_{par} \cdot fv_{par}$$

- **Inertie thermique d'une paroi ou d'une toiture composite**



En sachant que : $$m \cdot C_p = m_1 \cdot C_{p1} + m_2 \cdot C_{p2} \ ..... + m_i \cdot C_{pi}$$

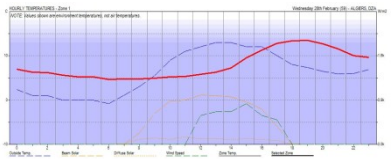
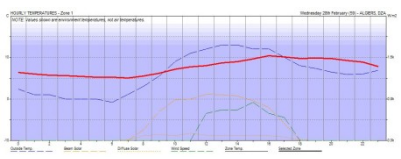
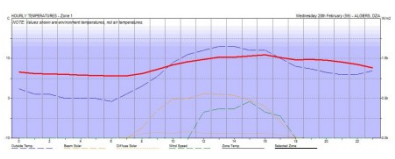
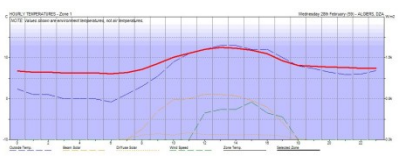
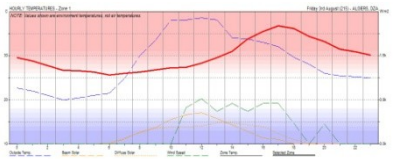
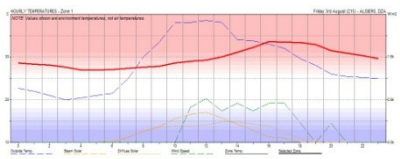
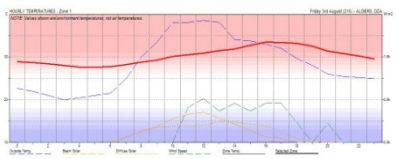
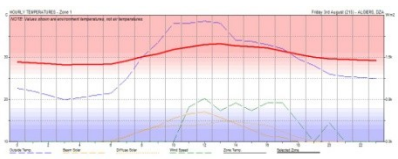
Et : $$\rho \cdot C_p \cdot V = \rho_1 \cdot V_1 \cdot C_{p1} + \rho_2 \cdot V_2 \cdot C_{p2} \ ..... + \rho_i \cdot V_i \cdot C_{pi}$$

$$\rho \cdot C_p = \rho_1 \cdot \frac{V_1}{V} \cdot C_{p1} + \rho_2 \cdot \frac{V_2}{V} \cdot C_{p2} ..... + \rho_i \cdot \frac{V_i}{V} \cdot C_{pi}$$

$$\rho \cdot C_p = \rho_1 \cdot \frac{e_1}{e} \cdot C_{p1} + \rho_2 \cdot \frac{e_2}{e} \cdot C_{p2} ..... + \rho_i \cdot \frac{e_i}{e} \cdot C_{pi}$$

Finalement : $$\rho \cdot C_p = \sum f_{ei} \cdot \rho_i \cdot C_{pi}$$

Modèles de construction	*Epaisseur en m*		*Masse surfacique en Kg/m²*		*Conductivité thermique (λ) en W/m. °C*		*Diffusivité thermique (a) en m²/s.(10^{-8})*		*Effusivité thermique* (Ef) *En W. $s^{1/2}$/m². °C*		*Résistance thermique (R) en m². °C /W*		*m . Cp en KJ/°C*	
	Murs	*Toiture*	*Murs*	*Toiture*	*Murs*	*Toiture*	*Murs*	*Toiture*	*Murs*	*Toiture*	*Murs*	*Toiture*	*Murs*	*Toiture*
Modèle N° 01 Murs en briques creuses. Toiture en hourdis et dalle de compression en béton armé.	**0.29**	**0.27**	**239**	**415**	**0.44**	**1.16**	**55.48**	**70,21**	**590.69**	**1384.3**	**0.654**	**0.232**	**20974**	**31223**
											$R_{éq}$ = 0.367		**m . $C_{p\,éq}$ = 51 925**	
Modèle N° 02 Murs en panneaux de béton préfabriqué. Toiture en dalle de béton plein	**0.20**	**0.17**	**402**	**375**	**0.14**	**1.06**	**6.45**	**44.73**	**550.97**	**1584.85**	**1.420**	**0.160**	**39552**	**28198**
											$R_{éq}$ = 0.324		**m . $C_{p\,éq}$ = 67 724**	
Modèle N° 03 Murs en panneaux de béton préfabriqué. Toiture en dalle de béton plein	**0.18**	**0.17**	**311**	**375**	**0.13**	**1.06**	**7.09**	**44.73**	**487.88**	**1584.85**	**1.380**	**0.160**	**30065**	**28198**
											$R_{éq}$ = 0.322		**m . $C_{p\,éq}$ = 58 254**	
Modèle N° 04 Murs en panneaux de béton préfabriqué. Toiture en éléments légers.	**0.18**	**0.52**	**311**	**49**	**0.13**	**0.183**	**7.09**	**1619.5**	**487.88**	**45.47**	**1.380**	**2.842**	**30065**	**411**
											$R_{éq}$ = 1.768		**m . $C_{p\,éq}$ = 30 381**	

	Modèle N° 01	**Modèle N° 02**	**Modèle N° 03**	**Modèle N° 04**
Hiver				
Eté				

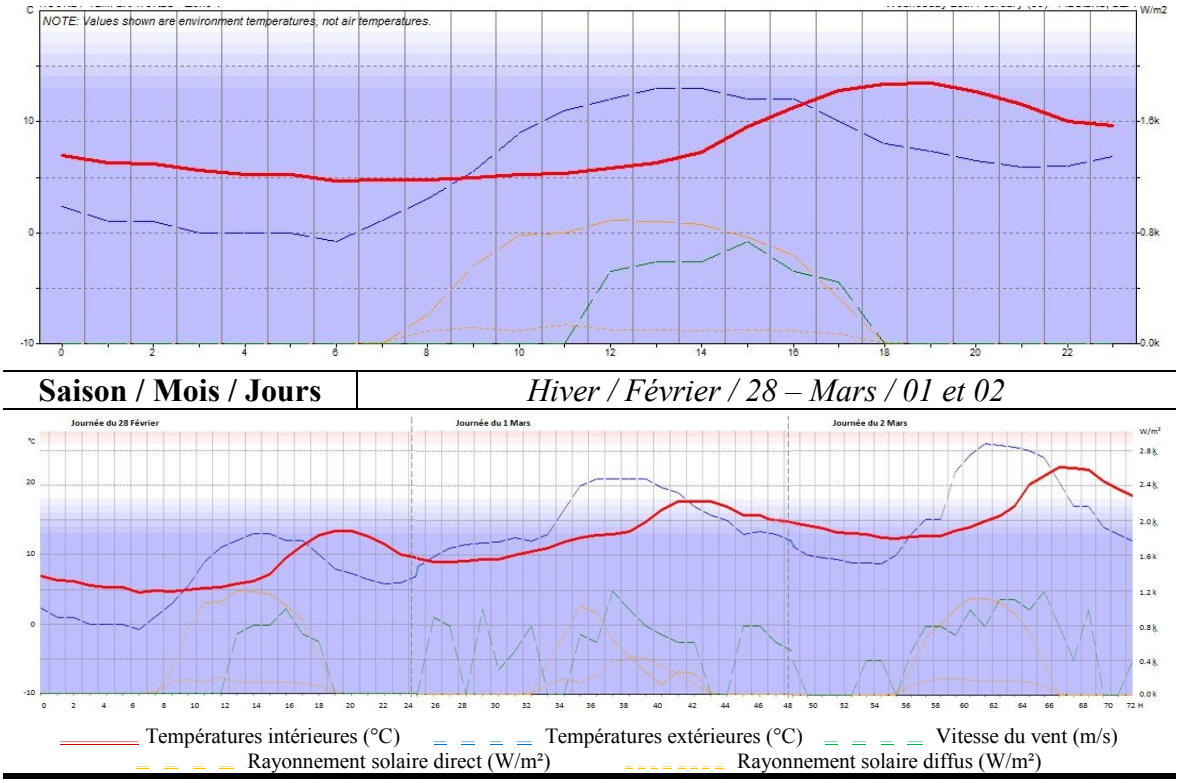
Températures intérieures (°C) Températures extérieures (°C)

Tableau 4. 14. Caractéristiques thermiques dynamiques des modèles simulés. **Source :** Auteur

IV-3. 9. Résultats de la simulation et commentaires

IV-3. 9. 1. En saison hivernale avec le modèle 01

Saison / Mois / Jour	**N ° 01 : Parois en briques et planchers en corps creux**
Modèle de construction	*Hiver / Février / 28* (Journée la plus froide)



Saison / Mois / Jours	*Hiver / Février / 28 – Mars / 01 et 02*

Figure 4.25. Modèle 01 - Evolution horaire des températures extérieures et intérieures en période hivernale / journée du 28 février.
Source : Ecotect 2011 / Auteur

IV-3. 9. 1. 1. Lecture et interprétation du graphique

En saison hivernale et à 6h du matin de la journée du 28 février, on a relevé une température extérieure minimale de -0.8 °C tandis qu'à l'intérieur du local elle est de 4.7 °C, soit une différence de 5.5 °C. La température extérieure maximale atteinte est de 13.0 °C entre 13h et 14h, et elle est à 13.4 °C l'intérieur entre 18h et 19h. La différence des températures maximales entre l'intérieur et l'extérieur n'est pas très importante (0.4 C°) due à l'inertie thermique assez importante et un faible effet de serre. L'amplitude maximale de 8.7 °C des oscillations de la température à l'intérieur des locaux, pourrait engendrer une sensation d'inconfort chez les occupants.

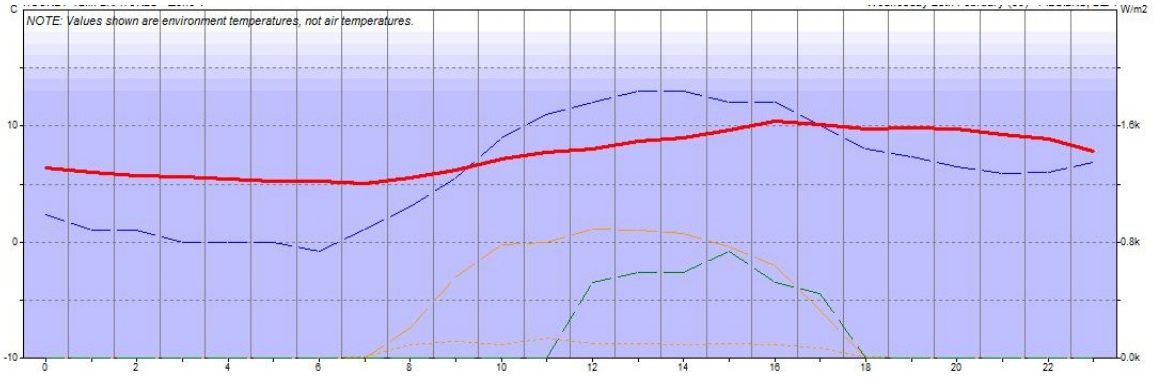
Le déphasage thermique entre l'extérieur et l'intérieur, synonyme du retardement des apports calorifiques du rayonnement solaire, est assez important ; il est en moyenne de 5 heures. Cela s'explique d'une part par la forte inertie thermique de l'enveloppe du bâtiment

et d'autre part par la bonne effusivité des parois en briques et de la toiture en corps creux et béton. Ce déphasage thermique important ne s'accompagne pas nécessairement par l'atténuation des températures. C'est le cas de ce bâtiment dont la diffusivité thermique des parois et de la toiture qui constituent l'enveloppe de ce bâtiment a une valeur relativement élevée car non munies d'éléments isolants. En climat méditerranéen, ce comportement caractéristique des murs en briques n'a pas de grandes conséquences en hiver en raison des températures relativement douces contrairement aux problèmes de surchauffe que cela engendre durant la saison estivale.

Toutefois, la température intérieure reste en dehors de la zone de confort et par conséquent, il sera nécessaire de faire appel à une énergie d'appoint pour chauffer ce bâtiment.

IV-3. 9. 2. En saison hivernale avec les modèles 2 et 3

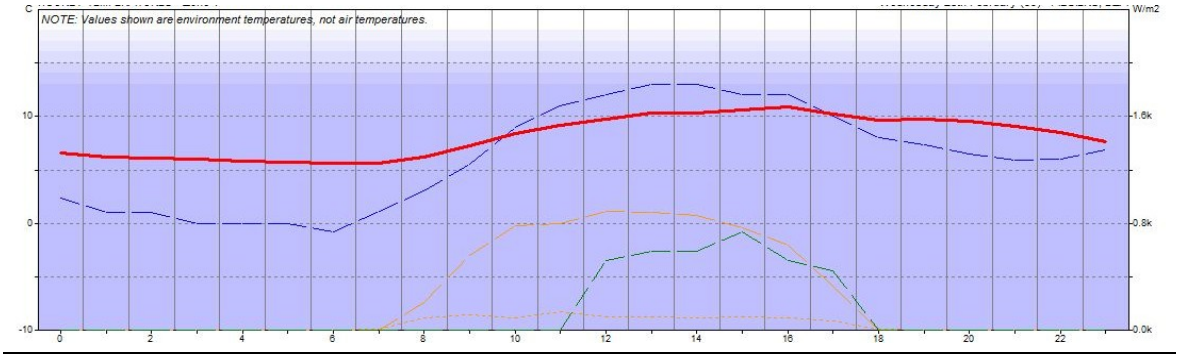
Modèle de construction	**N ° 2 : Parois en panneaux de béton préfabriqué avec isolant intégré en polystyrène et plancher en dalle de béton plein**
Saison / Mois / Jour	*Hiver / Février / 28*



Saison / Mois / Jours	*Hiver / Février / 28 – Mars / 01 et 02*

Températures intérieures (°C) Températures extérieures (°C) Vitesse du vent (m/s)
Rayonnement solaire direct (W/m²) Rayonnement solaire diffus (W/m²)

Modèle de construction	**N ° 3 : Parois en panneaux de béton préfabriqué avec isolant en laine de verre appliqué de l'intérieur et plancher en dalle de béton plein**
Saison / Mois / Jour	*Hiver / Février / 28*



Saison / Mois / Jours	*Hiver / Février / 28 – Mars / 01 et 02*

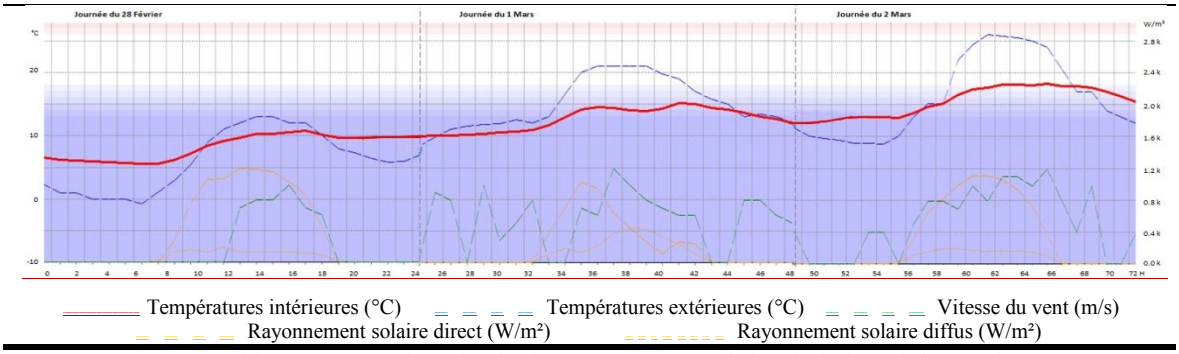


Figure 4.26. Modèles 02 et 03 - Evolution horaire des températures en période estivale durant la journée du 03 Août.
Source : Ecotect 2011 / Auteur

IV-3. 9. 2. 1. Lecture et interprétation des graphiques

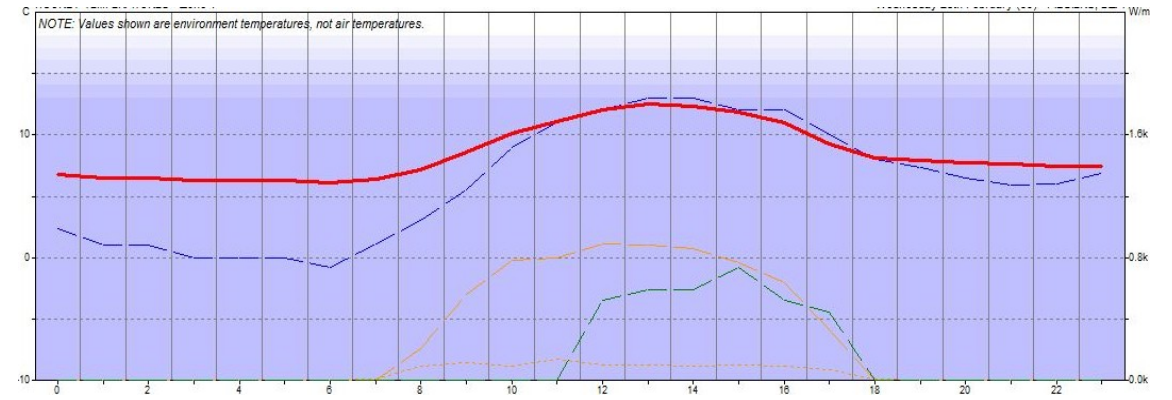
D'après les deux graphiques concernant les modèles 2 et 3, la température minimale à l'intérieur du local 2, est de 5.0 °C à 7h soit une différence de 5.8 °C avec l'extérieur. Elle est de 5,6 °C à l'intérieur du local 3 entre 6h et 7h soit une différence de 6.4 °C. La température maximale est de 10.4 °C pour le cas du local 2 soit un amortissement de 2.6 °C, et de 10.8 °C pour le local 3 soit un amortissement de 2.2 °C.

La variation des températures intérieures est peu influencée par les températures extérieures. La bonne isolation thermique de l'enveloppe des deux bâtiments constituée de béton et de couches isolantes empêche qu'il se produise d'importantes déperditions calorifiques dans les moments les plus froids de la journée ; cela se traduit par le lissage des courbes de température et l'écrêtage des pics. En effet, l'amplitude des températures est relativement faible, 5.4 °C pour le modèle 2 et 5.2 °C pour le modèle 3, ce qui est favorable au confort thermique des occupants. Il faut cependant remarquer que dans ces deux modèles, les températures trouvées se situent également au dessous des limites inférieures de la zone de confort d'hiver.

Le déphasage thermique pour ces deux bâtiments est sensiblement le même que celui qui est obtenu pour le bâtiment en briques ; cela s'explique par la valeur voisine des effusivités thermiques des parois et toitures des ces trois modèles. L'amortissement est plus important pour ces deux modèles en raison de la plus faible diffusivité des parois et de la toiture et une plus forte inertie thermique en comparaison avec le premier modèle.

IV-3. 9. 3. En saison hivernale avec modèle 04

Saison / Mois / Jour	**N ° 04 : Parois en panneaux de béton préfabriqué avec isolant indépendant appliqué de l'intérieur et plancher en éléments légers (Ex centre biomédical de l'UMMTO)**
Modèle de construction	*Hiver / Février / 28 (Journée la plus froide)*



Saison / Mois / Jours	*Hiver / Février / 28 – Mars / 01 et 02*

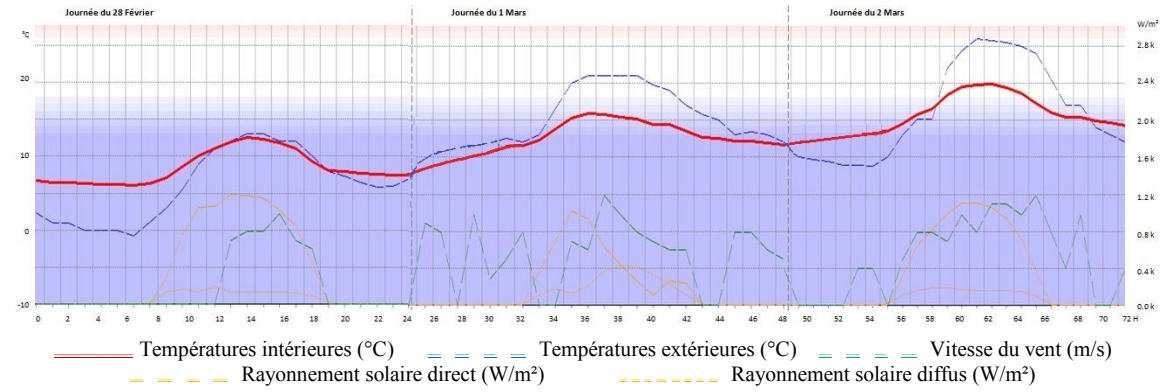


Figure 4.27. Modèle 04 - Evolution horaire des températures en période hivernale durant la journée du 28 février.
Source : Ecotect 2011 / Auteur

IV-3. 9. 3. 1. Lecture et interprétation du graphique

La température intérieure maximale est de 12.5 °C à 13h. Entre 8h et 17h, période durant laquelle des locaux administratifs ou pédagogiques sont occupés, les températures intérieures varient de 7.1 °C à 12.5 °C. Tandis qu'en dehors de cet intervalle horaire les températures intérieures varient entre 6.1 °C et 8.1 °C.

Le déphasage thermique entre l'intérieur et l'extérieur est pratiquement nul, ce qui s'explique en premier lieu par l'inertie particulièrement faible de la toiture et également par la faible effusivité de l'enveloppe générale du bâtiment. Ainsi, sa toiture légère et ses parois, dotées toutes les deux d'une bonne isolation, s'échauffent plus rapidement par l'absorption des rayons solaires et emmagasinent cette chaleur, conduisant à une augmentation du niveau de température à l'intérieur du bâtiment. Entre 11h et 18h, les courbes des températures intérieures et extérieures se confondent et entre minuit et 11h, les températures intérieures dépassent les températures extérieures, ces dernières baissant de manière plus importante.

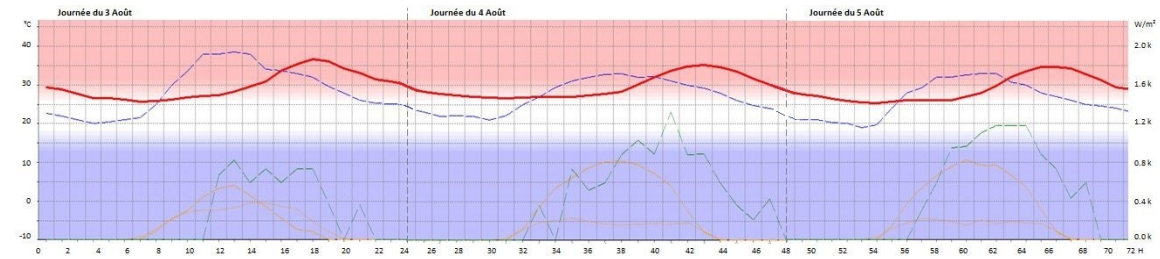
L'amplitude des variations de la température intérieure (6.4 °C) est plus faible que l'amplitude extérieure (13° C), résultat de la bonne isolation de ce bâtiment.

Comme dans les cas précédents, les températures intérieures se situent à tous les moments de la journée en dessous des limites de la zone de confort.

IV-3. 9. 4. En saison estivale avec le modèle 01

Modèle de construction	**N ° 01 : Parois en briques et planchers en corps creux**
Saison / Mois / Jour	*été / Août / 03* (Journée la plus chaude)

Saison / Mois / Jours	*été / Août / 03, 04 et 05*



Températures intérieures (°C) — Températures extérieures (°C) — Vitesse du vent (m/s)
Rayonnement solaire direct (W/m²) — Rayonnement solaire diffus (W/m²)

Figure 4.28. Modèle 01- Evolution horaire des températures extérieures et intérieures en période estivale / journée du 03 Août.
Source : Ecotect 2011 / Auteur

IV-3. 9. 4. 1. Lecture et interprétation du graphique

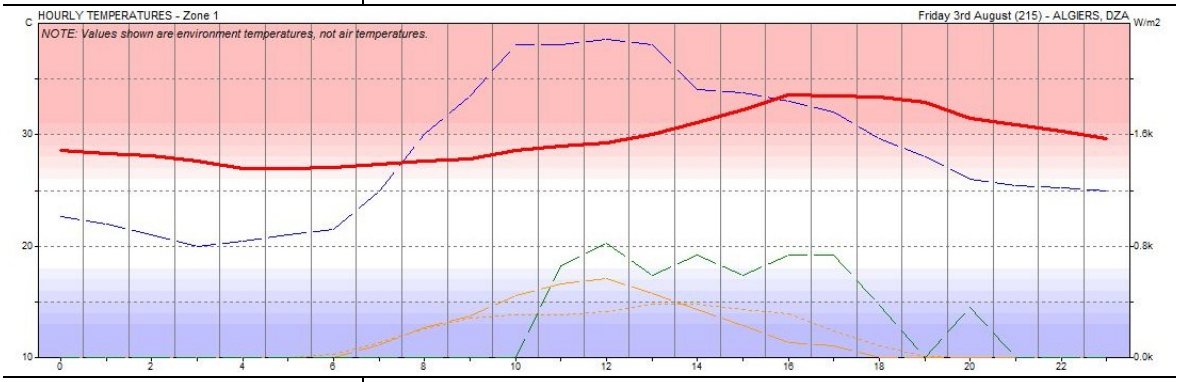
Les résultats obtenus en saison estivale durant la journée la plus chaude (le 03 Août), indiquent que la température extérieure fluctue entre un minimum de 20 °C atteint à 3h et un maximum de 38.5 °C atteint à 12h. Les températures intérieures se situent entre la valeur minimale de 25.6 °C atteinte à 6h du matin et la valeur maximale de 36.7 °C atteinte à 17h. Avec une amplitude de 8,5 °C pour l'extérieur et de 11.1 °C pour l'intérieur, les courbes de températures montrent de fortes oscillations pouvant provoquer chez les occupants une sensation d'inconfort.

Le déphasage entre les températures maximales extérieure et intérieure est de 5 heures. Cela est du à la forte inertie thermique conjuguée à la bonne effusivité thermique de l'enveloppe du bâtiment, qui retardent la diffusion des apports calorifiques extérieurs vers l'intérieur du local. Néanmoins, cette bonne inertie thermique ne suffit pas à écrêter la courbe des températures intérieures. En effet, celle-ci présente une pointe de surchauffe de 36.7 °C à 17h que l'on peut expliquer par les valeurs élevées de la conductivité et de la diffusivité thermiques de l'enveloppe (λ = 0,44 (W/m. °C) et a = 55,48 $.10^{-8}$ (m²/s) pour les murs et λ = 1.16 (W/m. °C) et a = 70, 21 $.10^{-8}$ (m²/s) pour la toiture) ce qui conduit à la réduction de la résistance thermique de l'enveloppe. Autrement dit, ce bâtiment est relativement mal isolé en raison de l'inexistence d'un dispositif d'isolation thermique efficace au sein des parois et de la toiture.

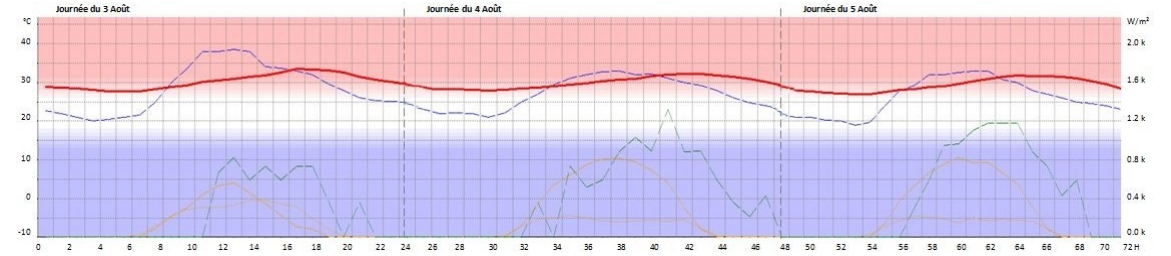
Même si on remarque une baisse des températures en début de matinée, la température reste pendant toutes ces journées chaudes au dessus de la limite de la zone de confort. On comprend par là qu'un système de climatisation est nécessaire pour assurer le confort thermique estival.

IV-3. 9. 5. En saison estivale avec le modèle 02 et le modèle 03

Modèle de construction	**N ° 2 : Parois en panneaux de béton préfabriqué avec isolant intégré en polystyrène et plancher en dalle de béton plein**
Saison / Mois / Jour	*été / Août / 03*

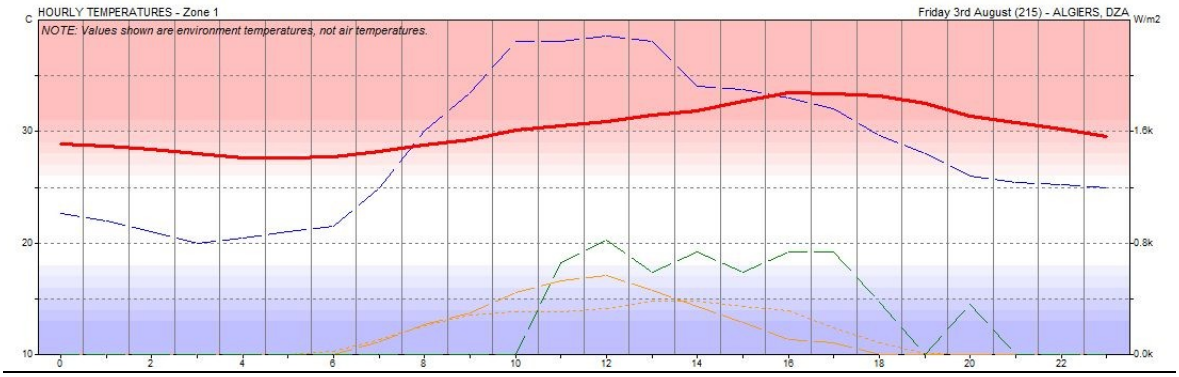


Saison / Mois / Jours	*été / Août / 03, 04 et 05*

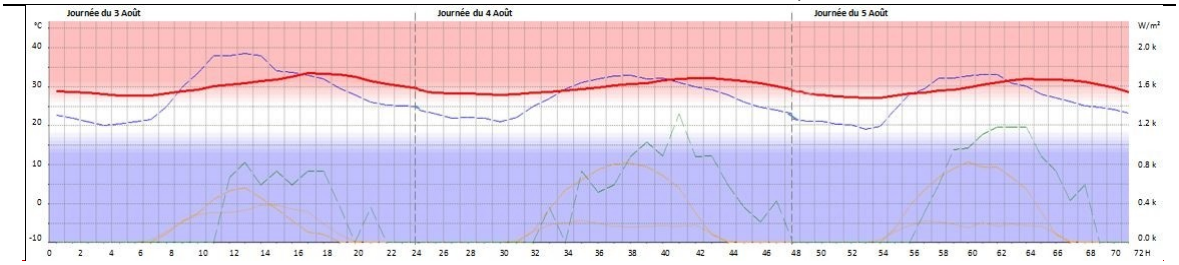


Températures intérieures (°C) Températures extérieures (°C) Vitesse du vent (m/s)
Rayonnement solaire direct (W/m²) Rayonnement solaire diffus (W/m²)

Modèle de construction	**N ° 3 : Parois en panneaux de béton préfabriqué avec isolant en laine de verre appliqué de l'intérieur et plancher en dalle de béton plein**
Saison / Mois / Jour	*été / Août / 03*



Saison / Mois / Jours	*été / Août / 03, 04 et 05*



Températures intérieures (°C) Températures extérieures (°C) Vitesse du vent (m/s)
Rayonnement solaire direct (W/m²) Rayonnement solaire diffus (W/m²)

Figure 4.29. Modèles 02 et 03 - Evolution horaire des températures en période estivale durant la journée du 03 Août.
Source : Ecotect 2011 / Auteur

IV-3. 9. 5. 1. Lecture et interprétation des graphiques

La simulation des modèles de constructions 2 et 3 - équipées de panneaux de façade en béton préfabriqué avec une isolation intégrée pour l'un et appliquée de l'intérieur pour le second et comportant tous les deux une toiture en dalle de béton plein - montre des résultats similaires. En effet, les courbes de températures intérieures affichent une allure sans pointes de chaleur, quasi-identique pour les deux modèles, avec des températures légèrement plus élevées en milieu de journée à l'intérieur du modèle 3.

Pour la journée la plus chaude de l'été (température maximale extérieure de 38.5 °C), nous relevons à l'intérieur du local 2 une température minimale de 26.9 °C à 5h du matin et une température maximale de 33.5 °C à 16h, tandis qu'à l'intérieur du local 3 elle est de 27.7 °C entre 4h et 6h du matin pour une température maximale de 33.5 atteinte à 16h. L'écart maximal de température dans le local 2 est de 6.6 °C ; il est égal à 5.8 °C pour le local 3. Nous remarquons aussi que les températures intérieures calculées sont toutes localisées en dehors de la zone de confort d'été. Avec une baisse de température durant la matinée et une hausse durant l'après midi et en soirée, les courbes de température pour ces deux modèles suivent une évolution semblable à celle du modèle 1 avec des sommets moins prononcés.

Le déphasage thermique entre l'environnement extérieur et le climat intérieur de ces locaux est d'environ 5 heures. Les apports calorifiques externes ont traversé l'enveloppe des locaux, avec une atténuation d'amplitude et un différé dans le temps ; par comparaison au modèle 1, ces locaux ont une inertie et une effusivité thermiques légèrement supérieures ce qui conduit à un déphasage aussi important voir un peu plus grand dans ce cas. De plus, leur enveloppe est mieux isolée que le bâtiment en briques, ce qui explique un meilleur écrêtage des sommets de température.

Lorsqu'on augmente la fraction volumique de béton dans une paroi isolée par une couche de polystyrène, l'effusivité et la capacité thermiques de la paroi augmentent entrainant ainsi une augmentation du déphasage thermique. Pour obtenir un mur thermiquement performant, il faudrait incorporer dans cette paroi un dispositif d'isolation thermique performant, de façon à réduire sa conductivité thermique et par conséquent sa diffusivité thermique. C'est le cas du mur proposé par Voellinger Thierry[181] qui a élaboré dans le domaine de la préfabrication en béton un mur « idéal » d'épaisseur 35 cm, en

[181] Voellinger T., 2012, « Le mur a haute performance thermique. Evolution et perspectives de la façade porteuse en béton préfabriqué à Genève dès 1973 », thèse de doctorat soutenue le 28 septembre 2012 à la faculté de l'environnement naturel, architectural et construit de l'école polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse.

utilisant une couche d'isolant ultra performant pour ramener la conductivité thermique globale de la paroi à une valeur de 0,1 W/m² K.

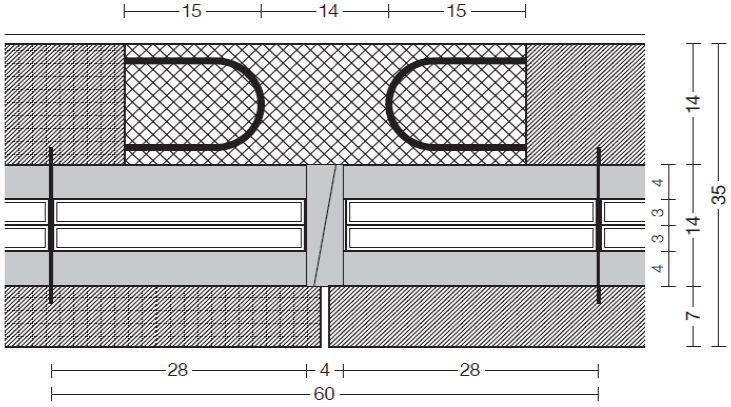
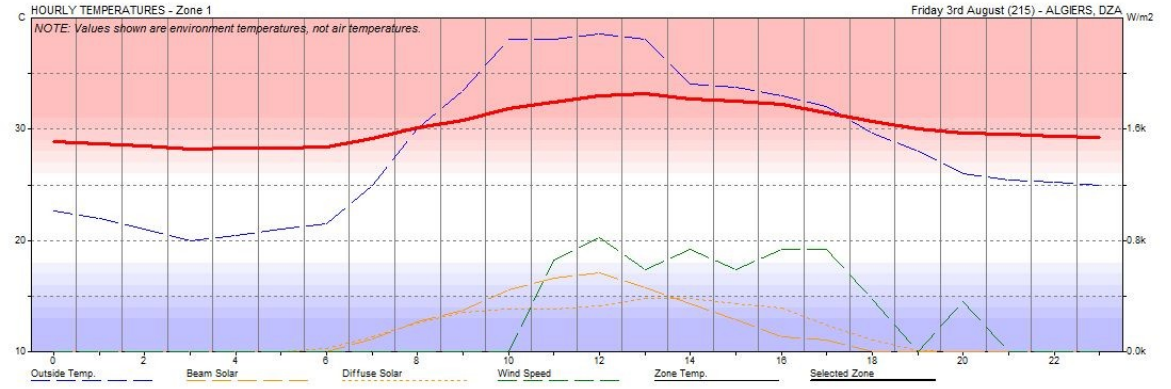


Figure 4.30. Dessin d'une coupe sur panneau porteur en béton préfabriqué et à haute performances thermiques (projet pilote). **Source :** Voellinger T., 2012, Op Cit, p.109.

Figure 4.31. Tranche d'un panneau porteur en béton préfabriqué et à haute performances thermiques (projet pilote). **Source :** Voellinger T., 2012, Op Cit, p.110.

IV-3. 9. 6. En saison estivale avec le modèle 04

Modèle de construction	**N ° 04 : Parois en panneaux de béton préfabriqué avec isolant indépendant appliqué de l'intérieur et plancher en éléments légers (Ex centre biomédical de l'UMMTO)**
Saison / Mois / Jour	*été / Août / 03*



Saison / Mois / Jours	*été / Août / 03, 04 et 05*

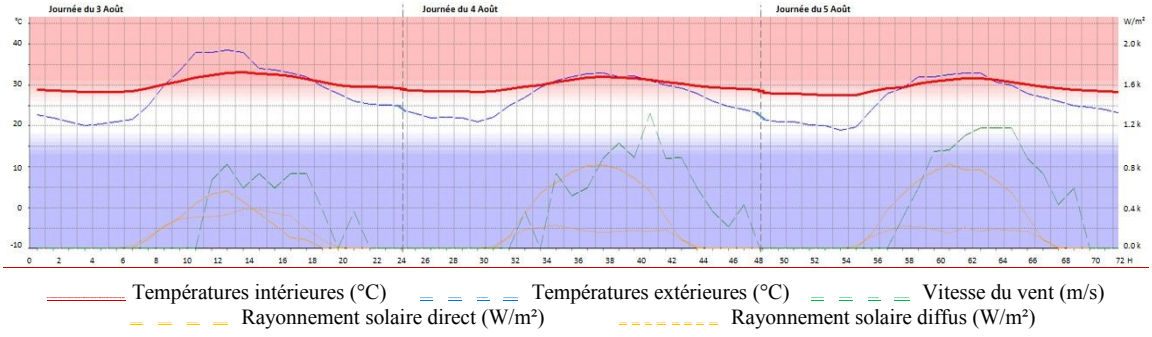


Figure 4.32. Modèle 04 - Evolution horaire des températures en période estivale durant la journée du 03 Août.
Source : Ecotect 2011 /Auteur

IV-3. 9. 6. 1. Lecture et interprétation du graphique :

Le graphique ci-dessus montre que les températures intérieures varient entre un minimum de 28.2 °C atteint à 3h du matin et un maximum de 33.2 °C atteint à 13h, soit un écart de 5.0 °C, beaucoup plus faible que l'écart thermique extérieur (18.5 °C). L'amortissement du signal thermique par ce bâtiment est donc important. Le déphasage entre les températures maximales extérieure et intérieure est faible ; il est de l'ordre de 1 heure environ ce qui traduit la faiblesse de l'inertie thermique de l'enveloppe du bâtiment notamment par sa toiture composée d'éléments légers, incapable de stocker de la chaleur.

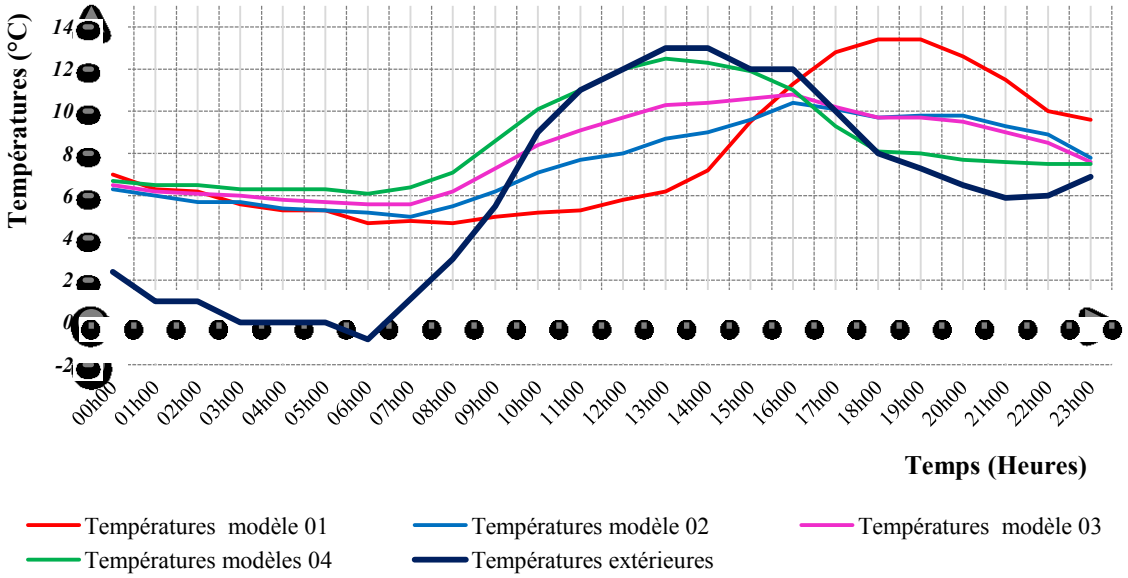
Les températures intérieures sont à la limite de la zone de confort d'été en subissant une légère augmentation en matinée et après midi, coïncidant avec l'accroissement du rayonnement solaire et des fortes chaleurs.

Le bâtiment du 4^{éme} modèle possède une résistance thermique beaucoup plus importante que les trois autres types de construction. Cela est du à la plus faible conductivité thermique des matériaux qui composent ses parois (0,13 W/ m.K) et sa toiture (0,183 W/m.K). Cela entraine un amortissement plus important des variations de la température intérieure en corrélation avec l'extérieur. En parallèle, l'isolation plus performante de cet immeuble a pour conséquence l'augmentation de l'écart ΔT entre la température moyenne à l'intérieur du bâtiment et la température moyenne à l'extérieur. En d'autres termes, la mauvaise conductance de cette enveloppe empêche la chaleur emmagasinée dans la journée de s'évacuer en soirée.

Le déphasage thermique de ce bâtiment est minime, c'est du principalement à la faible effusivité combinée de ses parois et de sa toiture ainsi qu'à sa capacité thermique beaucoup plus réduite que pour les autres types de construction (toiture légère).

IV-3. 9. 10. Synthèse

IV-3. 9. 10. 1. En saison hivernale



	00H00	01H00	02H00	03H00	04H00	05H00	06H00	07H00	08H00	09H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00	15H00	16H00	17H00	18H00	19H00	20H00	21H00	22H00	23H00
Modèle 01	7.0	6.3	6.2	5.6	5.3	5.3	4.7	4.8	4.7	5.0	5.2	5.3	5.8	6.2	7.2	9.5	11.3	12.8	13.4	13.4	12.6	11.5	10.0	9.6
Modèle 02	6.3	6.0	5.7	5.7	5.4	5.3	5.2	5.0	5.5	6.2	7.1	7.7	8.0	8.7	9.0	9.6	10.4	10.1	9.7	9.8	9.8	9.3	8.9	7.8
Modèle 03	6.5	6.2	6.1	6.0	5.8	5.7	5.6	5.6	6.2	7.3	8.4	9.1	9.7	10.3	10.4	10.6	10.8	10.2	9.7	9.7	9.5	9.0	8.5	7.6
Modèle 04	6.7	6.5	6.5	6.3	6.3	6.3	6.1	6.4	7.1	8.6	10.1	11	12	12.5	12.3	11.9	11.0	9.3	8.1	8.0	7.7	7.6	7.5	7.5
Extérieur	2.4	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	-0.8	1.1	3.0	5.5	9.0	11.0	12.0	13.0	13.0	12.0	12.0	10.0	8.0	7.3	6.5	5.9	6.0	6.9

Figure 4.33. Synthèse des résultats obtenus pour les quatre modèles simulés en période hivernale. **Source :** Auteur

En se référant au schéma de la figure 4.34, qui représente la demande en chauffage des bâtiments en saison hivernale en fonction de leur vocation, nous pouvons déduire que les bâtiments érigés en parois de briques creuses et plancher en corps creux, ne conviennent pas aux établissements administratifs, scolaires ou universitaires, utilisés essentiellement pendant la journée. Grace à sa forte inertie thermique, l'enveloppe de ce type de bâtiments emmagasine la chaleur provenant du rayonnement solaire et la diffuse vers l'intérieur en fin d'après-midi ou en début de soirée, moments où ces établissements sont inoccupés. En revanche, elle conviendrait bien au le logement, même s'il sera nécessaire de recourir au chauffage d'appoint pour assurer le confort thermique d'hiver, surtout durant la nuit et

jusqu'en fin de matinée. Le même constat est à faire pour les constructions dotées de murs en béton préfabriqué et une toiture en béton plein des modèles 2 et 3. Elles se caractérisent par un déphasage thermique aussi important que pour les constructions en briques en raison de leur capacité thermique de même niveau ; cependant, comme elles sont un peu mieux isolées – la diffusivité et la conductivité thermiques des parois et toitures de ce modèle sont plus intéressantes - l'amortissement thermique est plus important.

Pour les établissements utilisés uniquement durant la journée comme les écoles et les bureaux, la structure préfabriquée de l'ex centre biomédical est la mieux indiquée en période hivernale. Son faible déphasage thermique (quasiment nul) permet de transmettre sans délai vers l'intérieur, la chaleur emmagasinée par suite de l'élévation immédiate de la température des parois de ce bâtiment ; ce qui permet de profiter de cet apport calorifique à un moment où les lieux sont occupés. Ce qu'il faut également retenir de cette construction, c'est sa bonne isolation. Cette propriété est particulièrement intéressante en hiver car elle permet de conserver pour la nuit les apports externes diurnes et les apports calorifiques internes dus aux occupants et aux machines. On reconnait ce caractère dans les courbes de température à l'importance relative de la différence entre la température moyenne extérieure et la température moyenne intérieure.

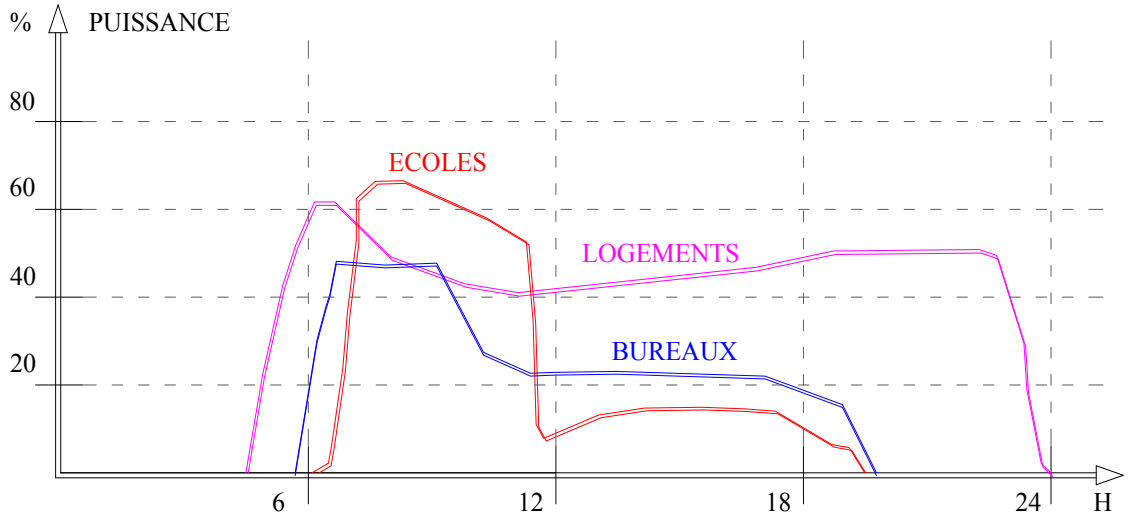
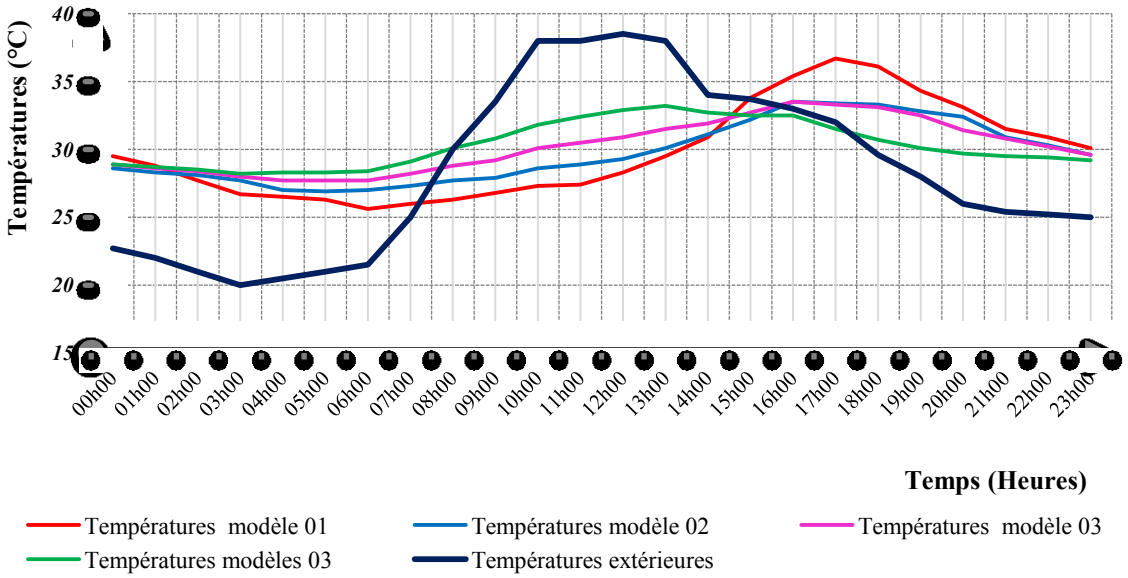


Figure 4.34. Evolution de la demande de chauffage au cours de la journée.
Source : Liébard A., De Herde A., 2005, Op Cit, p. 93b / Auteur.

IV-3. 9. 10. 2. En saison estivale



	00H00	01H00	02H00	03H00	04H00	05H00	06H00	07H00	08H00	09H00	10H00	11H00	12H00	13H00	14H00	15H00	16H00	17H00	18H00	19H00	20H00	21H00	22H00	23H00
Modèle 01	**29.5**	**28.8**	**27.7**	**26.7**	**26.5**	**26.3**	**25.6**	**26.0**	**26.3**	**26.8**	**27.3**	**27.4**	**28.3**	**29.5**	**30.9**	**33.8**	**35.4**	**36.7**	**36.1**	**34.3**	**33.1**	**31.5**	**30.9**	**30.1**
Modèle 02	**28.6**	**28.3**	**28.1**	**27.7**	**27.0**	**26.9**	**27.0**	**27.3**	**27.7**	**27.9**	**28.6**	**28.9**	**29.3**	**30.1**	**31.1**	**32.2**	**33.5**	**33.4**	**33.3**	**32.8**	**32.4**	**30.9**	**30.3**	**29.6**
Modèle 03	**28.9**	**28.6**	**28.4**	**28.0**	**27.7**	**27.7**	**27.7**	**28.2**	**28.8**	**29.2**	**30.1**	**30.5**	**30.9**	**31.5**	**31.9**	**32.7**	**33.5**	**33.3**	**33.1**	**32.5**	**31.4**	**30.8**	**30.2**	**29.6**
Modèle 04	**28.9**	**28.7**	**28.5**	**28.2**	**28.3**	**28.3**	**28.4**	**29.1**	**30.1**	**30.8**	**31.8**	**32.4**	**32.9**	**33.2**	**32.7**	**32.5**	**32.2**	**31.5**	**30.7**	**30.1**	**29.7**	**29.5**	**29.4**	**29.2**
Extérieur	**22.7**	**22.0**	**21.0**	**20.0**	**20.5**	**21.0**	**21.5**	**25.0**	**30.0**	**33.5**	**38.0**	**38.0**	**38.5**	**38.0**	**34.0**	**33.7**	**33.0**	**32.0**	**29.6**	**28.0**	**26.0**	**25.4**	**25.2**	**25.0**

Figure 4.35. Synthèse des résultats obtenus pour les quatre modèles simulés en période estivale. **Source :** Auteur

Durant l'été, les constructions en brique creuse semblent avoir en occupation diurne un avantage sur les autres types de construction car ce modèle est celui qui offre les températures intérieures les plus basses entre 2h et 15h. Cependant, après 15h, c'est un effet inverse qui se produit : les températures intérieures atteignent le niveau le plus élevé avec 36.7 °C. Cela s'explique par une bonne inertie thermique de l'enveloppe conjuguée à une isolation suffisamment imparfaite (diffusivité suffisamment grande) qui laisse rafraichir les parois pendant la nuit. Ce type de constructions conviendrait à des établissements abritant des locaux administratifs à condition de les équiper d'une isolation du côté intérieur des parois pour permettre aux calories de repartir la nuit en sens inverse sans qu'il n y ait de grande résistance.

En revanche, la structure préfabriquée de l'ex centre biomédical ne conviendrait pas à une occupation diurne pendant la saison estivale. Comme le montre le graphique ci-dessus, les températures intérieures calculées entre 7h et 18h sont relativement plus élevées pour ce bâtiment et sont largement au dessus du niveau de confort ; ceci sans tenir compte des apports internes dus aux occupants, à l'éclairage ou à des appareils électriques en fonctionnement. Cependant, ce problème ne se pose pas vraiment pour les établissements scolaires et universitaires en raison du fait qu'ils ne sont généralement pas ou peu occupés pendant cette saison.

Les résultats de la simulation montrent que les modèles 2 et 3 à parois en béton préfabriqué et comportant une toiture en béton également réalisent le meilleur compromis du point de vue du comportement thermique estival : une bonne inertie thermique pour différer vers la fin de journée les apports calorifiques solaires et une bonne isolation de l'enveloppe pour amortir les pics de chaleur extrême. Ce qui devrait convenir aux locaux occupées continuellement comme les constructions à usage d'habitation, en préférant le modèle isolé par le coté intérieur (modèle 3).

Conclusion

Dans la première partie de ce chapitre consacrée aux mesures de températures et d'humidités à l'intérieur des salles du complexe biomédical, nous avons noté dans une première lecture de ces résultats que l'enveloppe en panneaux de béton préfabriqués de la structure présente un comportement thermique acceptable, c'est-à-dire des fluctuations de la valeur des températures et humidités peu importantes. Cela dénote de la bonne isolation du bâtiment. Néanmoins, les températures intérieures sont situées en dehors de la zone dite de confort aussi bien en été qu'en hiver. L'usage de systèmes de chauffage ou de rafraichissement d'appoint sera de ce point de vue inévitable.

Les deux bilans thermiques, estival et hivernal, ont montré que les fenêtres est lieu par lequel transite la plus grande part des déperditions hivernales ou des apports indésirables en été. Les transferts thermiques à travers les parois et la toiture ne représentent que le tiers environ des échanges de chaleur avec le milieu extérieur. Le reste des transferts, environ 20 % se fait par infiltration d'air à travers les jointures des fenêtres et également lors des échanges avec les espaces intérieurs.

Les vérifications réglementaires effectuées par comparaison avec les bilans préconisés par les DTR sont positives et montrent par conséquent que ce type de construction est acceptable du point de vue de la réglementation thermique régissant les constructions en Algérie.

La simulation élaborée à l'aide de l'outil Ecotect Analysis 2011, est une étape importante de notre étude. Elle permet de bien comprendre le comportement thermique des constructions en panneaux de béton préfabriqué à travers une étude comparative du comportement thermique de quatre types de constructions.

Les résultats obtenus ont montré qu'à l'inverse des constructions traditionnelles composées de murs de briques et de planchers en corps creux, les deux salles du complexe biomédical présente une faible inertie thermique et une bonne isolation. Leur constitution est favorable à l'utilisation en période diurne, à l'exclusion de la période estivale, car elles permettent de transmettre sans délai les apports calorifiques solaires et de garder cette chaleur pendant toute la journée en évitant les pics de froid. Ce qui les recommande pour leur utilisation en établissements scolaires.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Dans notre pays, les exigences de confort dans les bâtiments ne cessent d'augmenter et en parallèle, les solutions techniques pour le chauffage et le rafraichissement se multiplient en restant très souvent et malheureusement surconsommatrices d'énergie. En contradiction avec les principes du développement durable qui s'étendent et se généralisent de plus en plus au domaine de la construction, les bâtiments deviennent ainsi responsables d'un gaspillage énergétique démesuré. Les travaux réalisés dans ce mémoire s'inscrivent justement dans cette logique qui vise à réduire la facture énergétique en concevant des bâtiments en parfaite adéquation avec leur environnement physique, climatique et socio-économiques.

Depuis de longues années, l'Algérie est confrontée à l'enjeu majeur de produire vite et à des prix raisonnables d'importantes quantités de logements et d'établissements publics divers. Beaucoup de constructions sont réalisées en employant les méthodes industrialisées dont la préfabrication. Pour entamer cette recherche, nous avions émis la problématique de savoir quelles seraient les potentialités, les difficultés et les enjeux portés par ce type de construction et si véritablement les considérations climatiques et de confort thermique sont prises en compte lors des processus de conception et réalisation. Aussi, il est question de s'interroger sur les moyens qui permettraient d'éviter les erreurs du passé dans le traitement de l'efficacité et qualité thermiques du bâtiment en Algérie, dans les constructions traditionnelles ou même industrialisées, d'autant plus que l'état algérien affirme une volonté de renouer avec les techniques de préfabrication en les généralisant à l'ensemble des constructions de logements dans le territoire national.

Dès l'entame de la présente recherche, et dans le premier chapitre, nous avons mis en évidence les principaux aspects de l'industrialisation et la préfabrication du bâtiment à travers la synthèse et l'analyse d'un grand nombre de données essentielles afin de cerner les enjeux de ce type de constructions, ses avantages et ses inconvénients. Nous avons commencé par examiner et identifier les paramètres les plus importants ayant mené à l'avènement des méthodes de l'industrie dans un domaine dominé jusque là par l'usage de techniques basiques dites traditionnelles. Ce sont principalement des facteurs techniques, économiques et sociaux : il fallait construire « mieux », rapidement et à moindre coût.

En portant un regard sur l'historique de la naissance et sur l'évolution de l'industrialisation et de la préfabrication de l'acte de bâtir en France puis en Algérie

française ou indépendante, nous avons constaté que la préfabrication en Algérie est fortement influencée par les procédés d'origine française. Ainsi, les deux usines de préfabrication de logements en béton érigées dès 1959 par le constructeur français Raymond Camus, sur le sol algérien ont continué à être exploitées pendant quelques années par des entreprises du secteur public algérien comme la Sonatiba ou l'Ecotec. Nous avons mis en évidence l'apport décisif du courant d'architecture moderne et de certains pionniers architectes comme Le Corbusier, Auguste Perret ou encore François Hennebique pour faire accepter par les spécialistes et le grand public l'usage du béton préfabriqué dans les chantiers de construction.

Cependant, nous n'avons pas manqué de rappeler les problèmes récurrents liés à la préfabrication du bâtiment et parmi lesquels on trouve en premier lieu et avec acuité l'aspect architectural et esthétique, mais aussi des problèmes secondaires comme l'étanchéité à l'air et à l'eau et également le confort thermique, un problème que nous avons choisi d'analyser dans cette étude.

Partant de cette observation et avant d'entamer une approche pratique, nous avons procédé à une étude bibliographique synthétique de l'ensemble des connaissances relatives à la notion du confort thermique des individus. Cette étude complexe a fait l'objet du second chapitre où nous avons montré qu'il existe essentiellement deux approches du confort thermique selon l'angle sous lequel est abordée et analysée cette question : l'approche adaptative qui intègre la faculté de l'homme à s'adapter aux conditions thermiques de son environnement et l'approche analytique que nous avons privilégié dans cette étude et qui s'arrête aux conditions elles-mêmes, celles qui résultent de l'interaction de l'enveloppe du bâtiment avec le milieu extérieur.

Afin de mener à bien ce travail, nous avons inséré dans le troisième chapitre, une analyse multidimensionnelle du contexte global de l'étude en traitant particulièrement les aspects climatique et urbain. La finalité de ce chapitre consiste, entre autres, en une opération de reconnaissance de constructions préfabriquées réalisées sur le territoire de la wilaya de Tizi-Ouzou et inventorier les différents types et procédés de préfabrication en béton. Ainsi, nous avons recensé deux résidences universitaires, cinq lycées, un établissement universitaire et plusieurs cités d'habitation. C'est sur cette base que nous avons arrêté quatre modèles de construction sur lesquels nous avons mené une étude comparative du comportement thermique.

Dans l'optique d'apporter les premiers éléments de réponse à notre problématique et vérifier les hypothèses émises au début de ce mémoire, nous avons commencé par l'étude du confort thermique dans les locaux de l'ex centre biomédical de Tizi-Ouzou à travers des mesures et au moyen de bilans thermiques estival et hivernal. Les résultats de cette étude montrent globalement que cette construction en panneaux de béton préfabriqué et toiture légère est globalement bien isolée, l'amplitude des variations de la température et de l'humidité étant bien amortie dans leur évolution journalière. Par ailleurs, elle vérifie amplement les normes énergétiques algériennes fixées par les documents techniques réglementaires. Cependant, cette construction a une faible inertie thermique entrainant un déphasage avec l'environnement extérieur relativement faible. Cela peut représenter un inconvénient majeur notamment en saison estivale ; cependant, dans le cadre de sa fonctionnalité actuelle d'enceinte pédagogique, utilisation essentiellement diurne et vacance estivale, cette caractéristique représente plutôt un avantage. Elle permet de bénéficier instantanément des apports solaires et ce pour toute la durée de l'année scolaire. Finalement, les deux caractéristiques de cet établissement, faible inertie et bonne isolation, offrent des conditions de confort thermique intéressantes vis-à-vis de la fonctionnalité qui leur est destinée.

Nous avons mené par simulation numérique une étude comparative du comportement thermique de quatre types de bâtiments :

- **Modèle 1** : dite traditionnelle en murs de briques creuses et toiture en corps creux ;
- **Modèle 2** : une construction munie de parois en béton préfabriqué comportant un isolant interne en polystyrène et une toiture en béton ;
- **Modèle 3** : une construction à parois en béton préfabriqué, différente de la précédente par la position et la nature de la couche isolante ; elle est disposée dans ce cas du coté intérieur ;
- **Modèle 4** : une construction identique à celle de l'ex centre biomédical, comportant des parois en béton préfabriqué isolées de l'intérieur et caractérisée par une toiture légère mieux isolée.

Cette étude menée à l'aide de l'outil Ecotect Analysis 2011, a conduit aux conclusions suivantes :

✓ **Isolation thermique** : Le modèle 1 traditionnel est le moins bien isolé ; la lame d'air située entre les deux parois de brique ne constitue pas un dispositif d'isolation

performant. La résistance thermique globale de l'enveloppe pour le modèle 4 est la plus forte, principalement du fait de l'isolation plus élaborée de la toiture ;

- ✓ **Inertie thermique** : Elle est plus importante pour les trois premiers modèles, dont l'enveloppe comporte des toitures plus lourdes en plus des parois de grande capacité thermique ;

Du point de vue du comportement thermique, le déphasage est nettement plus important pour les modèles 1, 2 et 3, il est de l'ordre de cinq heures pour ces bâtiments contre moins d'une heure en moyenne pour la construction de l'ex centre biomédical. Cette propriété est essentiellement intéressante en saison estivale car elle permet de différer les pointes de chaleur diurnes vers la fin de journée, un moment où la température à l'extérieur est plus clémente. Cependant, pour ces trois modèles, il serait souhaitable de renforcer l'isolation générale de l'enveloppe et augmenter leur résistance thermique. Pour les modèles 2 et 3, les parois en béton préfabriqué sont bien isolées, par contre, la résistance thermique de la toiture en béton n'est pas suffisante et constitue de ce fait leur point faible. Dans le cas du premier modèle, cet effort d'isolation doit être fait également pour les murs. Pour éviter les surchauffes nocturnes en période estivale et faciliter en fin journée l'évacuation vers l'extérieur, de la chaleur accumulée dans l'enveloppe, le renfort de l'isolation par le coté intérieur sera privilégié dans tous les cas. En respectant cette recommandation et en contrôlant les apports ou déperditions de chaleur à travers les surfaces vitrées, les constructions des modèles 2 et 3 présenteraient des performances intéressantes en termes de confort thermique en vue de leur application à des immeubles à usage d'habitation.

Concernant le modèle 4, la simulation numérique de son comportement confirme tous les résultats que nous avons obtenus dans l'approche expérimentale et par les bilans thermiques : une faible inertie thermique, conduisant à un déphasage avec le milieu extérieur quasiment nul et une bonne isolation générale qui se traduit dans les courbes de température interne par un amortissement substantiel de ses fluctuations et un gain thermique plus important que pour les trois autres modèles. Ces caractéristiques en font le modèle le mieux adapté aux occupations diurnes comme dans les bâtiments à usage pédagogique.

À l'issue de cette recherche, nous pouvons affirmer que même si ces constructions ont été réalisées dans l'urgence, l'aspect du confort thermique n'a finalement pas été totalement négligé. Cependant, comme c'est le cas de tous les types de constructions

contemporaines, des insuffisances dans les performances thermiques de ces constructions en béton préfabriqué demeurent. Leur confort doit être amélioré et optimisé comme pour les constructions traditionnelles par l'incorporation en saison estivale de dispositifs bioclimatiques classiques comme les murs végétaux, les masques solaires ou encore en faisant appel en hiver à des énergies propres et renouvelables comme l'énergie solaire passive ou l'énergie géothermique...

Cette étude se veut comme une contribution générale dans le domaine de l'architecture des bâtiments industrialisés et en particulier dans l'aspect du confort thermique de constructions modernes qui utilisent les potentialités actuelles en termes de moyens techniques et de matériaux élaborés. Les enjeux visés sont l'amélioration du confort de ces constructions et s'inscrivent dans un souci de développement durable synonyme d'économie d'énergie traditionnelle et de promotion des énergies renouvelables. Toutefois, ce travail demeure une ébauche dans ces investigations et se limite à la question du confort thermique ; il nécessite par conséquent d'être complété par des travaux sur d'autres aspects tout aussi importants de ce type de constructions.

LISTES DES FIGURES ET TABLEAUX

Liste des figures

Chapitre Introductif

Figure 1. Structure du mémoire …..…… 8

Chapitre I.

Figure 1.1. Banche spéciale en cours de déplacement pour coffrage d'une tour à Paris …….. 17
Figure 1.2. Banche de grande dimension pour coffrage d'une tour à Paris ……. 17
Figure 1.3. Table spéciale pour coffrage de la dalle d'une tour, Paris …… 18
Figure 1.4. Table spéciale pour coffrage de la dalle d'une tour, Paris …… 18
Figure 1.5. Coffrage-Tunnel transversal - entreprise SGE, France ……... 18
Figure 1.6. Coffrage-Tunnel longitudinal - entreprise SGE, France ……. 18
Figure 1.7. Coffrage métallique pour les poteaux dans un chantier de 350 logements, France ……. 20
Figure 1.8. Usine de préfabrication à Melun, France ……. 21
Figure 1.9. Usine de préfabrication à Melun, France ……. 21
Figure 1.10. Portrait d'Auguste Perret …… 23
Figure 1.11. Vue partielle du centre ville reconstruit du Havre ……... 24
Figure 1.12. Usines Camus opérationnelles à travers le monde en 1960 …… 25
Figure 1.13. Façade de l'immeuble préfabriqué implanté dans l'ilot 17 …… 26
Figure 1.14. Portrait de Raymond Camus …… 26
Figure 1.15. Publicité pour le procédé Camus, années 1950 ……... 27
Figure 1.16. Coupe horizontale sur un panneau en béton préfabriqué. L'isolation thermique y est continue. Au droit des potelets verticaux, une plaque d'isolant (polystyrène expansé) coupe le pont thermique ……. 29
Figure 1.17. Coupe verticale sur un panneau en béton préfabriqué montrant l'isolation thermique en feuilles de polystyrène expansé …….. 29
Figure 1.18. Expressions plastiques des éléments préfabriqués Camus …… 30
Figure 1.19. Façade constituée d'éléments préfabriqués Camus, France …… 30
Figure 1.20. Cité d'habitation construite avec le procédé Camus à Skikda …….. 32
Figure 1.21. Cité d'habitation construite avec le procédé Camus à Skikda …….. 32
Figure 1.22. Plans d'ensemble des installations de l'usine de préfabrication Camus de Constantine …….. 32
Figure 1.23. Coupe principale sur les installations de l'usine de préfabrication Camus de Constantine ……..…… 33
Figure 1.24. Coupes principales sur les installations de l'usine de préfabrication Camus de Philippeville (Skikda) ……... 33
Figure 1.25. panneaux de façades entrain d'être préfabriqués en usine ……... 41
Figure 1.26. Préfabrication foraine desservie par portique et grue ……... 41
Figure 1.27. Démolition des bâtiments de la résidence universitaire «Réhahlia» de Tizi-Ouzou construite en béton cellulaire préfabriqué …….. 45

Figure 1.28. Les panneaux de façade et les planchers en béton armé préfabriqué de la cité des 48 Logements «Réhahlia» …… 45
Figure 1.29. Calfeutrement en mortier de ciment improvisé par les habitants d'un immeuble de la cité des 510 logements OPGI à Tizi-Ouzou ……. 49

Chapitre II.

Figure 2.1. La température de surface est pondérée par l'angle solide par lequel la personne voit la surface ……. 54
Figure 2.2. La température opérative dépend de celle de l'air et des parois ……. 55
Figure 2.3. Complémentarité des températures ambiante et radiante moyenne …. 55
Figure 2.4. La plage de confort thermique pour une activité de bureau …… 56
Figure 2.5. Répartition moyenne des déperditions dans une maison individuelle neuve ……. 57
Figure 2.6. Réaction d'un local à forte inertie et d'un local à faible inertie à des apports solaires …….. 59
Figure 2.7. Interaction thermique entre le corps humain et son environnement .. 60
Figure 2.8. Valeurs de métabolisme en (Met) selon l'activité de l'individu ……. 61
Figure 2.9. Valeurs de la résistance thermique de la vêture en « clo » …… 62
Figure 2.10. Echelle de sensation thermique de l'ASHRAE ……... 65
Figure 2.11. Relation entre les indices PPD et le PMV …….. 65
Figure 2.12. Représentation des mécanismes d'adaptation …….. 66
Figure 2.13. Déperditions calorifiques totales selon le D.T.R C-3-2 ……. 69
Figure 2.14. Apports calorifiques totaux selon le D.T.R C-3-4 ……... 70
Figure 2.15. Les principes du confort d'hiver ……. 72
Figure 2.16. Les principes du confort d'été ……. 73
Figure 2.17. Principe de fonctionnement du mur capteur accumulateur …… 74
Figure 2.18. Principe de fonctionnement d'une serre bioclimatique ……. 75
Figure 2.19. Principe de fonctionnement d'un capteur à air ……... 76
Figure 2.20. Principe de fonctionnement d'un puits Canadien ……... 76

Chapitre III.

Figure 3.1. Tizi-Ouzou à l'échelle nationale …….…….... 79
Figure 3.2. Situation de la commune de Tizi-Ouzou ……. 80
Figure 3.3. Vue globale sur la ville de Tizi-Ouzou ……... 80
Figure 3.4. Vue sur la façade principale de la faculté des sciences médicales de l'UMMTO …… 89
Figure 3.5. Délimitation de la faculté des sciences médicales de l'UMMTO ….. 89
Figure 3.6. Plan d'aménagement de la résidence universitaire « Réhahlia » 90
Figure 3.7. Bloc « Logements d'astreinte » situé à l'intérieur de la RU Réhahlia .. 90
Figure 3.8. Lycée Technicum de Tizi-Ouzou ……. 90
Figure 3.9. Plan d'aménagement du Lycée Technicum de Tizi-Ouzou …….. 90

Figure 3.10. Plan d'aménagement de la cité des 72 logements « ENIEM » …… 91
Figure 3.11. Cité des 72 logements « ENIEM » …….. 91
Figure 3.12. Cité des 48 logements « Réhahlia » …… 91
Figure 3.13. Plan d'aménagement de la cité des 48 logements « Réhahlia » ……. 91
Figure 3.14. Plan d'aménagement de la cité des 450 logements EPLF ……... 92
Figure 3.15. Immeuble type de la cité des 450 logements EPLF …… 92
Figure 3.16. Immeuble type de la cité des 600 logements GeniSider ……. 92
Figure 3.17. Plan d'aménagement de la cité des 600 logements GeniSider …… 92
Figure 3.18. Cité des 510 logements OPGI ……. 93
Figure 3.19. Plan d'aménagement de la cité des 510 logements OPGI ……... 93
Figure 3.20. Vue 1 sur l'ex centre biomédical ……. 94
Figure 3.21. Vue 2 sur l'ex centre biomédical ……. 94
Figure 3.22. Vue 3 sur l'ex centre biomédical ……. 94
Figure 3.23. Plan masse de l'ex centre biomédical ……..... 94
Figure 3.24. Page de garde du contrat Wilaya de Tizi-Ouzou / PASCAL SARL … 95
Figure 3.25. Répartition surfacique par bloc du centre biomédical et de la clinique de chirurgie dentaire …… 98
Figure 3.26. Ossature métallique de l'ex centre biomédical ……... 99
Figure 3.27. Ossature métallique d'un escalier …….. 99
Figure 3.28. Façades d'un bloc de l'ex centre biomédical composé de panneaux en béton préfabriqué …….. 99
Figure 3.29. Ossature métallique d'un escalier …….. 99
Figure 3.30. Epaisseur d'un panneau en béton préfabriqué ……... 99
Figure 3.31. Coupe sur mur de séparation …… 100
Figure 3.32. Coupe sur toiture et plancher ……. 100
Figure 3.33. Fenêtres coulissantes en aluminium équipant les blocs de l'ex centre biomédical …… 101
Figure 3.34. Isolation en plaques de laine de verre ……. 101
Figure 3.35. Façades Nord et Ouest du bloc « J » …… 102
Figure 3.36. Façades Sud et Ouest du bloc « J » …… 102
Figure 3.37. Façades Est du bloc « J » …… 102
Figure 3.38. Plan de la salle TD/Cours orientée au Nord …… 103
Figure 3.39. Plan de la salle TD/Cours orientée au Sud …….. 104

Chapitre IV.

Figure 4.1. Modes d'échange de chaleur dans un local …… 115
Figure 4.2. Thermographie faisant apparaitre les ponts thermiques ……. 117
Figure 4.3. Dispositif d'isolation et fenêtres appliqués de l'intérieur ……... 117
Figure 4.4. Dispositif d'isolation et fenêtres appliqués de la face intérieure des parois de façade faculté des sciences médicales – UMMTO …… 117
Figure 4.5. Vue en plan sur l'angle formé par deux parois extérieures …… 118

Figure 4.6. Mur intérieur à isolation intérieure non coupée par la paroi intérieure .. 118
Figure 4.7. Deux parois extérieures à isolation intérieures formant angle …… 118
Figure 4.8. Liaison entre une paroi extérieure à isolation intérieure et le plancher . 118
Figure 4.9. Logo officiel du logiciel Ecotect Analysis …….. 133
Figure 4.10. Première étape de la simulation sous Ecotect Analysis ……. 134
Figure 4.11. Seconde étape de la simulation sous Ecotect Analysis ……... 134
Figure 4.12. Troisième étape de la simulation sous Ecotect Analysis ……..... 135
Figure 4.13. Modèle étudié N° 01 ……... 136
Figure 4.14. Modèles étudiés N° 02 et 03 ……... 136
Figure 4.15. Modèle étudié N° 04 ……... 136
Figure 4.16. Bâtiment type objet de la simulation thermique ……. 137
Figure 4.17. Coupe sur murs – modèle 01 ……. 138
Figure 4.18. Coupe sur plancher terrasse – modèle 01 …….. 138
Figure 4.19. Coupe sur murs – modèle 02 ……. 139
Figure 4.20. Coupe sur plancher terrasse – modèle 02 …….. 139
Figure 4.21. Coupe sur murs – modèle 03 ……. 140
Figure 4.22. Coupe sur plancher terrasse – modèle 03 …….. 140
Figure 4.23. Coupe sur murs – modèle 04 ……. 141
Figure 4.24. Coupe sur plancher terrasse – modèle 04 …….. 141
Figure 4.25. Modèle 01 - Evolution horaire des températures extérieures et intérieures en période hivernale durant la journée du 28 Février …..... 145
Figure 4.26. Modèles 02 et 03 - Evolution horaire des températures extérieures et intérieures en période hivernale durant la journée du 28 Février …… 146
Figure 4.27. Modèle 04 - Evolution horaire des températures extérieures et intérieures en période hivernale durant la journée du 28 Février …… 148
Figure 4.28. Modèle 01 - Evolution horaire des températures extérieures et intérieures en période estivale durant la journée du 03 Août …..... 149
Figure 4.29. Modèles 02 et 03 - Evolution horaire des températures extérieures et intérieures en période estivale durant la journée du 03 Août …..... 151
Figure 4.30. Coupe sur panneau porteur en béton préfabriqué et à haute performances thermiques ……... 153
Figure 4.31. Tranche d'un panneau porteur en béton préfabriqué et à haute performances thermiques …… 153
Figure 4.32. Modèle 04 - Evolution horaire des températures extérieures et intérieures en période estivale durant la journée du 03 Août …..... 153
Figure 4.33. Synthèse des résultats obtenus pour les quatre modèles simulés en période hivernale ……... 155
Figure 4.34. Evolution de la demande de chauffage au cours de la journée ……. 156
Figure 4.35. Synthèse des résultats obtenus pour les quatre modèles simulés en période estivale …….. 157

Liste des tableaux

Chapitre I.

Tableau 1.1. Structures des entreprises de construction publiques durant les années 1970 ……. 35
Tableau 1.2. Evolution annuelle du nombre d'entreprises participant au programme public de construction de logements urbains ……. 36
Tableau 1.3. Types de joints et leurs et dispositifs contre les infiltrations des eaux pluviales …….. 49

Chapitre II.

Tableau 2.1. Valeurs de métabolisme en (W/m²) et en (Met) pour diverses activités ……... 62

Chapitre III.

Tableau 3.1. Températures mensuelles moyennes à Tizi-Ouzou …….……. 81
Tableau 3.2. Durées d'insolation mensuelles moyennes à Tizi-Ouzou …… 82
Tableau 3.3. Moyennes mensuelles des vitesses du vent à Tizi-Ouzou …….. 83
Tableau 3.4. Humidités relatives mensuelles moyennes à Tizi-Ouzou …… 84
Tableau 3.5. Précipitations mensuelles moyennes ……..…….. 85
Tableau 3.6. Etat d'exécution des programmes de logements au 31 mars 2015 ….. 88
Tableau 3.7. Composition des principaux ouvrages …… 97
Tableau 3.8. Caractéristiques dimensionnelles des deux salles de travaux dirigés sélectionnées pour l'étude …….. 102

Chapitre IV.

Tableau 4.1. Appareils utilisés pour les mesures de température et d'humidité ... 108
Tableau 4.2. Variation de la température à l'extérieur et à l'intérieur des salles orientées nord et sud en hiver ……...….. 109
Tableau 4.3. Variation de l'humidité relative à l'extérieur et à l'intérieur des salles orientées nord et sud en hiver ……...…... 109
Tableau 4.4. Variation de la température à l'extérieur et à l'intérieur des salles orientées nord et sud en été ……...…… 112
Tableau 4.5. Variation de l'humidité relative à l'extérieur et à l'intérieur des salles orientées nord et sud en été ……...…….. 112
Tableau 4.6. Coefficients donnés en fonction de la nature des locaux et de la zone climatique ……..…… 119
Tableau 4.7. Synthèse du bilan thermique hivernal et vérification réglementaire 120
Tableau 4.8. Synthèse du bilan thermique estival et vérification réglementaire ... 129
Tableau 4.9. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du Modèle 01 138
Tableau 4.10. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du Modèle 02 139
Tableau 4.11. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du Modèle 03 140
Tableau 4.12. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du Modèle 04 141
Tableau 4.13. Caractéristiques thermo-physiques des matériaux utilisés dans les cas simulés …… 142
Tableau 4.14. Caractéristiques thermiques dynamiques des modèles simulés …… 144

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abou-Samra F., 1984, « Possibilités de la préfabrication en Egypte. Démarche de la construction industrialisée à l'auto-construction », thèse de doctorat soutenue à l'école polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse.

Abraham P., 1946, *Architecture préfabriquée,* Ed Dunod, Paris, France.

Addab M., « Admission de 9 entreprises étrangères pour des usines de logements préfabriqués », article paru dans le quotidien national d'information Algérien *Ouest tribune* du 23 mai 2015.

A.F.N.O.R. ISO 8996, 1994, « Détermination de la production de chaleur métabolique », Paris.

Ait Kaci Z., 2014, « L'apport de la cage d'escalier dans la ventilation naturelle - Simulation thermo-aéraulique d'un habitat collectif en Algérie », mémoire de magister soutenu à l'université de Tizi-Ouzou, Algérie.

A.N.A.H. (Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat), 2004, « Confort thermique » Fiche techniques téléchargée du site internet : www.anah.fr

Annabi M., Mokhtari A., Hafrad T-A., 2006, « Estimation des performances énergétiques du bâtiment dans le contexte maghrébin » in revue des Energies Renouvelables, Vol 9, N° 2, Alger.

Archieri J-F., Levasseur J-P., 1990, *Prouvé : cours du CNAM, 1957-1970 : essai de reconstitution du cours à partir des archives Jean Prouvé*, Ed Mardaga, Sprimont, Belgique.

A.S.H.R.A.E. (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), 1997, « Indoor environmental health », in ASHRAE handbook of fundamentals. Chapter 9. SI Editions, Atlanta. U.S.A.

Balency-Béarn A., Esquillan N., Lebelle P., 1964, « Le béton armé ou précontraint et la préfabrication lourde en France » in rapport du congrès AIPC, Zurich, Suisse.

Balladur J., 1964, « L'industrialisation du bâtiment » in Habitation : revue trimestrielle de la section romande de l'Association Suisse pour l'Habitat, Volume 36, N° 7.

Barets J., 1965, « Considérations sur la préfabrication lourde en France » in Habitation : revue trimestrielle de la section romande de l'Association Suisse pour l'Habitat, Vol 37, Cahier 9, pp. 34-35.

Bekkouche S-M-A., Benouaz T., Cheknane A., 2007, « Etude par simulation de l'effet d'isolation thermique d'une pièce d'un habitat dans la région de Ghardaïa » in Revue des Energies Renouvelables, Vol 10, N° 2, pp. 281–292.

Belkhemsa B., Djelal N., « La planification urbaine en Algérie face aux défis contemporains. Entre discours et réalité. Cas de la ville Tizi-Ouzou » in actes de la conférence : Colonial et postcolonial de la planification urbaine en Afrique.

Bellara S., 2005, **«** Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective. Cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine », mémoire de magister soutenu à l'université Mentouri de Constantine, Algérie.

Benevolo L., 1998, *Histoire de l'architecture moderne : l'inévitable éclectisme*, tome 4, Ed Bordas.

Bernard P., 1980, *La construction par composants compatibles,* Ed du Moniteur, Paris, France.

Blachère G., 1975, *Technologies de la construction industrialisée*, Ed Eyrolles, Paris, France.

Bonhomme A., 1979, *Isolation thermique des bâtiments*, 4e édition mise à jour et augmentée, Ed. Du Moniteur, Paris.

Bouamama W., 2013, « Au sujet de la politique d'efficacité énergétique en Algérie : approche systémique pour un développement durable cas de : programme ECO-BAT », mémoire de magister soutenu en Mars 2013 à l'université de Tlemcen, Algérie.

Boudali Errebai F., et al., « Confort thermique d'un local d'habitation : Simulation thermoaéraulique pour différents systèmes de chauffage », in Revue des Energies Renouvelables, Vol 15, N° 1, pp. 9 –102.

Bougriou C., Hazem A., Kaouha K., 2000, « Protections Solaires des Fenêtres », in Revue des énergies renouvelables, Vol 3, pp. 127-135.

Boursas A., 2013, « Etude de l'efficacité énergétique d'un bâtiment d'habitation a l'aide d'un logiciel de simulation », mémoire de magister soutenu à l'université de Constantine, Algérie.

Bruggeling A-S-G., Huyghe G-F., 1991, *Prefabrication with concrete*, Ed A.A. Balkema, Rotterdam, Hollande.

Cadiergues R., 1998, *Calcul des charges de climatisation et conditionnement d'air,* Ed PYC Livres, Paris.

Candas V., 1998, « Confort thermique », Technique de l'ingénieur, traité du génie énergétique BE 9 085, France.

Cantin R., Moujalled B., Guarracino G., 2005, « Complexité du confort thermique dans les bâtiments » in actes du 6ème congrès Européen de Science des Systèmes à Paris du 19-22 septembre 2005.

Carrier M., 1981, *première partie - bilan thermique*, Carrier international LDT, New York, USA.

Centre de Recherche pour le Développement de l'Industrialisation de la Construction., 1960, « L'habitat et les procédés Camus », conférence préparée et présentée à Athènes en 1960 par une équipe de techniciens et de chercheurs du groupe de construction Raymond Camus. Document d'archives numérisé par Association For Préservation Technologie, International.

Cerceau J., 2013, « Préfabriquer le logement d'après-guerre, Bernard Zerhrfuss, un acteur représentatif d'une époque » mémoire de Master soutenue à l'école d'architecture de la ville et des territoires à Marne-la-Vallée, Paris, France.

C.E.R.I.B. (Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie du Béton), 2005, Guide de mise en œuvre pour les éléments linéaires de structure préfabriqués en béton.

Chabi M., 2009 « étude bioclimatique du logement social-participatif de la vallée du M'zab : cas du Ksar de Tafilalt » mémoire de magister, université de Tizi-Ouzou, Algérie.

Chanvillard G., et al., 2000, « Panneaux préfabriqués de façades en béton de sable renforcés de fibre de fonte amorphe » in actes du 5éme colloque internationale RILEM tenu à Lyon du 13-15 Septembre 2000.

Charbonneau J-Y., 2004, « Confort thermique à l'intérieur d'un établissement », Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail du Québec, Canada.

Charbonnier S., et al., 1992, *Guide de la thermique dans l'habitat neuf* , Ed du Moniteur, Paris.

Chastel A., 1953, « Un grand chantier "classique" : Le Havre, le plus noble épisode de la reconstruction » in le quotidien national d'information Français *Le Monde* n° 2649 du 1er août 1953.

Chatelet A., Fernandez P., Lavigne P., 1998, *Architecture climatique, concepts et dispositifs*, Tome 2, Editions Edisud, France.

Chatelet A., Fernandez P., Lavigne P., 1998, *Architecture Climatique, une contribution au développement durable,* Ed Edisud. France.

Chelghoum Z., 2000, « Pour un Habitat à Bas Profil Energétique - Cas de Constantine », mémoire de magister, université de Constantine, Algérie.

Chelghoum Z., Belhamri A., 2001, « Habitat à Bas Profil Energétique » in Revue des Energies Renouvelables : Journées de Thermique, pp 59-64.

Chemillier P., 1977, *Les techniques du bâtiment et leur avenir*, Ed du Moniteur, Paris.

Chemillier P., 2002, « L'épopée de l'industrialisation du bâtiment âpres la guerre 1939-1945 » Conférence du 14 juin 2002.

Cité de l'architecture et du patrimoine, « L'architecte Auguste Perret : Entre tradition et modernité. Dossier pédagogique ».

C.N.E.R.I.B. (Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées en Bâtiment), 1998, « D.T.R. C 3-2, Règles de calcul des déperditions calorifiques », Alger.

C.N.E.R.I.B. (Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées en Bâtiment), 1998 « D.T.R. C 3-4, Règles de calcul des apports calorifiques des bâtiments », Alger.

Cockelenbergh C., 2009, *Optimisation énergétique d'un nouveau bâtiment tertiaire*, Ed Wolters Kluwer, Belgique.

Collection technique CIMBETON., 2007, « Béton et confort thermique » in revue technique du centre d'information sur le ciment et ses applications, N° B 40, France.

Cortés H., Blot J., 1999, *Transferts thermiques, application à l'habitat,* Ed Ellipses, Paris.

Côte M., 2005, La *ville et le désert - Le Bas-Sahara Algérien,* Ed Iremam Karthala, Paris.

C.S.T.B. (Centre Scientifique des Techniques du Bâtiment), 2000, « Performances énergétiques des éléments opaques » document de la réglementation thermique (RT) 2000, France.

Dahmani M., 2006, « Tizi-Ouzou : De la ségrégation raciale à ″L'émancipation urbaine″ (1844-1962) » in revue Campus de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, N° 03, Septembre 2006, pp 3-14.

De Dear R., Brager G-S., 1998, « Developing an adaptive model of thermal comfort and preference » in ASHRAE Transactions 104 (1).

Delemontey Y., 2009, « Le béton assemblé - Préfabriquer la France de l'après-guerre (1940-1955) » Thèse de doctorat préparée à l'école doctorale Ville et environnement de l'université Paris 8 et à l'institut d'architecture de l'université de Genève.

Delemontey Y., 2013, « Raymond Camus et l'avènement de la préfabrication lourde en France : vers un nouveau paradigme structurel en France » in revue Centraliens, N° 625, Avril-Mai 2013. www.centraliens.net

De Oliveira F., Moreau S., 2007, « Confort thermique ressenti, Analyse des campagnes expérimentales 2005 – 2006 », étude réalisée dans le cadre de la recherche CAPE 04 003, CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), Nantes, France.

Deval J-C., 1984, « Le confort thermique en climat tempéré » in Revue Phys. Appl, N° 19, pp. 513-531.

Dubos-Paillard E., « L'industrie dans les pays du tiers monde », notes de cours de Master1. Document consulté sur le site internet de l'Agence Universitaire de la Francophonie. http://www.foad-mooc.auf.org/IMG/pdf/411B-Facteurs_de_localisation_des_activites.pdf

Emile O., 1976, *Technologies des méthodes de construction, les bétons,* Tome III, Ed Entreprise moderne d'édition. France.

Fares K-M., 2012, « L'industrialisation du logement en France (1885-1970) De la construction légère et démontable à la construction lourde et architecturale », tome 1 – texte, thèse de doctorat soutenue le 16 mars 2012 au CNAM (Conservatoire National des Arts et Métiers), Paris, France.

Fernandez P., 1996, « Stratégies d'intégration de la composante énergétique dans la pédagogie du projet d'architecture », Thèse de doctorat, Ecole des mines de Paris.

Finn D-W., 1992, « L'industrialisation de la construction » in "Construction Canada", mai 1992, pp. 25-26, 28.

Foura M., ( ) « Le mouvement moderne de l'architecture : naissance et déclin du concept de l'architecture autonome » in revue sciences et technologie de l'université Mentouri de Constantine, N° 12, pp.89-105.

Foura M., 2005, « Histoire critique de l'architecture, évolutions et transformations en architecture pendant le 18è, 19è et 20è siècle » Ed OPU (Office des Publications Universitaires, Alger.

Foura S., 2008, « Simulation des paramètres du confort thermique d'hiver en Algérie » thèse de doctorat soutenue à l'université Mentouri de Constantine, Algérie.

Gallauziaux T., Fedullo D., 2010, *Le grand livre de l'isolation,* Ed Eyrolles, Paris.

Ghenia K., 2011-2012, Notes de cours de modulation de constructions et préfabrication, ISET (Institut Supérieur des Etudes Technologiques) de Nabeul, Tunisie.

Givoni B., 1978, *L'homme, l'architecture et le climat*, Ed du Moniteur, France.

Givoni B., 1998, « Climatic considerations in building and urban design », Jean Wiley and sons, Van Nostrand Reinhold, London.

Graf F., Delemontey Y., 2011, « Architecture industrialisée et préfabriquée : connaissance et sauvegarde » in journées d'études internationales organisées dans le cadre de l'Encyclopédie critique pour la restauration et la réutilisation de l'architecture du XX^{e} siècle à Lausanne le 23-24 juin 2011.

Gratia E., De Herde A., 2008, « Thermique des immeubles de bureaux », Presse universitaire de Louvain, Université Catholique de Louvain, Belgique.

Grignon-Masse L., 2010, « Développement d'une méthodologie d'analyse coût-bénéfice en vue d'évaluer le potentiel de réduction des impacts environnementaux liés au confort d'été : cas des climatiseurs individuels fixes en France métropolitaine » Thèse de doctorat soutenue le 20 Mai 2010 à l'école nationale supérieure des mines de Paris, France.

Hachemi M-A., 2011, « Exploitation et programmation informatique des documents techniques réglementaires relatifs aux déperditions thermiques de ventilation des bâtiments », mémoire de magister soutenu à l'université de Boumerdes, Algérie.

Haddouche K., « l'apport de l'élément préfabriqué dans la façade intelligente », mémoire de magister soutenu au centre universitaire de Souk-Ahras, Algérie.

Hammadi S., « Production de 2 000 à 5 000 logements préfabriqués par an et par usine, le Cnea contredit les annonces de la tutelle » article paru dans le quotidien national d'information Algérien *Liberté* N° 6887 du 05 Avril 2015.

Hessas N., 2012, « Etude du patrimoine architectural de la période Ottomane : entre valeurs et confort » mémoire de magister, université de Tizi-Ouzou, Algérie.

I.B.G.E. (Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement), 2007, « Redéfinir la notion de confort thermique », in guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, N° css13, Bruxelles, Belgique.

Izard J-L., 1993, *Architecture d'été, construire pour le confort d'été*, Ed Edisud, France.

Jacono G., Arnould P., 2000, « Le Havre, paysage urbain et patrimoine entre béton, discours et images. De la reconstruction physique à la (re)construction mentale (1945-1995) » in Cahiers de la Méditerranée, N°60. Paysages urbains (XVIe-XXe siècles). Tome II. pp. 109-131.

Kadri N., Mokhtari A., 2011, « Contribution à l'étude de réhabilitation thermique de l'enveloppe du bâtiment », in Revue des Energies Renouvelables, Vol 14, N°2, pp. 301–311.

Kaemmerlen A., 2009, « Transfert de chaleur à travers les isolants thermiques du bâtiment », thèse de doctorat soutenue le 29 Octobre 2009 à l'université de Nancy, France.

Karsenty G., 1997, *La fabrication du bâtiment, Le second œuvre,* Ed Eyrolles, France.

Khalissa H., « confort thermique », notes de cours de sciences pour l'architecture, Master 1, département d'architecture de l'université de Biskra, Algérie.

Khris B., « 35 industriels ont déposé leur dossier pour réaliser des usines. L'ère de l'industrialisation du bâtiment (re)commence...», article paru dans le quotidien national d'information Algérien *Liberté* N° 6784 du 04 décembre 2014.

Kind-Barkauskas F., et al., 2006, « Construire en béton : conception des bâtiments en béton armé » Presses polytechniques et universitaires romandes, Suisse.

Laaha Tarache A., 2009, « Les facteurs déterminants la crise de logement en Algérie» in revue des sciences humaines, Vol B, N°32, Décembre 2009, pp. 67-80.

Laaha Tarache A., 2010, « Politique de l'habitat et contraintes de la construction du logement en Algérie. Analyse comparative avec la Tunisie et le Maroc », thèse de doctorat soutenue à l'université de Constantine, Algérie.

Lacombe G., 1976, *Principes de la préfabrication des bâtiments*, Ed Techniques de l'ingénieur, Paris, France.

Lacoste Y., 1959, « Aspects géographiques généraux des industries de la construction » in Annales de Géographie. T 68, N° 366. France.

Laïche M., Sadoudi M., 2007, « l'extension de la ville de Tizi-Ouzou sous la contrainte foncière » in revue Campus de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, N° 08, pp. 3-10.

Lambert G., et al., 2009, « Ensembles urbains, 1940-1977. Les ressorts de l'innovation constructive », Rapport réalisé dans le cadre de l'axe de recherche : Technique, territoire, architecture du Centre d'Histoire des Techniques et de l'Environnement, CNAM (Conservatoire National des Arts et Métiers), Paris, France.

Latouche S., Sid B., 1987, « L'habitat en Algérie, stratégies d'acteurs et logiques industrielles » in revue Tiers-Monde, Vol 28, N° 110, pp. 472–473.

Laurent C., 1998, « Quand Auguste Perret définissait l'architecture moderne au XXe Siècle », in Revue de l'Art, N° 121. pp. 61-78.

Liebard A., De Herde A., 2005, *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique : Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*, Ed Observ'ER, Paris.

Lods M., 1957, « Le problème : produire industriellement les bâtiments, dessiner le pays » in Techniques et architecture, 17é série, N° 5.

Louafi S., 2005, « Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective : cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli de Constantine » mémoire de magister, université de Constantine, Algérie.

Lumbroso A., 1991, *Les constructions industrielles,* Ed Dunod, Paris, France.

Mazari M., 2012, « Etude et évaluation du confort thermique des bâtiments à caractère public : Cas du département d'architecture de Tamda (Tizi Ouzou) » mémoire de magister, université de Tizi-Ouzou, Algérie.

Medjelekh D., 2006, « Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment. Cas de l'habitat de l'époque coloniale à Guelma » mémoire de magister, université de Constantine, Algérie.

Medjelakh D., Abdou S., 2008, « Impact de l'inertie thermique sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique du bâtiment » in Revue des Energies Renouvelables, Vol 11, N °3, pp. 329–341.

Merzeg A., 2010, « La réhabilitation thermique de l'habitat contemporain en Algérie » mémoire de magister, université de Tizi-Ouzou, Algérie.

Miled K., 2012, « La préfabrication en Tunisie : un secteur à promouvoir », in actes de la journée d'études tenue à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis le 15 février 2012.

Minnaert J-B., 1997, « Henri Sauvage, les brevets et la construction rapide » in Revue de l'Art, N°118, pp. 41-55, France.

Mokhtari A., et al., 2008, « Architecture et confort thermique dans les zones arides. Application au cas de la ville de Béchar » in revue des énergies renouvelables, Vol 11, N° 02, Alger.

Moréteau S., 2008, « Les clés du confort thermique » in revue bimensuelle : La maison écologique, N° 42, janvier 2008, France.

Mourtada A., 2007 « Efficacité énergétique et énergies renouvelables dans les bâtiments ; Etat de l'art, solutions pratiques et enseignements d'Europe et du proche Orient », in actes du séminaire international "Initiation à la conception d'une architecture efficace énergétiquement", tenu à Alger du 8 au 11 septembre 2007.

Moujalled B., 2007, « Modélisation dynamique du confort thermique », thèse de doctorat, présentée à l'institut des sciences appliquées de Lyon le 19 janvier 2007, France.

M'Sellem H., Alkama D., 2009, « Le confort thermique entre perception et évaluation par les techniques d'analyse bioclimatique - Cas des lieux de travail dans les milieux arides à climat chaud et sec » in Revue des Energies Renouvelables, Vol 12, N° 3, pp. 471–488.

Naceur F., Farhi A., 2003, « Les zones d'habitat urbain nouvelles en Algérie : inadaptabilité spatiale et malaises sociaux. Cas de Batna » in revue Insaniyat, N° 22, Octobre – Décembre 2003, pp. 73-81.

Nait N., 2001, « La réhabilitation énergétique dans les logements collectifs existants. Cas du climat semi aride de Constantine », mémoire de magister soutenu à l'université de Constantine, Algérie.

Nicole F., 1993, « Thermal comfort, a handbook for field studies toward an adaptative model », University of east London.

Nicol J.F., 2008, Notes de cours. University of North London. http://www.learn.londonmet.ac.uk/student/resources/doc/comfort.html.

Nicol J.F., Humphreys M.A., 1998, « Understanding the adaptive approach to thermal comfort » in ASHRAE transactions SF-98-7-1.

Oliva J-P., Courgey S., 2006, *La conception bioclimatique des maisons confortables et économes en neuf et en réhabilitation,* Ed Terre Vivante, France.

Oribasi A., Notes de cours de structures en béton, Chapitre 1 : construire en béton, section 1.7 : La préfabrication, Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Freiburg.

Pilpoul J., 1946, *Nécessité de l'Industrialisation du Bâtiment*, Ed Le Moniteur des Travaux publics et du Bâtiment, N° hors série, Novembre 1946.

Polania E., 2006, « Contribution à l'étude du comportement des planchers composites poutres - dalles alvéolées préfabriquées en béton », thèses de doctorat soutenue en Juin 2006 à l'INSA (Institut National des Sciences Appliquées) de Toulouse, France.

Portefait J-P., 1976, « 60 ans d'industrialisation : l'évolution des idées » in revue Techniques & Architecture, N° 321, novembre 1976, pp. 73-79.

Resendiz-Vazquez A., 2010, « L'industrialisation du bâtiment Le cas de la préfabrication dans la construction scolaire en France (1951-1973) » Thèse de doctorat soutenue le 13 Juillet 2010 au Conservatoire National des Arts et Métiers - Centre d'Histoire des Techniques et de l'Environnement, Paris, France.

Roulet C-A., 1987, « Energétique du bâtiment ; prestations du bilan énergétique global » Editions Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Suisse.

Roulet C-A., 2004, « Santé et qualité de l'environnement intérieur dans les bâtiments », Presses polytechniques et universitaire romandes, Lausanne, Suisse.

Rousseau M-Z., Quirouette R-L., 1982, « Les murs en panneaux préfabriqués ».

Sambou V., 2008**,** « Transferts thermiques instationnaires : vers une optimisation de parois de bâtiments » thèse de doctorat soutenue à l'université de Toulouse, France.

Schmitz N., Ducuroir M., « Vers l'industrialisation du bâtiment en Belgique », Travail de recherche effectué à l'université libre de Bruxelles, Belgique.

Sid B., 1986, « L'industrialisation du bâtiment dans la politique industrielle de l'Algérie » in annuaire de l'Afrique du Nord, Tom XXV, Editions du CNRS, pp. 85-92.

Sid B., 1986, « L'habitat en Algérie : Stratégies d'acteurs et logiques industrielles » Office des publications universitaires. Alger.

Simon E-H-L., 1950, *La préfabrication dans la Construction (emploi actuel et possibilités d'avenir)*, Ed Le Moniteur des Travaux publics et du Bâtiment, N° hors série, Paris, France.

Simon E-H-L., 1962, *L'industrialisation de la construction,* Ed Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment, Paris, France.

Simonetti J-O., 1977, « Réflexions sur l'industrialisation de la construction et la production du bâti, 1ère Partie» in Norois, N° 95, Juillet-Septembre 1977, pp. 341-353.

Simonetti J-O., 1977, « Réflexions sur l'industrialisation de la construction et la production du bâti » in Norois, N° 96, Octobre-Décembre 1977, pp. 561-572.

Solopova N., 2001, « la préfabrication en URSS : concept technique et dispositifs architecturaux » thèse de doctorat soutenue le 09 Janvier 2001 à l'université de Paris VIII, France.

Teller J., Notes de cours de confort thermique, université de Liège, Belgique.

Thellier F., 1989, « Modélisation du comportement thermique de l'homme et de son habitat, une approche de l'étude du confort », étude réalisée à l'université Paul Sabatier de Toulouse, France.

Theunynck S., 1994, *Economie de l'habitat et de la construction au Sahel*, Ed L'harmattan, France.

Tixier N., 2007, « De la notion de confort à la notion d'ambiance » in revue du laboratoire cresson de l'école d'architecture de Grenoble et CNRS Ambiances architecturales et urbaines, France.

Tridon J.G., 1966, *Regards sur la France (Evolution de la construction -Réalisation et perspectives)*, tome II :1964-1965, Ed SPEI, Paris, France.

Vergauwe J-P., 1991, *Le droit de l'architecture*, Ed De Boeck - Wesmael, Bruxelles, Belgique.

Voellinger T., 2012, « Le mur a haute performance thermique. Evolution et perspectives de la façade porteuse en béton préfabriqué à Genève dès 1973 », thèse de doctorat soutenue le 28 septembre 2012 à la faculté de l'environnement naturel, architectural et construit de l'école polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse.

Vouga J-P., 1961, « La préfabrication » in Habitation : revue trimestrielle de la section romande de l'Association Suisse pour l'Habitat, Vol 33, Cahier 2, pp. 15-18.

Zahar M., 1928, « L'architecture vivante - Henri Sauvage » in L'Art Vivant, N° 88, 15 août 1982.

Zerouala M-S., 2010, « le standard : un paramètre déterminant dans la réponse a la demande en logements » in actes de la journée d'études : Habitat : Etat des lieux et perspectives, Tenue à l'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture d'Alger, le 18 Janvier 2010, Algerie.

Anonyme., 1957, « Raymond Camus & Cie » in Le moniteur des travaux publics et du bâtiment (Le livre d'or de l'entreprise française : entrepreneurs et entreprises), N° spécial, juin 1957, pp. 25-28.

SITES INTERNET

http://whc.unesco.org/fr/list/1181/ :

Site officiel de l'UNESCO ;

http://www.energieplus-lesite.be/ :

Site internet de la Cellule de recherche « Architecture et climat » de l'université catholique de Louvain, Belgique ;

http://www.tiziouzou-dz.com/ :

Site internet officiel de la Wilaya de Tizi-Ouzou ;

http://www.autodesk.fr/ :

Site internet officiel de l'entreprise « Autodesk » ;

http://www.ons.dz :

Site officiel de l'Office Nationale des Statistiques ;

http://www.tiziouzou-dz.com/population-projection.htm :

Site internet de l'annuaire statistique de la wilaya de Tizi-Ouzou ;

http://www.nobatek.com/ :

Site internet du Centre de Ressources Technologiques ;

http://www.larousse.fr/ :

Dictionnaire en ligne Larousse ;

www.btb.termiumplus.gc.ca :

Dictionnaire technique du bâtiment et des travaux publics.

http://www.aprue.org.dz :

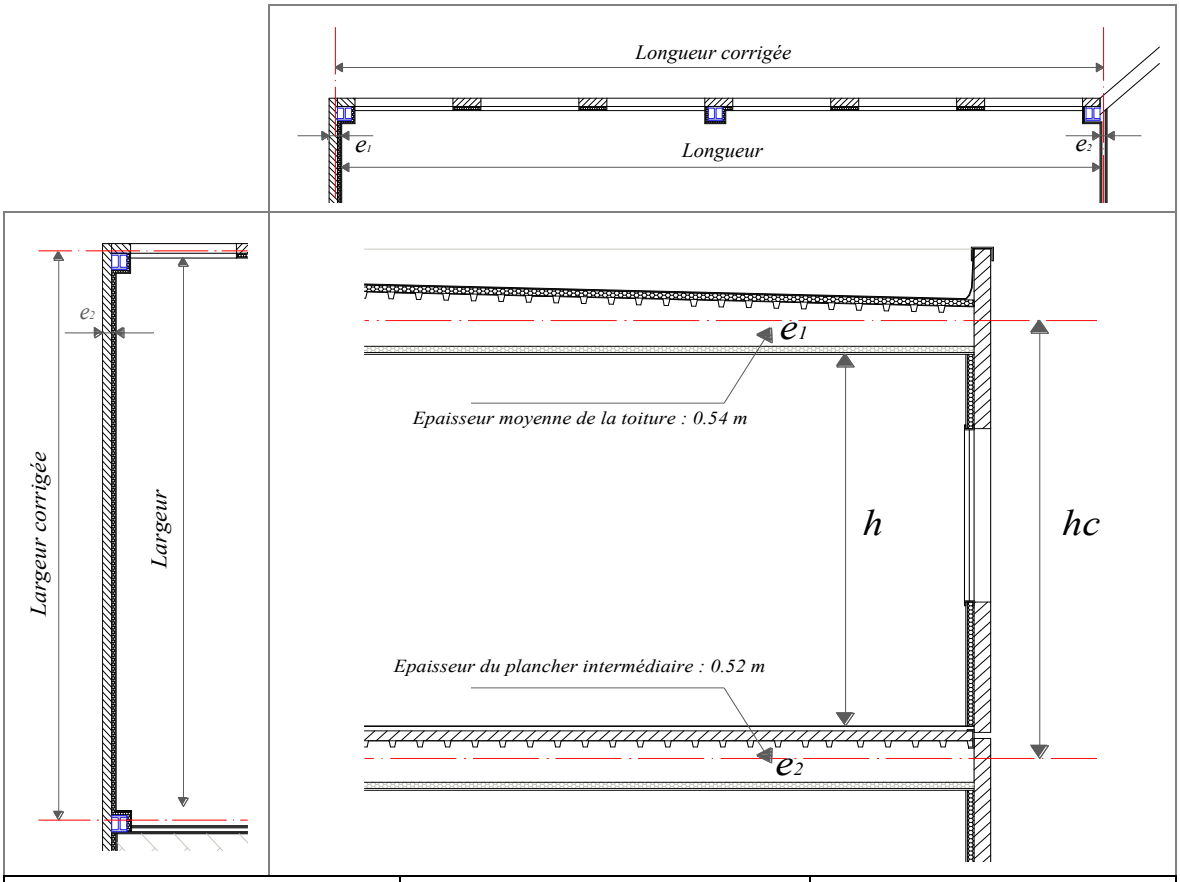
Site officiel de l'Agence Nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.

ANNEXES

DETAILS DU CALCUL DES BILANS THERMIQUES ESTIVAL ET HIVERNAL

A. Données de base et calcul préalable des différents paramètres

A. 1. Détermination des surfaces corrigées



Longueur corrigée	Largeur corrigée	Hauteur corrigée
$lo_c = l + \frac{e_1}{2} + \frac{e_2}{2}$ (m)	$la_c = l + \frac{e_1}{2} + \frac{e_2}{2}$ (m)	$h_c = h + \frac{e_1}{2} + \frac{e_2}{2}$ (m)
$lo_c = 10,84 + \frac{0,10}{2} + \frac{0,18}{2}$	$la_c = 6,83 + \frac{0,18}{2} + \frac{0,34}{2}$	$h_c = 3,00 + \frac{0,54}{2} + \frac{0,52}{2}$
Salle Nord : $lo_c = 10,98$ m **Salle Sud : $lo_c = 10,80$ m**	**$la_c = 7,09$ m**	**$h_c = 3,53$ m**

A. 2. Détermination des facteurs correctifs

A. 2. 1. Pour les déperditions par transmission à travers les parois verticales

Exposition	Valeur de K / Orientation	Jusqu'à : 0.6	De : 0.6 à 1.2	De : 1.25 à 1.8	De : 1.85 à 3.1	De : 3.1 à 3.6	De : 3.6 à 4.3	A partir de : 4.35
Abritée	N-NE-E	1	1	1	1	1	1	1
	O-NO-SE	1	1	0.95	0.95	0.95	0.9	0.9
	S-SO	1	0.95	0.95	0.9	0.85	0.85	0.8
Normale	N-NE-E	1	1	1.05	1.05	1.05	1.1	1.1
	O-NO-SE	1	1	1	1	1	1	1
	S-SO	1	1	0.95	0.95	0.95	0.9	0.9
Dégagée ou très dégagée	N-NE-E	1	1.05	1.05	1.1	1.15	1.15	1.2
	W-NO-SE	1	1	1.05	1.05	1.1	1.1	1.1
	S-SO	1	1	1	1	1	1	1

Tableau 1. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du Modèle 04. **Source :** DTR

A. 2. 2. Pour les déperditions par transmission à travers les parois horizontales

Valeur de K / Exposition	Jusqu'à : 0.6	De : 0.6 à 1.2	De : 1.25 à 1.8	De : 1.85 à 3.1	De : 3.1 à 3.6	De : 3.6 à 4.3	A partir de : 4.35
Abritée	1	0,95	0,95	0,90	0,85	0,85	0,85
Normale	1	1	1	1	1	1	1
Dégagée ou très dégagée	1, 05	1, 05	1, 05	1, 05	1, 05	1.1	1.1

Tableau 2. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du Modèle 04. **Source :** DTR

A. 2. 3. Pour les déperditions par infiltration

	Orientation		
Exposition	**N-NE-E**	**O-NO-SE**	**S-SO**
Abritée	0, 6	0, 5	0, 5
Normale	1, 2	1	0, 9
Dégagée	1, 8	1, 5	1, 3
Très dégagée	2, 4	2, 1	1, 8

Tableau 3. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du Modèle 04. **Source :** DTR

A. 3. Calcul des coefficients de transmission thermique « K »

A. 3. 1. Coefficients de transmission thermique « K » pour les murs et plafonds

$$\frac{1}{K} = Rt = \sum R + \frac{1}{he} + \frac{1}{hi} \quad m^2.°C/W$$

DESIGNATION	*Composition (Matériau)*	*Epaisseur (m)*	*Epaisseur totale (m)*	*Conductivité thermique λ (w/m °C)*	*e / λ*	*Résistance superficielle (1/hi + 1/he) (m² °C/w)*	*Coefficient de transmission K (w/m² °C)*
PANNEAUX DE FAÇADE EN BETON PREFABRIQUE ORIENTES *NORD* ET *SUD* ET UNE PARTIE *OUEST*	Panneau préfabriqué en béton armé	0.12	0.18	1.75	0.07	0.17	***0.64***
	Isolation en plaques de laine de verre	0.05		0.039	1.28		
	Plaques de plâtre	0.01		0.35	0.03		
PARTIE DES PANNEAUX DE FAÇADE EN BETON PREFABRIQUE ORIENTEE *OUEST*	Panneaux préfabriqués en béton armé	0.12	0.34	1.75	0.07	0.17	***0.56***
	Isolation en plaques de laine de verre	0.05		0.039	1.28		
	Plaques de plâtre	2 x 0.01		0.35	0.06		
	Lame d'air	0.13		R = 0.15	0.15		
	Plaques de plâtre	2 x 0.01		0.35	0.06		
MUR INTERIEUR *EST* ET UNE PARTIE DU MUR INTERIEUR DE LA SALLE ORIENTEE *SUD*	Plaques de plâtre	2 x 0.01	0.90	0.35	0.06	0.22	***2.22***
	Lame d'air	0.05		R = 0.11	0.11		
	Plaques de plâtre	2 x 0.01		0.35	0.06		
PARTIE DU MUR INTERIEUR DE LA SALLE *SUD* – PARTIE DU MUR INTERIEUR *EST* – PARTIE DU MUR INTERIEUR DE LA SALLE *NORD*	Plaques de plâtre	2 x 0.01	0.33	0.35	0.06	0.22	***2.00***
	Lame d'air	0.29		R = 0.11	0.16		
	Plaques de plâtre	2 x 0.01		0.35	0.06		
TOITURE CONSTITUEE D'ELEMENTS LEGERS	Panneaux de faux plafond	0.01	0.52	0.07	0.14	0.14	***0.33***
	Isolation en plaques de laine de verre	0.05		0.039	1.28		
	Lame d'air	0.41		R = 0.14			
	Isolation en plaques de laine de verre	0.05		0.039	1.28		

Tableau 4. Composition des éléments constitutifs de l'enveloppe du Modèle 04. **Source :** Auteur

A. 3. 2. Coefficients de transmission thermique « K » pour les portes et fenêtres

Type de vitrage	Epaisseur de la lame d'air (en mm)	Nature de la menuiserie	Paroi verticale	Paroi horizontale
Simple vitrage	/	Bois	5, 0	5,5
		Métal	5, 8	6,5
Double vitrage	5 à 7	Bois	3, 3	3,5
		Métal	4, 0	4,3
	8 à 9	Bois	3, 1	3,3
		Métal	3, 9	4,2
	10 à 11	Bois	3, 0	3,2
		Métal	3, 8	4,1
	12 à 13	Bois	2, 9	3,1
		Métal	3, 7	4,0
Double fenêtre	plus de 30	Bois	2, 6	2,7
		Métal	3, 0	3,2

Tableau 5. Coefficients de transmission thermique « K » pour les fenêtres. **Source :** DTR

		Portes donnant sur l'extérieur	Portes donnant sur un local non chauffé
Portes en bois :	Portes opaques	3, 5	2, 0
	Portes avec une proportion de vitrage < 30%	4, 0	2, 4
	Portes avec une proportion de vitrage comprise entre 30% et 60%	4, 5	2, 7
Portes en métal :	Portes opaques	5, 8	4, 5
	Portes équipées d'un vitrage simple	5, 8	4, 5

Tableau 6. Coefficients de transmission thermique « K » pour les portes. **Source :** DTR

A. 4. Températures de base

A. 4. 1. Températures extérieure de base

Zone	Altitude (m)	Tbe (en C°)	Zone	Altitude (m)	Tbe (en C°)
A	< 300 300 à 500 500 à 1000 ≥ 1000	6 3 1 -1	**C**	500 à 1000 ≥ 1000	-2 -4
B	< 500 500 à 1000 ≥ 1000	2 1 -1	**D**	< 1000 ≥ 1000	5 4
B'	< 500 ≥ 500	0 Voir zone B	**D'**	< 1000	5

Tableau 7. Températures extérieures de base. **Source :** DTR

Wilaya	Communes	Zones
TIZI OUZOU	**Groupe de Communes 1 :** Aghribs - Aït Chaffa - Akerrou – Azzefoun - Iflissen - Mizrana - Tigzirt – Zekri.	**A**
	Groupe de Communes 2 : Toutes les communes autres que celles figurant au groupe de communes 1.	**B**

Tableau 8. Classification des zones selon les communes. **Source :** DTR

A. 4. 2. Températures intérieure de base

Désignation	Température (C°)
Immeuble d'habitation, Maison individuelle :	
- Pièce principale, Pièce de service	**21**
- Cage d'escalier chauffée, Circulation chauffée en continu	**18**
Bureau chauffé en continu	**21**
Magasin chauffé en continu	**21**
Local artisanal chauffé en continu	**21**

Tableau 9. Températures intérieures de base. **Source :** DTR

B. Calcul du bilan thermique en période hivernale

B. 1. Déperditions par transmission

B. 1. 1. Déperditions par transmission surfacique

A travers le plafond	$\boldsymbol{\Phi_1 = K_p . S_p . (T_{int} - T_{ext}) . C_1}$ (en Watts) $K_p = 0,33$ w/m² °C $S_p = 77,85$ m² Salle Nord $S_p = 76,57$ m² Salle Sud $(T_{int} - T_{ext}) = 21 - 2 = 19$ °C $C_1 = 1$	**Salle Nord :** $\Phi_1 = 488,12$ W **Salle Sud :** $\Phi_1 = 480,09$ W
A travers le plancher	Il n'ya pas d'échange de chaleur entre les deux salles étudiées et celles situées au-dessous, puisqu'elles sont chauffées à la même température ;	
A travers les parois verticales	Le calcul est consigné dans le tableau ci-après.	

Salles	Désignation de la paroi	Exposition	Orientation	Dimensions réelles ou corrigées en mètres								Déperditions surfaciques			
				Epaisseur des murs	Largeur	Longueur	Hauteur	Surface	Nombre	Déduction	Surface nette	Coefficient « K »	Δ T	Correction	Flux
Salle orientée Nord	*MI.a*	/	S	0, 10	/	5, 30	3, 00	15, 90	/	2, 00	13, 90	2, 22	3	/	92, 57
	MI.b	/	S	0, 34	/	5, 67	3, 00	17, 01	/	2, 00	15, 01	2, 00	3	/	90, 06
	PI	/	S	/	0, 97	/	2, 07	2, 00	2	/	4, 00	2, 00	3	/	24, 00
	MI	/	E	0, 10	/	7, 08	3, 00	21, 24	/	/	21, 24	2, 22	3	/	141, 46
	ME	N	N	0, 18	/	10, 98	3, 00	32, 94	/	11, 76	21, 18	0, 64	19	1	257, 55
	FE	N	N	/	1, 40	/	1, 40	1, 96	6	/	11, 76	5, 80	19	1, 1	1 425, 55
	ME	N	O	0, 18	/	7, 20	3, 00	21, 60	/	/	21, 60	0, 64	19	1	262, 66
Salle orientée Sud	*MI.a*	/	N	0, 10	/	5, 22	3, 00	15, 66	/	2, 00	13, 66	2, 22	3	/	90, 97
	MI.b	/	N	0, 34	/	5, 57	3, 00	16, 71	/	2, 00	14, 71	2, 00	3	/	88, 26
	PI	/	N	/	0, 97	/	2, 07	2, 00	2	/	4, 00	2, 00	3	/	24, 00
	MI	/	E	0, 34	/	7, 08	3, 00	21, 24	/	/	21, 24	2, 00	3	/	127, 44
	ME	N	S	0, 18	/	10, 80	3, 00	32, 34	/	11, 76	20, 58	0, 64	19	1	250, 25
	FE	N	S	/	1, 40	/	1, 40	1, 96	6	/	11, 76	5, 80	19	0, 9	1 166, 36
	ME	N	O	0, 18	/	7, 20	3, 00	21, 60	/	/	21, 60	0, 56	19	1	229, 82

TOTAL **4 270, 95 W**

B. 1. 2. Déperditions par transmission linéique

Les déperdition à travers les liaisons du mur extérieur avec les menuiseries, les déperdition à travers les liaisons de deux parois extérieures ainsi que les déperdition à travers les liaisons entre une paroi intérieure et une paroi extérieure (refend/façade, cloison/façade, plancher/façade) sont toutes considérées nulles. En effet, selon le DTR C 3-2, leurs Coefficient de transmission thermiques (K) sont nuls ($k = 0$).

B. 2. Déperditions par infiltration et renouvellement d'air

Salles orientées au Nord et au Sud	$\boldsymbol{\Phi_1 = f_i . l_i . \Delta t . C_1}$ (en watts) $f_i = 0,713$ w/m °C $l_i = 6,50$ m $\Delta t = 21 - 2 = 19$ °C $C_1 = 1,20$ pour le Nord $C_2 = 0,90$ pour le Sud	**Salle Nord :** $\Phi_1 = 634,00\ W$ **Salle Sud :** $\Phi_1 = 475,50\ W$

B. 3. Récapitulatif des résultats précédents

	Total des déperditions par transmission surfacique	Total des déperditions par infiltration	Totaux par salle
Salle Nord	2 781, 97 W	634, 00 W	**3 415, 97** W
Salle Sud	2 457, 19 W	475, 50 W	**2 932, 69** W
Totaux par type de déperdition	**5 239, 16** W	**1 109, 50** W	***6 348, 66 W***

B. 4. Calcul des déperditions de référence et vérification réglementaire

$\boldsymbol{\Phi_{réf} = a \times S_1 + b \times S_2 + c \times S_3 + d \times S_4 + e \times S_5}$ (en W/°C)

Zone	**a**	**b**	**c**	**d**	**e**
B	0, 90	2, 40	1, 20	3, 50	4, 50
Surfaces	S_1 (*Toiture*)	S_2 (*Plancher bas*)	S_3 (*Murs*)	S_4 (*Portes*)	S_5 (*Fenêtres*)
Salle Nord	77, 85 m²	77, 85 m²	42, 60 m²	4, 00 m²	11, 76 m²
Salle Sud	76, 57 m²	76, 57 m²	42, 18 m²	4, 00 m²	11, 76 m²
$\Phi_{réf}$ Salle Nord	70, 06	0, 00	51, 12	0, 00	52, 92
$\Phi_{réf}$ Salle Sud	68, 91	0, 00	50, 61	0, 00	52, 92
$\Phi_{réf}$ Deux Salles	138, 97	0, 00	101, 73	0, 00	105, 84
$\Phi_{réf}$	**346, 54** W/°C » **6 584, 29** W				
1, 05 x $\Phi_{réf}$	**363, 86** W/°C » **6 913, 47** W				
Φ_t	**4 560, 40** W				
VERIFICATION	$\Phi_t \leq 1,05 \times \Phi_{réf}$: **4 560, 40 ≤ 6 913, 47** W				**-- VERFIE --**

C. Calcul du bilan thermique en période estivale

C. 1. Apports calorifiques dus à l'environnement extérieur

C. 1. 1. Apports calorifiques par accumulation à travers les parois opaques

$$\boldsymbol{\Phi_{acc} = K.S\,.\Delta T_e}$$

$$\boldsymbol{\Delta T_e = a + \Delta T_{es} + b\,\frac{R_s}{R_m}\,(\Delta T_{em} - \Delta T_{es})}$$

Avant de procéder au calcul de la charge calorifique due aux échanges thermiques par les parois extérieures ($\boldsymbol{\Phi_{acc}}$), nous somme dans l'obligation de calculer au préalable la différence de température équivalente ($\boldsymbol{\Delta T_e}$) et ce pour les mois de Juin, Juillet, Août et Septembre à 8h00, 10h00, 12h00, 14h00, 16h00 et 18h00.

- **Mois de Juin -- Salle Nord -- Mur extérieur Nord -- P = 310, 50 Kg / M²**

	Heures					
	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
a	1, 245					
b	0, 55					
R_s	71, 05					
R_m	65, 00					
ΔT_{es}	- 2, 01	- 1, 01	0, 00	3, 01	5, 01	6, 10
ΔT_{em}	- 2, 01	- 1, 01	0, 00	3, 01	5, 01	6, 10
ΔT_e	**- 0, 77**	**0, 24**	**1, 25**	**4, 26**	**6, 26**	**7, 35**
K	0, 64					
S	32, 94					
Φ_1	**- 16, 24**	**5, 07**	**26, 37**	**89, 85**	**132, 02**	**155, 02**

- **Mois de Juin -- Salle Nord -- Mur extérieur Ouest -- P = 310, 50 Kg / M²**

	Heures					
	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
a	1, 245					
b	0, 55					
R_s	354, 72					
R_m	444, 00					
ΔT_{es}	- 2, 01	- 1, 01	0, 00	3, 01	5, 01	6, 10
ΔT_{em}	0, 00	0, 00	2, 01	5, 01	13, 12	20, 22
ΔT_e	**- 0, 77**	**0, 24**	**2, 13**	**5, 14**	**9, 82**	**13, 56**
K	0, 64					
S	21, 60					
Φ_2	**- 10, 65**	**3, 32**	**29, 46**	**71, 09**	**135, 81**	**187, 54**

- **Mois de Juin -- Salle Nord -- Toiture -- P = 30, 30 Kg / M²**

	Heures					
	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
a	1, 245					
b	1, 00					
R_s	654, 89					
R_m	631, 00					
ΔT_{es}	- 2, 01	0, 00	3, 01	6, 10	7, 11	6, 10
ΔT_{em}	- 1, 01	1, 01	8, 11	13, 39	20, 40	21, 76
ΔT_e	**- 0, 64**	**1, 38**	**8, 65**	**14, 02**	**21, 27**	**22, 72**
K	0, 33					
S	77, 85					
Φ_3	**- 16, 45**	**35, 46**	**222, 22**	**360, 18**	**546, 43**	**583, 68**

- **Total mois de Juin -- Salle Nord**

	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
Φ_1	- 16, 24	5, 07	26, 37	89, 85	132, 02	155, 02
Φ_2	- 10, 65	3, 32	29, 46	71, 09	135, 81	187, 54
Φ_3	- 16, 45	35, 46	222, 22	360, 18	546, 43	583, 68
$\sum \Phi$	**- 43, 34**	**43, 85**	**278, 05**	**521, 12**	**814, 26**	**926, 24**

- **Total mois de Juin -- Salle Sud**

	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
Φ_1	- 16, 02	4, 85	60, 92	141, 46	177, 93	177, 72
Φ_2	- 10, 65	3, 32	29, 46	71, 09	135, 81	187, 54
Φ_3	- 16, 45	35, 46	222, 22	360, 18	546, 43	583, 68
$\sum \Phi$	**- 43, 35**	**43, 63**	**312, 60**	**572, 73**	**860, 17**	**948, 94**

- **Mois de Juillet -- Salle Nord -- Mur extérieur Nord -- P = 310, 50 Kg / M²**

	Heures					
	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
a	1, 77					
b	0, 55					
R_s	50, 92					
R_m	65, 00					
ΔT_{es}	- 2, 01	- 1, 01	0, 00	3, 01	5, 01	6, 10
ΔT_{em}	- 2, 01	- 1, 01	0, 00	3, 01	5, 01	6, 10
ΔT_e	**- 0, 24**	**0, 76**	**1, 77**	**4, 78**	**6, 78**	**7, 87**
K	0, 64					
S	32, 94					
Φ_1	**- 5, 06**	**16, 03**	**37, 32**	**100, 77**	**142, 94**	**165, 92**

- **Mois de Juillet -- Salle Nord -- Mur extérieur Ouest -- P = 310, 50 Kg / M²**

	Heures					
	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
a	1, 77					
b	0, 55					
R_s	359, 64					
R_m	444, 00					
ΔT_{es}	- 2, 01	- 1, 01	0, 00	3, 01	5, 01	6, 10
ΔT_{em}	0, 00	0, 00	2, 01	5, 01	13, 12	20, 22
ΔT_e	**0, 67**	**1, 22**	**2, 68**	**5, 68**	**10, 43**	**14, 23**
K	0, 64					
S	21, 60					
Φ_2	**9, 27**	**16, 87**	**37, 05**	**78, 52**	**144, 19**	**196, 72**

- **Mois de Juillet -- Salle Nord -- Toiture -- P = 30, 30 Kg / M²**

	Heures					
	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
a	1, 77					
b	1, 00					
R_s	521, 56					
R_m	631, 00					
ΔT_{es}	- 2, 01	0, 00	3, 01	6, 10	7, 11	6, 10
ΔT_{em}	- 1, 01	1, 01	8, 11	13, 39	20, 40	21, 76
ΔT_e	**0, 59**	**2, 61**	**9, 02**	**13, 92**	**19, 91**	**20, 87**
K	0, 33					
S	77, 85					
Φ_3	**15, 16**	**67, 06**	**231, 73**	**357, 62**	**511, 50**	**536, 16**

- **Total mois de Juillet -- Salle Nord**

	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
Φ_1	- 5, 06	16, 03	37, 32	100, 77	142, 94	165, 92
Φ_2	9, 27	16, 87	37, 05	78, 52	144, 19	196, 72
Φ_3	15, 16	67, 06	231, 73	357, 62	511, 50	536, 16
$\sum \Phi$	**19, 37**	**99, 96**	**306, 10**	**536, 91**	**798, 63**	**898, 80**

- **Total mois de Juillet -- Salle Sud**

	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
Φ_1	- 16, 02	4, 85	71, 25	156, 85	191, 63	184, 46
Φ_2	- 10, 65	3, 32	29, 46	71, 09	135, 81	187, 54
Φ_3	- 16, 45	35, 46	222, 22	360, 18	546, 43	583, 68
$\sum \Phi$	**- 43, 35**	**43, 63**	**322, 93**	**588, 12**	**873, 87**	**955, 68**

- **Mois d'Août -- Salle Nord -- Mur extérieur Nord -- P = 310, 50 Kg / M²**

	Heures					
	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
a	1, 77					
b	0, 55					
R_s	30, 78					
R_m	65, 00					
ΔT_{es}	- 2, 01	- 1, 01	0, 00	3, 01	5, 01	6, 10
ΔT_{em}	- 2, 01	- 1, 01	0, 00	3, 01	5, 01	6, 10
ΔT_e	**- 0, 24**	**0, 76**	**1, 77**	**4, 78**	**6, 78**	**7, 87**
K	0, 64					
S	32, 94					
Φ_1	**- 5, 07**	**16, 03**	**37, 33**	**100, 81**	**142, 99**	**165, 98**

- **Mois d'Août -- Salle Nord -- Mur extérieur Ouest -- P = 310, 50 Kg / M²**

	Heures					
	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
a	1, 77					
b	0, 55					
R_s	357, 92					
R_m	444, 00					
ΔT_{es}	- 2, 01	- 1, 01	0, 00	3, 01	5, 01	6, 10
ΔT_{em}	0, 00	0, 00	2, 01	5, 01	13, 12	20, 22
ΔT_e	**0, 67**	**1, 22**	**2, 68**	**5, 68**	**10, 43**	**14, 23**
K	0, 64					
S	21, 60					
Φ_2	**9, 27**	**16, 88**	**37, 07**	**78, 56**	**144, 25**	**196, 80**

- **Mois d'Août -- Salle Nord -- Toiture -- P = 30, 30 Kg / M²**

	Heures					
	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
a	1, 77					
b	1, 00					
R_s	478, 50					
R_m	631, 00					
ΔT_{es}	- 2, 01	0, 00	3, 01	6, 10	7, 11	6, 10
ΔT_{em}	- 1, 01	1, 01	8, 11	13, 39	20, 40	21, 76
ΔT_e	**0, 52**	**2, 54**	**8, 66**	**13, 41**	**18, 98**	**19, 78**
K	0, 33					
S	77, 85					
Φ_3	**13, 36**	**65, 26**	**222, 48**	**344, 51**	**487, 60**	**508, 15**

- **Total mois d'Août -- Salle Nord**

	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
Φ_1	- 5, 07	16, 03	37, 33	100, 81	142, 99	165, 98
Φ_2	9, 27	16, 88	37, 07	78, 56	144, 25	196, 80
Φ_3	13, 36	65, 26	222, 48	344, 51	487, 60	508, 15
$\sum \Phi$	**17, 56**	**98, 17**	**296, 88**	**523, 88**	**774, 84**	**870, 93**

- **Total mois d'Août -- Salle Sud**

	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
Φ_1	- 16, 02	4, 85	99, 50	199, 01	229, 15	203, 01
Φ_2	- 10, 65	3, 32	29, 46	71, 09	135, 81	187, 54
Φ_3	- 16, 45	35, 46	222, 22	360, 18	546, 43	583, 68
$\sum \Phi$	**- 43, 35**	**43, 63**	**351, 18**	**630, 28**	**911, 39**	**974, 23**

- **Mois de Septembre -- Salle Nord -- Mur extérieur Nord -- P = 310, 50 Kg / M²**

	Heures					
	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
a	1, 745					
b	0, 55					
R_s	30, 78					
R_m	65, 00					
ΔT_{es}	- 2, 01	- 1, 01	0, 00	3, 01	5, 01	6, 10
ΔT_{em}	- 2, 01	- 1, 01	0, 00	3, 01	5, 01	6, 10
ΔT_e	**- 0, 27**	**0, 74**	**1, 75**	**4, 76**	**6, 76**	**7, 85**
K	0, 64					
S	32, 94					
Φ_1	**- 5, 70**	**15, 61**	**36, 91**	**100, 39**	**142, 57**	**165, 56**

- **Mois de Septembre -- Salle Nord -- Mur extérieur Ouest -- P = 310, 50 Kg / M²**

	Heures					
	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
a	1, 745					
b	0, 55					
R_s	334, 21					
R_m	444, 00					
ΔT_{es}	- 2, 01	- 1, 01	0, 00	3, 01	5, 01	6, 10
ΔT_{em}	0, 00	0, 00	2, 01	5, 01	13, 12	20, 22
ΔT_e	**0, 58**	**1, 16**	**2, 59**	**5, 60**	**10, 17**	**13, 78**
K	0, 64					
S	21, 60					
Φ_2	**8, 02**	**16, 04**	**35, 82**	**77, 45**	**140, 66**	**190, 58**

- **Mois de Septembre -- Salle Nord -- Toiture -- P = 30, 30 Kg / M²**

	Heures					
	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
a	1, 745					
b	1, 00					
R_s	423, 87					
R_m	631, 00					
ΔT_{es}	- 2, 01	0, 00	3, 01	6, 10	7, 11	6, 10
ΔT_{em}	- 1, 01	1, 01	8, 11	13, 39	20, 40	21, 76
ΔT_e	**0, 42**	**2, 44**	**8, 23**	**12, 81**	**17, 90**	**18, 50**
K	0, 33					
S	77, 85					
Φ_3	**10, 79**	**62, 69**	**211, 43**	**329, 09**	**459, 86**	**475, 27**

- **Total mois de Septembre -- Salle Nord**

	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
Φ_1	- 5, 70	15, 61	36, 91	100, 39	142, 57	165, 56
Φ_2	8, 02	16, 04	35, 82	77, 45	140, 66	190, 58
Φ_3	10, 79	62, 69	211, 43	329, 09	459, 86	475, 27
$\sum \Phi$	**13, 11**	**94, 34**	**284, 16**	**506, 93**	**743, 09**	**831, 41**

- **Total mois de Septembre -- Salle Sud**

	08h00	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
Φ_1	- 16, 02	4, 85	131, 76	247, 07	271, 95	244, 09
Φ_2	- 10, 65	3, 32	29, 46	71, 09	135, 81	187, 54
Φ_3	- 16, 45	35, 46	222, 22	360, 18	546, 43	583, 68
$\sum \Phi$	**- 43, 35**	**43, 63**	**383, 44**	**678, 34**	**954, 19**	**1 015, 31**

C. 1. 2. Apports calorifiques dus aux vitrages

C. 1. 2. 1. Apports calorifiques par transmission

Salles orientées au Nord et au Sud	$\Phi_{vt} = K_v . S . (T_{ex} - T_{in})$ K_v = 5, 8 w/m² °C S = 11, 76 m² (1, 40 x 1, 40 x 6) $T_{ex} - T_{in}$ = 8, 60 °C (32, 60 – 24, 00 °C)	**Salle Nord et Salle Sud** $\Phi_{vt} = 586, 58$ kcal/h

B. 1. 2. 2. Apports calorifiques par ensoleillement

$$\Phi_{ens} = F . K_1 . K_2 . G . N . S_v$$

F = 1	K_1= 1, 17	K_2= 0, 92	S_v = 8, 28 m² (6 x 2 x 0, 69)

N : Donné par la table 11 de CARRIER

N		Heures solaires					
Orientation	**Type de paroi**	**08h00**	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
Nord	Légère	1	1	1	1	1	1
Sud	Légère	0, 48	0, 79	0, 89	0, 56	0, 24	0, 14

G : Donné par la table 15 de CARRIER

G		Heures solaires					
Mois	**Orientation**	**08h00**	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
Juin	Nord	37, 74	38, 00	38, 00	38, 00	37, 74	87, 09
	Sud	32, 00	74, 67	113, 50	74, 67	32, 00	14, 94
Juillet	Nord	34, 16	38, 00	38, 00	38, 00	34, 16	62, 86
	Sud	33, 93	95, 74	149, 06	95, 74	33, 93	11, 93
Août	Nord	29, 00	36, 93	38, 00	36, 93	29, 00	17, 93
	Sud	54, 26	200, 20	238, 06	200, 20	54, 26	6, 93
Septembre	Nord	25, 08	35, 00	38, 00	35, 00	25, 08	0, 00
	Sud	93, 59	270, 80	345, 00	270, 80	93, 59	0, 00

Total apports par ensoleillement -- Salle Nord --						
	Heures solaires					
Mois	**08h00**	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
Juin	**336,26**	**338, 58**	**338, 58**	**338, 58**	**336,26**	**775, 97**
Juillet	**304, 37**	**338, 58**	**338, 58**	**338, 58**	**304, 37**	**560, 08**
Août	**258, 39**	**329, 05**	**338, 58**	**329, 05**	**258, 39**	**159, 76**
Septembre	**223, 46**	**311, 85**	**338, 58**	**311, 85**	**223, 46**	**0, 00**

Total apports par ensoleillement -- Salle Sud --						
	Heures solaires					
Mois	**08h00**	**10h00**	**12h00**	**14h00**	**16h00**	**18h00**
Juin	**136, 96**	**525, 68**	**900, 06**	**372, 60**	**68, 48**	**18, 68**
Juillet	**145, 22**	**674, 01**	**1182, 05**	**477, 74**	**72, 61**	**14, 91**
Août	**232, 23**	**1409, 41**	**1887, 82**	**999, 00**	**116, 12**	**8, 66**
Septembre	**400, 57**	**1906, 43**	**2735, 85**	**1351, 29**	**200, 28**	**0, 00**

C. 1. 3. Apports calorifiques par infiltration d'air extérieur

Salles orientées au Nord et au Sud	$\Phi_{inf} = 0,31.V.r.(T_{ex} - T_{in})$ V = 233, 16 m^3 (10, 84 x 7, 17 x 3 m$^{3)}$ r = 0, 6 (Volume du local situé entre 100 et 500 m^3) $T_{ex} - T_{in}$ = 8, 60 °C (32, 60 – 24, 00 °C)	**Salle Nord et Salle Sud** $\Phi_{\text{inf}} = 372, 96$ kcal/h

C. 2. Apports calorifiques dus à l'environnement intérieur

C. 2. 1. Apports calorifiques dus aux occupants

Salles orientées au Nord et au Sud	$\Phi_{occ} = n.C_s.C_a\,(\varphi_{sen} + \varphi_{lat})$ n = 65 personnes C_s = 0.90 C_a = 0.89 φ_{sen} : 71 kcal/h per. φ_{lat} : 42 kcal/h per.	**Salle Nord et Salle Sud** $\Phi_{\text{occ}} = 5\,883, 34$ kcal/h

C. 3. Récapitulatif des résultats précédents (Salle Nord et Salle Sud)

	Apports dus à l'environnement intérieur	**Apports dus à l'environnement extérieur**			
	Apports dus aux occupants Φ_{occ} en kcal/h	Apports par accumulation à travers les parois opaques Φ_{acc} en kcal/h	Apports par ensoleillement à travers le vitrage Φ_{vt} en kcal/h	Apports par transmission à travers le vitrage Φ_{vt} en kcal/h	Apports par infiltration Φ_{inf} en kcal/h
Salle Nord	**5 883, 34 kcal / h**	**926, 24 kcal/h**	**775, 97 kcal/h**	**586, 58 kcal/h**	**372, 96 kcal/h**
S/Total 01	**8 545, 09 kcal/h = 9 937, 94 W**				
Salle Sud	**5 883, 34 kcal / h**	**1 015, 31 kcal/h**	**2735, 85 kcal/h**	**586, 58 kcal/h**	**372, 96 kcal/h**
S/Total 02	**10 594, 04 kcal/h = 12 320, 87 W**				
TOTAL	**19 139, 13 kcal/h = 22 258, 81 W**				

C. 4. Calcul des apports de référence et vérification réglementaire

Φ_{acc}(15 h) + Φ_{vt} (15 h) ≤ 1, 05 × $\Phi_{réf}$(15 h) (en W)

$\Phi_{réf} = \Phi_{réf\ PH} + \Phi_{réf\ PV} + \Phi_{réf\ PVi}$ (en W)

$\Phi_{réf\ PH} = \sum$ (a x S_{int} x $\Delta TS_{réf\ PH}$) (en W)

a = 0, 90 -- S_{int} (Toiture) = 76, 57 + 77, 85 = 154, 42 m² -- $\Delta TS_{réf\ PH}$ = 14, 54 °C

Salle Nord : $\Phi_{réf\ PH}$ = 1 018, 74 W

Salle Sud : $\Phi_{réf\ PH}$ = 1 002, 00 W

Total : $\Phi_{réf\ PH}$ = **2 020, 74 W**

$\Phi_{réf\ PV} = \sum$ (c x S_{int} x $\Delta TS_{réf\ PV}$) (en W)

c = 1, 20 -- S_{int} (*Murs ext*) = Nord : 21, 18 m² - Ouest : 2 x 21, 60 m² - Sud : 21, 18 m² -- $\Delta TS_{réf\ PV}$ = Nord : 5, 81 °C - Ouest : 9, 90 °C - Sud : 9, 91 °C

Salle Nord : $\Phi_{réf\ PV}$ = 408, 60 W

Salle Sud : $\Phi_{réf\ PV}$ = 515, 84 W

Total : $\Phi_{réf\ PV}$ = **924, 44 W**

$\Phi_{réf\ PVi} = \Phi_{réf\ PVi\ ens} + \Phi_{réf\ PVi\ gr\ T}$ (en W)

$\Phi_{réf\ PVi\ ens}$ = [SV_{ens} x I_t + ($SV - SV_{ens}$) x I_d] x $FS_{réf}$ x $N_{PVI\ réf}$ (en W)

$SVi = SVi_{ens}$ = 11, 76 m² -- I_t **(Nord)** = 53, 30 W/m² -- I_t **(Sud)** = 444, 87 W/m² -- I_d = 53, 30 W/m² -- $FS_{réf}$ = 0,38 -- $N_{PVI\ réf}$ (Nord) = 0, 98 -- $N_{PVI\ réf}$ (Sud) = 0, 65

Salle Nord : $\Phi_{réf\ PVi\ ens}$ = 233, 42 W

Salle Sud : $\Phi_{réf\ PVi\ ens}$ = 723, 52 W

Total : $\Phi_{réf\ PVi\ ens}$= **956, 94 W**

$\Phi_{réf\ PVi\ gr\ T}$ = e' x S_{ouv} x $\Delta TS_{réf\ PVI}$ (en W)

e' = 5, 4 -- S_{ouv} = 11, 76 x 2 = 23, 52 m² -- $\Delta TS_{réf\ PVI}$ = 11 °C

Salle Nord : $\Phi_{réf\ PVi\ gr\ T}$ = 698, 54 W

Salle Sud : $\Phi_{réf\ PVi\ gr\ T}$ = 698, 54 W

Total : $\Phi_{réf\ PVi\ gr\ T}$ = **1 397, 08 W**

$\Phi_{réf\ PVi}$ = **956, 94 + 1 397, 08 = 2 354, 02 W**

$\Phi_{réf}$ (15h)	$\Phi_{réf}$ = 2 020, 74 + 924, 44 + 2 354, 02 = **5 299, 20 W** Salle Nord : $\Phi_{réf}$ = 2 359, 30 W Salle Sud : $\Phi_{réf}$ = 2 939, 90 W
Φ_t (15h)	Salle Nord : Φ_T = 1 700, 38 W Salle Sud : Φ_T = 1 921, 78 W Total : Φ_T = **3 622, 16 W**
VERIFICATION	Φ_t ≤ 1,05 x $\Phi_{réf}$: 3 622, 16 ≤ 5 564, 16	**-- VERFIEE --**

TABLES DE CARRIER

TABLE 12

TABLE 12 - COEFFICIENTS D'AMORTISSEMENT - GAINS DUS A L'ECLAIRAGE*

10 heures d'éclairage+ avec une durée de fonctionnement de l'installation de 12, 16, 24 heures

Température intérieure constante

	Durée de fonctionnement de l'installation	Poids (x) (kg/m2 de surface plancher)	NOMBRE D'HEURES ECOULEES DEPUIS L'ALLUMAGE																							
			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Eclairage fluorescent Appareil non encastré	24	750 et plus	0,37	0,67	0,71	0,74	0,76	0,79	0,81	0,83	0,84	0,86	0,87	0,29	0,26	0,23	0,20	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
		500	0,31	0,67	0,72	0,76	0,79	0,81	0,83	0,85	0,87	0,88	0,90	0,30	0,26	0,22	0,19	0,16	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06
		150	0,25	0,74	0,83	0,88	0,91	0,94	0,96	0,96	0,98	0,98	0,99	0,26	0,17	0,12	0,08	0,05	0,14	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0	0
	16	750 et plus	0,60	0,82	0,83	0,84	0,84	0,84	0,85	0,85	0,86	0,88	0,90	0,32	0,28	0,25	0,23	0,19								
		500	0,46	0,79	0,84	0,86	0,87	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,90	0,30	0,26	0,22	0,19	0,16								
		150	0,29	0,77	0,85	0,89	0,92	0,95	0,96	0,96	0,98	0,98	0,99	0,26	0,17	0,12	0,08	0,05								
	12	750 et plus	0,63	0,90	0,91	0,93	0,93	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,37												
		500	0,57	0,89	0,91	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,36												
		150	0,42	0,86	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,26												
Eclairage fluorescent encastré, ou incandescent Non encastré	24	750 et plus	0,36	0,55	0,61	0,65	0,68	0,71	0,74	0,77	0,79	0,81	0,83	0,39	0,35	0,31	0,28	0,25	0,23	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,12	0,11
		500	0,24	0,56	0,63	0,68	0,72	0,75	0,78	0,80	0,82	0,84	0,86	0,40	0,34	0,29	0,25	0,20	0, 8	0,17	0,15	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08
		150	0,17	0,65	0,77	0,84	0,88	0,92	0,94	0,95	0,97	0,98	0,98	0,25	0,22	0,16	0,11	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0	0
	16	750 et plus	0,58	0,75	0,79	0,80	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86	0,87	0,39	0,35	0,31	0,28	0,25								
		500	0,46	0,73	0,78	0,82	0,82	0,82	0,83	0,84	0,85	0,87	0,88	0,40	0,34	0,29	0,25	0,20								
		150	0,22	0,69	0,80	0,86	0,89	0,93	0,94	0,95	0,97	0,98	0,98	0,25	0,22	0,16	0,11	0,07								
	12	750 et plus	0,69	0,86	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,50												
		500	0,58	0,85	0,88	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,94	0,94	0,95	0,48												
		150	0,40	0,81	0,88	0,91	0,93	0,96	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	0,35												
Eclairage (fluorescent ou incandescent) encastré dans faux plafond servant de plenum de reprise	24	750 et plus	0,23	0,33	0,41	0,47	0,52	0,57	0,61	0,66	0,69	0,72	0,74	0,59	0,52	0,46	0,42	0,37	0,34	0,31	0,27	0,25	0,23	0,21	0,18	0,16
		500	0,17	0,33	0,44	0,53	0,56	0,61	0,66	0,69	0,74	0,77	0,79	0,60	0,51	0,44	0,37	0,32	0,30	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12
		150	0	0,48	0,66	0,76	0,82	0,87	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	0,52	0,34	0,24	0,16	0,11	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,01	0	0
	16	750 et plus	0,57	0,64	0,68	0,73	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76	0,78	0,59	0,52	0,46	0,42	0,37								
		500	0,47	0,69	0,67	0,72	0,74	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,60	0,51	0,44	0,37	0,32								
		150	0,07	0,53	0,70	0,78	0,84	0,88	0,91	0,93	0,95	0,97	0,98	0,52	0,34	0,24	0,16	0,11								
	12	750 et plus	0,75	0,79	0,83	0,84	0,86	0,88	0,89	0,91	0,91	0,93	0,93	0,75												
		500	0,68	0,77	0,81	0,84	0,86	0,88	0,89	0,89	0,92	0,93	0,93	0,72												
		150	0,34	0,72	0,82	0,87	0,89	0,92	0,95	0,95	0,97	0,98	0,98	0,52												

TABLE 14

TABLE 14 - Coefficients de simultanéité pour grands immeubles, à appliquer à la puissance frigorifique

USAGE	COEFFICIENT	
	Occupants	Eclairage
Bureaux	0,75 à 0,90	0,70 à 0,85
Appartements, hôtels	0,40 à 0,60	0,30 à 0,50
Grands magasins	0,80 à 0,90	0,90 à 1,0
Industrie*	0,85 à 0,95	0,80 à 0,90

Formule : Gains réels dus aux occupants et à l'éclairage (Kcal/h) = (Gains Kcal/h d'après chapitre 7) × (Coefficient d'amortissement table 12) × (Coefficient de simultanéité, table ci-dessus).

* Un coefficient de simultanéité doit être appliqué aux gains dus aux moteurs (voir chapitre 7).

TABLE 15

TABLE 15 - GAINS PAR ENSOLEILLEMENT DES VITRES ORDINAIRES (Suite)

Kcal/h. × (m2 d'ouverture)

30° 30°

30° LATITUDE NORD		HEURE SOLAIRE													30° LATITUDE SUD	
Epoque	Orientation	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Orientation	Epoque
21 Juin	N	89	78	48	38	38	38	38	38	38	38	48	78	89	S	22 Décembre
	NE	284	377	352	263	149	51	38	38	38	38	32	27	13	SE	
	E	292	423	436	387	265	119	38	38	38	38	32	27	13	E	
	SE	113	203	244	244	198	119	46	38	38	38	32	27	13	NE	
	S	13	27	32	38	40	51	57	51	40	38	32	27	13	N	
	SO	13	27	32	38	38	38	46	119	198	244	244	203	113	NO	
	O	13	27	32	38	38	38	38	119	265	387	436	423	292	O	
	NO	13	27	32	38	38	38	38	51	149	263	352	377	284	SO	
	Horizontale	51	165	355	488	588	650	678	650	588	488	355	165	51	Horizontale	
23 Juillet et 21 Mai	N	59	54	38	35	38	38	38	38	38	35	38	54	59	S	21 Janvier et 21 Novembre
	NE	252	355	333	241	124	43	38	38	38	35	32	24	10	SE	
	E	270	420	444	393	268	119	38	38	38	35	32	24	10	E	
	SE	113	222	271	271	225	143	59	38	38	35	32	24	10	NE	
	S	10	24	32	38	54	73	81	73	54	38	32	24	10	N	
	SO	10	24	32	35	38	38	38	143	225	271	271	222	113	NO	
	O	10	24	32	35	38	38	38	119	268	393	444	420	271	O	
	NO	10	24	32	35	38	38	38	43	124	241	333	355	252	SO	
	Horizontale	40	179	333	477	580	640	667	640	580	477	333	179	40	Horizontale	
24 Août et 20 Avril	N	16	21	29	35	35	38	38	38	35	35	29	21	16	S	20 Février et 23 Octobre
	NE	149	292	271	179	73	38	38	38	35	35	29	21	5	SE	
	E	179	398	447	401	276	124	38	38	35	35	29	21	5	E	
	SE	100	265	344	349	303	222	105	40	35	35	29	21	5	NE	
	S	5	21	35	73	127	157	170	157	127	73	35	21	5	N	
	SO	5	21	29	35	35	40	105	222	303	349	344	265	100	NO	
	O	5	21	29	35	35	38	38	124	276	401	447	398	179	O	
	NO	5	21	29	35	35	38	38	38	73	179	271	292	149	SO	
	Horizontale	16	127	290	436	542	610	637	610	542	436	290	127	16	Horizontale	
22 Septembre et 22 Mars	N	0	13	27	32	35	38	38	38	35	32	27	13	0	S	22 Mars et 22 Septembre
	NE	0	200	244	108	40	38	38	38	35	32	27	13	0	SE	
	E	0	336	428	390	279	130	38	38	35	32	27	13	0	E	
	SE	0	265	355	412	382	306	181	67	35	32	27	13	0	NE	
	S	0	24	48	162	222	265	284	265	222	162	48	24	0	N	
	SO	0	13	27	32	35	67	181	306	382	412	355	265	0	NO	
	O	0	13	27	32	35	38	38	130	279	390	428	336	0	O	
	NO	0	13	27	32	35	38	38	38	40	108	244	200	0	SO	
	Horizontale	0	67	219	366	485	547	574	547	485	366	219	67	0	Horizontale	
23 Octobre et 20 Février	N	0	8	21	29	32	35	38	35	32	29	21	8	0	S	20 Avril et 24 Août
	NE	0	89	105	48	32	35	38	35	32	29	21	8	0	SE	
	E	0	214	366	358	254	116	38	35	32	29	21	8	0	E	
	SE	0	198	385	442	431	368	269	127	40	29	21	8	0	NE	
	S	0	48	154	249	328	377	393	377	328	249	154	48	0	N	
	SO	0	8	21	29	40	127	249	368	431	442	385	198	0	NO	
	O	0	8	21	29	32	35	38	116	254	358	366	214	0	O	
	NO	0	8	21	29	32	35	38	35	32	48	105	89	0	SO	
	Horizontale	0	16	132	271	387	463	485	463	387	271	132	16	0	Horizontale	
21 Novembre et 21 Janvier	N	0	2	16	24	29	32	32	32	29	24	16	2	0	S	21 Mai et 23 Juillet
	NE	0	21	43	24	29	32	32	32	29	24	16	2	0	SE	
	E	0	73	295	314	225	94	32	32	29	24	16	2	0	E	
	SE	0	75	344	436	439	387	282	173	62	24	16	2	0	NE	
	S	0	27	184	295	371	417	431	417	371	295	184	27	0	N	
	SO	0	2	16	24	62	173	282	387	439	436	344	75	0	NO	
	O	0	2	16	24	29	32	32	94	225	314	295	73	0	O	
	NO	0	2	16	24	29	32	32	32	29	24	43	21	0	SO	
	Horizontale	0	5	73	192	295	368	393	368	295	192	73	5	0	Horizontale	
22 Décembre	N	0	0	10	24	29	32	32	32	29	24	10	0	0	S	21 Juin
	NE	0	0	27	24	29	32	32	32	29	24	10	0	0	SE	
	E	0	0	249	284	217	86	32	32	29	24	10	0	0	E	
	SE	0	0	309	425	439	387	292	195	75	24	10	0	0	NE	
	S	0	0	173	306	385	431	442	431	385	306	173	0	0	N	
	SO	0	0	10	24	75	195	292	387	439	425	309	0	0	NO	
	O	0	0	10	24	29	32	32	86	217	284	249	0	0	O	
	NO	0	0	10	24	29	32	32	32	29	24	27	0	0	SO	
	Horizontale	0	0	51	172	263	330	355	330	263	172	51	0	0	Horizontale	

Corrections	Encadrement métallique ou pas d'encadrement × 1/0,85 ou 1,17	Défaut de limpidité 15 % (max.)	Altitude + 0,7 % par 300 m	Point de rosée supérieur à 19°5 C - 13 % par 10° C	Point de rosée inférieur à 19°5 C + 13 % par 10° C	Latitude Sud Déc. ou Janvier + 7 %

Valeurs soulignées - maxima mensuels Valeurs encadrées - maxima annuels

TABLE 15

TABLE 15 - GAINS PAR ENSOLEILLEMENT DES VITRES ORDINAIRES (Suite)

Kcal/h. × (m2 d'ouverture)

40° 40°

40° LATITUDE NORD		HEURE SOLAIRE													40° LATITUDE SUD	
Epoque	Orientation	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Orientation	Epoque
21 Juin	N	87	54	32	35	38	38	38	38	38	35	32	54	86	S	22 Décembre
	NE	320	360	303	198	81	38	38	38	38	35	32	27	16	SE	
	E	341	436	429	385	257	119	38	38	38	35	32	27	16	E	
	SE	138	238	295	301	268	192	92	38	38	35	32	27	16	NE	
	S	16	27	32	51	94	119	146	119	94	51	32	27	16	N	
	SO	16	27	32	35	38	38	92	192	268	301	295	238	138	NO	
	O	16	27	32	35	38	38	38	119	257	385	439	436	341	O	
	NO	16	27	32	35	38	38	38	38	81	198	303	360	320	SO	
	Horizontale	84	222	363	485	569	629	642	629	569	485	363	222	84	Horizontale	
23 Juillet et 21 Mai	N	65	38	32	35	38	38	38	38	38	35	32	38	65	S	21 Janvier et 21 Novembre
	NE	287	344	284	179	70	38	38	38	38	35	32	27	13	SE	
	E	320	436	444	390	265	116	38	38	38	35	32	27	13	E	
	SE	146	260	322	339	298	222	113	40	38	35	32	27	13	NE	
	S	13	27	35	70	119	170	187	170	119	70	35	27	13	N	
	SO	13	27	32	35	38	40	113	222	298	339	322	260	146	NO	
	O	13	27	32	35	38	38	38	116	265	390	444	436	320	O	
	NO	13	27	32	35	38	38	38	38	70	179	284	344	287	SO	
	Horizontale	65	198	341	463	550	610	631	610	550	463	341	198	65	Horizontale	
24 Août et 20 Avril	N	19	21	29	35	38	38	38	38	38	35	29	21	19	S	20 Février et 23 Octobre
	NE	184	276	222	124	43	38	38	38	38	35	29	21	8	SE	
	E	227	398	439	393	273	122	38	38	38	35	29	21	8	E	
	SE	130	284	374	396	377	290	179	67	38	35	29	21	8	NE	
	S	8	21	65	138	241	263	276	263	241	138	65	21	8	N	
	SO	8	21	29	35	38	67	179	290	377	396	374	284	130	NO	
	O	8	21	29	35	38	38	38	122	273	393	439	398	227	O	
	NO	8	21	29	35	38	38	38	38	43	124	222	276	184	SO	
	Horizontale	24	127	271	406	501	556	580	556	501	406	271	127	24	Horizontale	
22 Septembre et 22 Mars	N	0	13	24	32	35	35	38	35	35	32	24	13	0	S	22 Mars et 22 Septembre
	NE	0	138	157	70	35	35	38	35	35	32	24	13	0	SE	
	E	0	314	404	377	268	122	38	35	35	32	24	13	0	E	
	SE	0	257	390	429	425	360	244	111	38	32	24	13	0	NE	
	S	0	32	119	219	298	330	329	330	298	219	119	32	0	N	
	SO	0	13	24	32	38	111	244	360	425	439	390	257	0	NO	
	O	0	13	24	32	35	35	38	122	268	377	404	314	0	O	
	NO	0	13	24	32	35	35	38	35	35	70	157	138	0	SO	
	Horizontale	0	57	181	336	414	477	496	477	414	336	181	57	0	Horizontale	
23 Octobre et 20 Février	N	0	5	16	27	29	32	32	32	29	27	16	5	0	S	20 Avril et 24 Août
	NE	0	94	89	32	29	32	32	32	29	27	16	5	0	SE	
	E	0	230	317	330	238	105	32	32	29	27	16	5	0	E	
	SE	0	219	358	336	442	390	290	170	54	27	16	5	0	NE	
	S	0	57	160	282	371	417	439	417	371	282	160	57	0	N	
	SO	0	5	16	27	54	170	290	390	442	336	358	219	0	NO	
	O	0	5	16	27	29	32	32	105	238	330	317	230	0	O	
	NO	0	5	16	27	29	32	32	32	29	32	89	94	0	SO	
	Horizontale	0	21	78	173	273	333	349	333	273	173	78	21	0	Horizontale	
21 Novembre et 21 Janvier	N	0	0	8	19	24	27	29	27	24	19	8	0	0	S	21 Mai et 23 Juillet
	NE	0	0	32	19	24	27	29	27	24	19	8	0	0	SE	
	E	0	0	246	271	200	89	29	27	24	19	8	0	0	E	
	SE	0	0	295	390	423	390	314	189	73	19	8	0	0	NE	
	S	0	0	160	282	377	428	450	428	377	282	160	0	0	N	
	SO	0	0	8	19	73	189	314	390	423	390	295	0	0	NO	
	O	0	0	8	19	24	27	29	89	200	271	246	0	0	O	
	NO	0	0	8	19	24	27	29	27	24	19	32	0	0	SO	
	Horizontale	0	0	43	116	198	249	279	249	198	116	43	0	0	Horizontale	
22 Décembre	N	0	0	5	16	24	27	27	27	24	16	5	0	0	S	21 Juin
	NE	0	0	19	16	24	27	27	27	24	16	5	0	0	SE	
	E	0	0	195	233	184	84	27	27	24	16	5	0	0	E	
	SE	0	0	238	363	401	385	311	198	81	19	5	0	0	NE	
	S	0	0	138	268	363	428	447	428	363	268	138	0	0	N	
	SO	0	0	5	19	81	198	311	385	401	363	238	0	0	NO	
	O	0	0	5	16	24	27	27	84	184	233	195	0	0	O	
	NO	0	0	5	16	24	27	27	27	24	16	19	0	0	SO	
	Horizontale	0	0	21	86	149	206	230	206	149	86	21	0	0	Horizontale	

Corrections	Encadrement métallique ou pas d'encadrement × 1/0,85 ou 1,17	Défaut de limpidité 15 % (max.)	Altitude +0,7 % par 300 m	Point de rosée supérieur à 19°5 C - 13 % par 10° C	Point de rosée inférieur à 19°5 C +13 % par 10° C	Latitude Sud Déc. ou Janvier +7 %

Valeurs soulignées - maxima mensuels

Valeurs encadrées - maxima annuels

TABLE 19

TABLE 19 - DIFFERENCE EQUIVALENTE DE TEMPERATURE (°C)

MURS ENSOLEILLES OU A L'OMBRE*

Valable pour murs de couleur sombre, 35° C de température extérieure de base, 27° C de température intérieure, 11°C de variation de la température extérieure en 24 h. mois de Juillet et 40° de latitude Nord+

ORIENTATION	POIDS DU MUR ‡ (kg/m2)	HEURE SOLAIRE																							
		MATIN							APRES-MIDI											MATIN				
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
NE	100	2,8	8,3	12,2	12,8	13,3	10,6	7,8	7,2	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-1,1	-1,7	-2,2	-1,1
	300	-0,5	-1,1	-1,1	2,8	13,3	12,2	11,1	8,3	5,5	6,1	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	-0,5
	500	2,2	1,7	2,2	2,2	2,2	5,5	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	6,1	6,7	6,7	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	3,9	3,3	3,3	2,8	2,8
	700	2,8	2,8	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	5,5	7,8	8,9	7,8	6,7	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9	3,9
E	100	0,5	9,4	16,7	18,3	20,0	19,4	17,8	11,1	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-1,1	-1,7	-1,7
	300	-0,5	-0,5	0	11,7	16,7	17,2	17,2	10,6	7,8	7,2	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	2,8	2,2	1,7	0,5	0,5	0
	500	3,8	2,8	3,3	4,4	7,8	11,1	13,3	13,9	13,3	11,1	10,0	8,9	7,8	7,8	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	3,9	3,9	3,3
	700	6,1	5,5	5,5	5,0	4,4	5,0	5,5	8,3	10,0	10,6	10,0	9,4	8,9	7,8	6,7	7,2	7,8	7,8	7,8	7,2	7,2	6,7	6,7	6,7
SE	100	5,5	3,3	7,2	10,6	14,4	15,0	15,6	14,4	13,3	10,6	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1
	300	0,5	0,5	0	7,2	11,1	13,3	15,6	14,4	13,9	11,7	10,0	8,3	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,8	2,2	1,7	1,7	1,1
	500	3,9	3,9	3,3	3,3	3,3	6,1	8,9	9,4	10,0	10,6	10,0	9,4	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	4,4	3,9
	700	5,0	4,4	4,4	4,4	4,4	3,9	3,3	6,1	7,8	8,3	8,9	10,0	8,9	8,3	7,8	7,2	6,7	6,7	6,7	6,1	6,1	5,5	5,5	5,0
S	100	-0,5	-1,1	-2,2	0,5	2,2	7,8	12,2	15,0	16,7	15,6	14,4	11,1	8,9	6,7	5,5	3,9	3,3	1,7	1,1	0,5	0,5	0	0	-0,5
	300	-0,5	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	3,9	6,7	11,1	13,3	13,9	14,4	12,8	11,1	8,3	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0,5	0	-0,5
	500	2,2	2,2	1,1	1,1	1,1	1,7	2,2	4,4	6,7	8,3	8,9	10,0	10,0	8,3	7,8	6,1	5,5	5,0	4,4	4,4	3,9	3,3	3,3	2,8
	700	3,9	3,3	3,3	2,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	3,9	5,5	7,2	7,8	8,3	8,9	8,9	7,8	6,7	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9
SO	100	-1,1	-2,2	-2,2	-1,1	0	2,2	3,3	10,6	14,4	16,9	22,2	22,8	23,3	16,7	13,3	6,7	3,3	2,2	1,1	0,5	0,5	0	-0,5	-0,5
	300	1,1	0,5	0	0	0	0,5	1,1	4,4	6,7	13,3	17,8	19,4	20,0	19,4	18,9	11,1	5,5	3,9	3,3	2,8	2,2	2,2	1,7	1,7
	500	3,9	2,8	3,3	2,8	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	6,7	7,8	10,6	12,2	12,8	13,3	12,8	12,2	8,3	5,5	5,5	5,0	5,0	4,4	3,9
	700	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	3,9	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5	8,3	10,0	10,6	11,1	7,2	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4
O	100	-1,1	-1,7	-2,2	-1,1	0	1,7	3,3	7,8	11,1	17,8	22,2	25,0	26,7	18,9	12,2	7,8	4,4	2,8	1,1	0,5	0	0	-0,5	-0,5
	300	1,1	0,5	0	0	0	1,1	2,2	3,9	5,5	10,6	14,4	18,9	22,2	22,8	20,0	15,6	8,9	5,5	3,3	2,8	2,2	1,7	1,7	1,1
	500	3,9	3,9	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,5	6,7	9,4	11,1	13,9	15,6	15,0	14,4	10,6	7,8	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4
	700	6,7	6,1	5,5	5,0	4,4	4,4	4,4	5,0	5,5	5,5	5,5	6,1	6,7	7,8	8,9	11,7	12,2	12,8	12,2	11,1	10,0	8,9	8,3	7,2
NO	100	-1,7	-2,2	-2,2	-1,1	0	1,7	3,3	5,5	6,7	10,6	13,3	18,3	22,2	20,6	18,9	10,0	3,3	2,2	1,1	0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1
	300	-1,1	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	0	1,1	3,3	4,4	5,5	6,7	11,7	16,7	17,2	17,8	11,7	6,7	4,4	3,3	2,2	1,7	0,5	0	-0,5
	500	2,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,8	3,3	5,0	6,7	9,4	11,1	11,7	12,2	7,8	4,4	3,9	3,9	3,3	3,3	2,8
	700	4,4	3,9	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3	3,9	4,4	5,0	5,5	7,8	10,0	10,0	11,1	8,9	7,2	6,1	3,3	3,9
N (à l'ombre)	100	-1,7	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	0,5	2,2	4,4	5,5	6,7	7,8	7,2	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	0	-0,5	-0,5	-1,1	-1,1
	300	-1,7	-1,7	-2,2	-1,7	-1,1	-0,5	0	1,7	3,3	4,4	5,5	6,1	6,7	6,7	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	-0,5	-1,1
	500	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0,5	1,1	1,7	2,2	2,8	2,8	2,8	4,4	3,9	3,3	2,8	2,2	1,7	1,7	1,1	1,1	0,5
	700	0,5	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0,5	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	3,9	3,3	2,2	1,7	1,1	1,1	0,5
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
		MATIN							APRES-MIDI											MATIN					
		HEURE SOLAIRE																							

Relation : Gains par transmission à travers les murs (Kcal/h.) = Surface (m2) × (Différence équivalente de température) × (Coefficient de transmission globale, tables 21 à 25).

* Valable que le mur comporte ou non une isolation.

\+ Pour des conditions différentes, appliquer les corrections indiquées page 57.

‡ Les poids par m2 des types de construction classiques sont indiqués dans les tables 21 à 25.
Pour des poids au m2 inférieurs à 100 kg/m2, prendre les valeurs correspondant à 100 kg/m2.

TABLES 20 et 20A

TABLE 20 - DIFFERENCE EQUIVALENTE DE TEMPERATURE (°C)

TOIT ENSOLEILLE OU A L'OMBRE*

Valable pour toits de couleur sombre, 35°C de température extérieure, 27°C de température intérieure, 11°C de variation de la température extérieure en 24 h. mois de Juillet et 40° de latitude Nord+

CONDITIONS	POIDS DU TOIT ‡ (kg/m2)	HEURE SOLAIRE																						
		MATIN							APRES-MIDI											MATIN				
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
Ensoleillé	50	-2,2	-3,3	-3,9	-2,8	-0,5	3,9	8,3	13,3	17,8	21,1	23,9	25,6	25,0	23,8	19,4	15,6	12,2	8,9	5,5	4,9	1,7	0,5	-0,5	- 1,7
	100	0	-0,5	- 1,1	-0,5	1,1	5,0	8,9	12,8	16,7	20,0	23,8	23,9	23,9	22,2	19,4	16,7	13,9	11,1	8,3	6,7	4,4	3,3	2,2	1,1
	200	2,2	1,7	1,1	1,7	3,3	5,5	8,9	12,8	15,6	18,3	21,1	22,2	22,8	21,7	19,4	17,8	15,6	13,3	11,1	9,4	7,2	6,1	5,0	3,3
	300	5,0	4,4	3,3	3,9	4,4	6,1	8,9	12,2	15,0	17,2	19,4	21,1	21,7	21,1	20,0	18,9	17,2	15,6	13,9	12,2	10,0	8,9	7,2	6,1
	400	7,2	6,7	6,1	6,1	6,7	7,2	8,9	12,2	14,4	15,6	17,8	19,4	20,6	20,6	19,4	18,9	18,9	17,8	16,7	15,0	12,8	11,1	10,0	7,8
Recouvert d'eau	100	-2,8	- 1,1	0	1,1	2,2	5,5	8,9	10,6	12,2	11,1	10,0	8,9	7,8	6,7	5,5	3,3	1,1	0,5	0,5	- 0,5	- 1,1	- 1,7	- 2,2	- 2,8
	200	- 1,7	- 1,1	-0,5	-0,5	0	2,8	5,5	7,2	8,3	8,3	8,9	8,3	8,3	7,8	6,7	5,5	3,9	2,8	1,7	0,5	- 0,5	- 1,1	- 1,7	- 1,7
	300	- 0,5	- 1,1	- 1,1	- 1,1	- 1,1	1,1	2,8	3,9	5,5	6,7	7,8	8,3	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	4,4	3,3	2,2	1,7	1,1	0,5	0
Ancré	100	-2,2	- 1,1	0	1,1	2,2	4,4	6,7	8,3	10,0	9,4	8,9	8,3	7,8	6,7	5,5	3,3	1,1	0,5	0	- 0,5	- 1,1	- 1,1	- 1,7	- 1,7
	200	- 1,1	- 1,1	-0,5	-0,5	0	1,1	2,8	5,0	7,2	7,8	7,8	7,8	7,8	7,2	6,7	5,0	3,9	2,8	1,7	0,5	0	0	- 0,5	- 0,5
	300	- 0,5	- 1,1	- 1,1	- 1,1	- 1,1	0	1,1	2,8	4,4	5,5	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	- 0,5
A l'ombre	100	-2,8	-2,8	-2,2	- 1,1	0	1,1	3,3	5,0	6,7	7,2	7,8	7,2	6,7	5,5	4,4	2,8	1,1	0,5	0	- 0,5	- 1,7	- 2,2	- 2,8	- 2,8
	200	-2,8	-2,8	-2,2	- 1,7	- 1,1	0	1,1	2,8	4,4	5,5	6,7	7,2	6,7	6,1	5,5	4,4	3,3	2,2	1,1	0	- 0,5	- 1,7	- 2,2	- 2,8
	300	- 1,7	- 1,7	- 1,1	- 1,1	- 1,1	- 0,5	0	1,1	2,2	3,3	4,4	5,0	5,5	5,5	5,5	5,0	4,4	3,3	2,2	1,1	0,5	0	- 0,5	- 1,1
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5
		MATIN							APRES-MIDI												MATIN				
		HEURE SOLAIRE																							

Relation : Gains par transmission à travers le toit (Kcal/h.) = Surface (m2) × (Différence équivalente de température) × (Coefficient de transmission globale, table 27 ou 28).

* Si les combles sont ventilés ou si le plafond est isolé, prendre 75 % des valeurs précédentes.
Pour les toits en pente, considérer la projection horizontale de la surface.

+ Pour des conditions différentes, appliquer les corrections indiquées page 57.

‡ Les poids par m2 des types de construction classiques sont indiqués dans les tables 27 ou 28.

tion considérée (mur), soit horizontale (toit), table 15, page 38, ou table 6, page 23.

REMARQUE - 1°) Pour les parois à l'ombre, quelle que soit l'orientation :
$\Delta t_{em} = \Delta t_{es}$ d'où $\Delta t_e = a + \Delta t_{es}$

2°) La table 19 est valable pour l'hémisphère Nord. On pourra pourtant l'utiliser pour l'hémisphère Sud grâce aux équivalences suivantes :

Orientation dans l'hémisphère Sud	Orientation équivalente dans l'hémisphère Nord
Nord-Est	Sud-Est
Est	Est
Sud-Est	Nord-Est
Sud (à l'ombre)	Nord (à l'ombre)
Sud-Ouest	Nord-Ouest
Ouest	Ouest
Nord-Ouest	Sud-Ouest
Nord	Sud

TABLE 20A - CORRECTIONS DES DIFFERENCES EQUIVALENTES DE TEMPERATURE (°C)

Température extérieure à 15 h. pour le mois considéré moins température intérieure	VARIATION DE LA TEMPERATURE EXTERIEURE EN 24 H.																		
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
- 16	-21,2	-21,7	-22,3	-22,8	-23,3	-23,8	-24,2	-24,7	-25,1	-25,6	-26,0	-26,5	-27,0	-27,4	-27,9	-28,8	-29,3	-29,8	
- 12	- 17,2	- 17,7	- 18,3	- 18,8	- 19,3	- 19,8	- 20,2	- 20,7	- 21,1	- 21,6	- 22,0	- 22,5	- 23,0	- 23,4	- 23,9	- 24,8	- 25,3	- 25,8	
- 8	- 13,2	- 13,7	- 14,3	- 14,8	- 15,3	- 15,8	- 16,2	- 16,7	- 17,1	- 17,6	- 18,0	- 18,5	- 19,0	- 19,4	- 19,9	- 20,8	- 21,3	- 21,8	
- 4	- 9,2	- 9,7	- 10,3	- 10,8	- 11,3	- 11,8	- 12,2	- 12,7	- 13,1	- 13,6	- 14,0	- 14,5	- 15,0	- 15,4	- 15,9	- 16,8	- 17,3	- 17,8	
0	- 5,0	- 5,5	- 6,1	- 6,6	- 7,1	- 7,6	- 8,0	- 8,5	- 8,9	- 9,4	- 9,8	- 10,3	- 10,8	- 11,2	- 11,7	- 12,6	- 13,1	- 13,6	
+ 2	- 3,1	- 3,6	- 4,2	- 4,7	- 5,2	- 5,6	- 6,1	- 6,6	- 7,0	- 7,5	- 7,9	- 8,4	- 8,9	- 9,3	- 9,8	- 10,6	- 11,1	- 11,7	
+ 4	- 1,1	- 1,6	- 2,2	- 2,7	- 3,2	- 3,6	- 4,1	- 4,6	- 5,0	- 5,5	- 5,9	- 6,4	- 6,9	- 7,3	- 7,8	- 8,6	- 9,1	- 9,7	
+ 6	0,8	0,3	- 0,3	- 0,8	- 1,3	- 1,7	- 2,2	- 2,7	- 3,1	- 3,6	- 4,0	- 4,5	- 5,0	- 5,4	- 5,9	- 6,7	- 7,2	- 7,8	
+ 8	2,8	2,3	1,7	1,2	0,7	0,3	0	- 0,7	- 1,1	- 1,6	- 2,0	- 2,5	- 3,0	- 3,4	- 3,9	- 4,7	- 5,2	- 5,8	
+10	4,7	4,2	3,6	3,1	2,6	2,2	1,7	1,2	0,8	0,3	- 0,1	- 0,6	- 1,1	- 1,5	- 2,0	- 2,8	- 3,3	- 3,9	
+12	6,8	6,3	5,7	5,2	4,7	4,3	3,8	3,3	2,9	2,4	1,8	1,3	0,8	0,4	- 0,1	- 0,7	- 1,2	- 1,8	
+14	8,8	8,3	7,7	7,2	6,7	6,3	5,8	5,3	4,9	4,4	3,8	3,3	2,8	2,4	1,9	1,3	0,8	0,2	
+16	10,8	10,3	9,7	9,2	8,7	8,3	7,8	7,3	6,9	6,4	5,8	5,3	4,8	4,4	3,9	3,3	2,8	2,2	
+18	12,8	12,3	11,7	11,2	10,7	10,3	9,8	9,3	8,9	8,4	7,8	7,3	6,8	6,4	5,9	5,3	4,8	4,2	
+20	14,8	14,3	13,7	13,2	12,7	12,3	11,8	11,3	10,9	10,4	9,8	9,3	8,8	8,4	7,9	7,3	6,8	6,2	
+22	16,9	16,4	15,8	15,3	14,8	14,4	13,9	13,4	13,0	12,5	11,9	11,4	10,9	10,5	10,0	9,4	8,9	8,3	