

## An alternative for a better thermal comfort

### Abstract

The transformation that the city of Tunis has undergone has engendered an inordinate urban sprawl, thus creating a tertiarisation of colonial buildings in the city center. It is clear that the colonial fabric, which no longer meets the needs of occupation of current modern life, is relegated to the background, causing over the years the deterioration of structures and a significant degradation of colonial buildings. Therefore, we are interested in this fabric which has seen its buildings sacrificed to the detriment of new constructions. We therefore propose to compare these two types of buildings from a thermal point of view. To do this, a mix of research techniques, combining in-situ measurements, surveys and numerical simulations, has enabled us to assess indoor thermal comfort according to its three aspects (physical, psychological and physiological). The results confirmed to us the thermal quality available to the colonial heritage.

**Keywords:** *Thermal comfort, Numerical simulation, TRNSYS, Colonial built heritage, Contemporary constructions*

### Introduction

Tunis has always fascinated by its different but rich cultural passages which have marked its urban space.

"The year 1881, which was the year of the institution of the protectorate, marked a turning point in the history of Tunis. The city, which until then had known only slow and modest changes, has entered an era of rapid change which, in two or three decades, has profoundly transformed it" [1]. This change has generated migratory waves which have made this city a "hyper-center". Indeed, demographic pressures have pushed the city center to extend more and more to the periphery, thus generating its tertiarization. No longer meeting the occupation needs of modern modern life, the colonial fabric is relegated to the background, causing over the years the deterioration of structures and a significant degradation of colonial buildings.

As a result, and given the lack of maintenance by the local authorities and the owners, the solution to implant the new constructions was none other than to sacrifice the colonial heritage by abandoning it and demolishing it to make way for more contemporary constructions. However, the latter are generally designed without taking into account the climatic aspect given the excessive use of curtain walls in a country with high

exposure to the sun, which strongly impacts the thermal comfort of buildings.

The city center of Tunis thus finds itself torn between the preservation of a precious colonial heritage or the emancipation towards contemporaneity. It therefore seemed interesting to us to assess which of the colonial or contemporary buildings had better thermal quality.

### Architectural and urban transfiguration of the city of Tunis

We begin by setting the context for this research by briefly retracing the history of the city of Tunis. In 1835, as Europe was forced to the top thanks to technical and scientific advances that revolutionized industry, Tunis entered a phase of indebtedness and became marked by reckless borrowing. Adding to this the modernist desires of its sovereign at the time (Khayr-ad-Din Pasha (1820-1890)), in addition to its strategic geographical location, the city of Tunis then becomes an attractive target favoring the installation of the French protectorate (1881-1956) [2]. Tunis becomes a hotbed of exchanges between the different countries of the Mediterranean. Until then, the city was confined to the medina, organized according to the Arab-Muslim urban model, flanked by a northern suburb and a southern suburb. It is a dense and winding urban complex occupying an area of around 300 ha and protected by a double enclosure. Then, with the increase of the European population, and by the new way of life and the new commercial activities, the centrality of the city of Tunis then becomes extramural. Juxtaposing the old city (the Medina), the "new city" has developed along the route of a grid plan. We are witnessing the emergence of a new form of housing that is very different from traditional Tunisian introverted housing; these are the buildings which then began to rise. This type of dwelling is therefore for the most part apartment buildings of three to five floors, mainly for residential use. The ground floor is generally, depending on the situation, occupied by shops. In the 1980s, Tunis still experienced spectacular urban development; the capital is shifting from the city scale to a true nascent "metropolis". Indeed, this disproportionate urban explosion continued until the 1990s, making Tunis a "hyper-center" [2]. Residential neighborhoods have developed on the outskirts. The city center is depopulated and the colonial

fabric, which no longer meets the current way of life and occupancy needs, is relegated to the background, gradually causing the tertiarization of colonial buildings. From now on, neglected and without maintenance, the colonial heritage is in a state of disrepair and degradation, so much so that the local authorities prefer to demolish it to make room for new contemporary constructions. These actions lead us to question ourselves about the qualities, particularly thermal and environmental, of each of them.

### Multiple dimensions of thermal comfort

Comfort is a global and complex concept. More specifically when we talk about thermal comfort, several aspects can come into play. According to Depecker and al. [3], a thermally comfortable space is produced when the human organism manages to maintain its constant body temperature without the intervention of thermoregulatory mechanisms to fight against heat or cold: this is thermal neutrality. However, thermal comfort cannot be understood from this physical aspect only. It must be studied taking into account its other physiological and psychological aspects, in order to take into account the interrelationship between the thermal conditions of the environment, the physiological responses, and the psychological phenomena (sensation, behavior) [4]. This is how physiologically we must be interested in the self-regulatory mechanisms that come into play in a thermal environment, such as sweating or even shivering.

In addition, the psychological approach tries to determine the relationships between physical and physiological quantities and their sensory results in the individual [5,6]. This mixing of aspects allows us to understand this complex notion of thermal comfort as a whole.

### Materials and method

#### Study area

Tunisia is located to the north of the African continent, bordered to the north and east by the Mediterranean Sea, to the west by Algeria and to the south / southeast by Libya. Its capital Tunis, since 1159, which is located in the northeast of the country, is the largest city of Tunisia. From now on, Tunis is the administrative, political, economic and cultural capital of the country.

*Climate and determination of the study period*  
Tunis (36° 47' 51" N, 10° 09' 57" E)

is characterized by a Mediterranean climate whose specificity lies in the alternation of a hot, dry and very sunny season with a cool and rainy season. This climate owes its essential features to the latitude which controls the thermal regime of the seasons; to the Mediterranean, which tempers both winter cold and summer heat, and to the movements of air masses in the northern hemisphere and in the relief. Indeed, "the position in relation to the sea intervenes to vigorously shape the climate" [7].

However, with very high temperatures in summer (often exceeding 40 °C), users of contemporary buildings in Tunis complain of overheating and permanent discomfort. Therefore, it seemed more interesting to us to conduct our study during the summer period, more precisely during the month of August which is the hottest month.

#### Presentation of the study corpus

The comprehensive inventory we carried out on the colonial fabric of downtown Tunis, which spans about 70 hectares, counted more than 400 contemporary buildings. Nearly half of the contemporary buildings listed are located in the Lafayette district (36° 48' 43" N, 10° 10' 52" E).

Therefore, we delimit our study area to this neighborhood. A careful examination of all the buildings, colonial and contemporary, composing this district was carried out and allowed us to identify various configurations of buildings. The most common arrangements are: the corner building (adjoining on the two other sides) and the one with only one street frontage (adjoining on 3 sides). To this end, we have selected two buildings representative of each of the configurations; one colonial and the other contemporary. The study corpus then consists of four specimens to be analyzed.

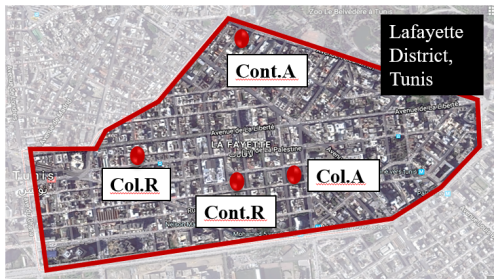


Fig.1 – Location of the buildings studied (Col.A = Colonial corner building  
Col.R = Colonial building with only one facade on the street  
Cont.A = Contemporary corner building  
Col. R = Contemporary building with only one street front

#### Methodology

In order to study the thermal qualities of colonial and contemporary buildings in the Lafayette fabric, we will conduct a comparative study of 4 buildings (2 of each type). The thermal performance evaluation methodology is based on a mix of research techniques that combines an in-situ measurement campaign, surveys (questionnaire and observations) as well as thermodynamic simulations on the TRNSYS

model (Transient System Simulation Tool, version 16).

Thus, we first undertook a campaign to measure the physical parameters of the environment in order to validate the numerical simulation by verifying whether the output data agree with those measured. Once the validation was done, we proceeded to the simulation of the thermal performance on the model.

Next, our survey is of a level III cross-sectional type [8]. Level III refers to the most complex level since it contains both an objective and subjective assessment of indoor thermal conditions while including information relating to the clothing and activities of the subjects required to calculate the various comfort indices. The objective assessment is based on taking measurements of all physical environmental parameters (Ta, Tmrt, HR and Va), in accordance with ISO 7730 and ISO 7726 [9], [10]. The subjective assessment, on the other hand, is based on the fact that a questionnaire is administered to the participants concerning their thermal sensation and perception. This survey will also be supplemented by observations of user behavior regarding the use of thermal environment control means.

The cross-sectional aspect of this survey relates to the sampling mode for distributing questionnaires to a large population allowing each individual to contribute to the survey only by one or a limited number of votes in order to guarantee a certain precision in the answers.

#### Analysis of the indoor thermal comfort

For the evaluation of the physical aspect of thermal comfort, we rely on the calculation of the comfort indices. The first index chosen is the PMV (Predicted Mean Vote) [11] It is obtained through numerical simulation on Trnsys. The second index chosen is the SET (Standard Effective Temperature) [12], its calculation will be done using a calculation tool offered by ASHRAE (CBE Thermal Comfort Tool [13]). For both, we deduce the averages for each building, based on daily variations. The results relating to the PMV index will be read according to the thermal detection scale proposed by ASHRAE [14] which varies between -3 and +3 (example "-3" means "cold" and "+3" means "hot"). To read the results for the SET index we use the sensation and physiological state scale proposed by Parsons [4].

We then assess the psychological aspect through the thermal sensations that an individual experiences as a result of the relationship between physical and physiological magnitudes. The physiological aspect, for its part, is assessed on the basis of the behavioral adjustments that users have had recourse to to alleviate the problems of discomfort. To this end, we base the assessment of the physiological-psychological aspect on a questionnaire distributed, during the month of August, to 80 people; 20 users in each building studied. The questionnaire will be developed using subjective judgment scales (perception vote, evaluation vote and preference vote) [15].

#### Results of the indoor thermal comfort assessment

We present here the averages of the results of the buildings studied, comparing colonial ones with contemporary ones in order to highlight their differences.

##### Physical aspect of indoor thermal comfort

We use the two analytical indices PMV and SET for the evaluation of the physical aspect of thermal comfort. With regard to the evaluation of the thermal comfort of interior spaces through the PMV index, the averages of the daily variations of the PMV (Fig.2), relating to the two types of buildings studied, allow us to observe a clear difference between colonial buildings and their contemporary counterparts favoring colonial ones.

Indeed, we notice, here, that the colonial buildings are "slightly hot" during most of the day, then they reach the "hot" level (with a maximum value of the PMV equal to 2.16) to stay there only 4 hours. On the other hand, contemporary buildings cross quickly the "hot" level and stay there for 7 hours.

We also notice that the latter show a peak at 6 pm, thus reaching their maximum with a PMV value equal to 2.73 bringing them dangerously close to the "very hot" stage.

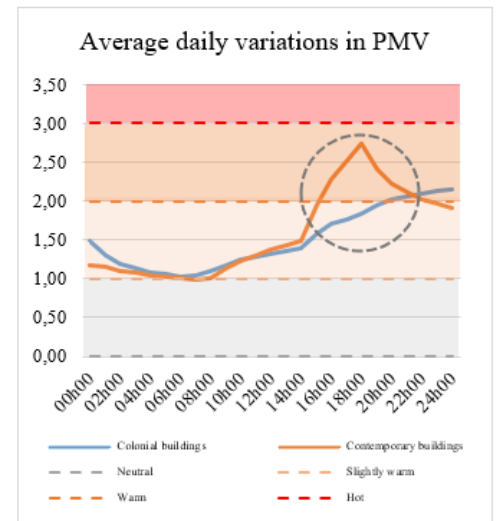


Fig.2 – Comparison of the means of the daily variations (PMV)

By referring to the averages of the daily variations relating to the SET index, the results (Fig.3) show us that contemporary buildings spend 11 hours in a "slightly warm" zone while the colonists spend only 7 hours and 30 minutes there. Even if the colonials are the first to cross the "hot / unacceptable" level, they remain there until the end of the day, unlike the contemporaries who show a peak, reaching their maximum (SET = 34, 84 °C), which takes them to the "hot / very unacceptable" zone. Moreover, if we calculate the difference in the daily values of the EETS reached, we find that contemporary buildings show a considerable daily difference of around 6 °C against only 3.5 °C for the colonial ones.

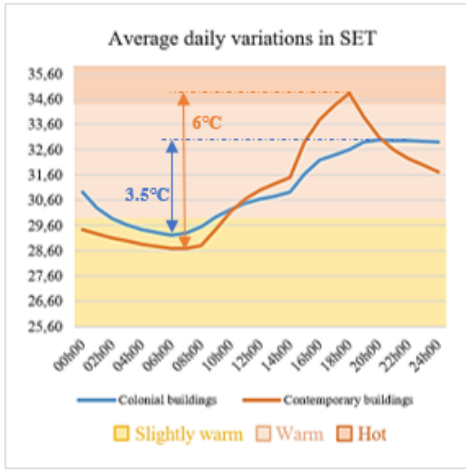


Fig.3 – Comparison of the means of the daily variations (PMV)

*Psychological aspect of indoor thermal comfort: Subjective judgments: Temperature*

By referring to the responses of users relating to temperature (Fig.4), we note that the colonial presents 73.03% of "neutral" and "slightly warm" sensation against only 28.28% for the contemporary. In addition, a minority of 4.55% of colonial users consider it "hot" against 33.94% in contemporary. In addition, the perception of the colonial seems more advantageous with 13.34% "good" and 56.69% "acceptable" against only 32% for the contemporary. As a result, 67.87% of contemporary occupants find it "unacceptable" against only 26.97% for the colonial. As a result, 77.74% of users prefer slightly colder or unchanged temperatures for the colonial against only 47.74% for the contemporary.

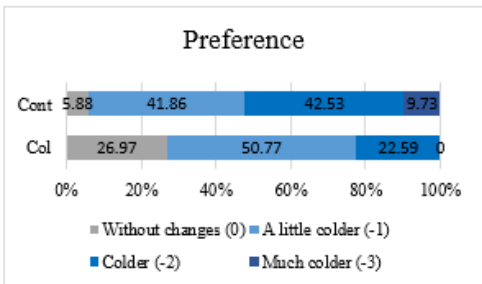
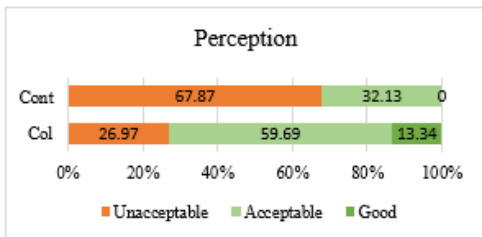
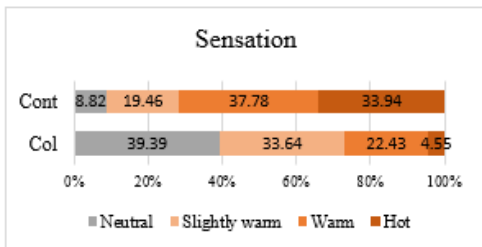


Fig.4 – Comparison between colonial buildings and contemporary buildings based on temperature's evaluation

*Evaluative judgments: Thermal ambiance*

The results (Fig.5) shows that only 21.49% of occupants find the overall thermal atmosphere in contemporary buildings "neutral" and / or "comfortable", compared to 69.70% in colonial buildings. We also note that 72.62% of users find contemporary buildings thermally uncomfortable. This is why in terms of satisfaction, 66.36% of users of colonial buildings are satisfied with the overall thermal environment, while, at 78.51%, contemporary buildings show a high percentage of dissatisfied.

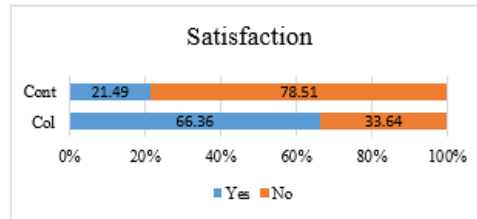
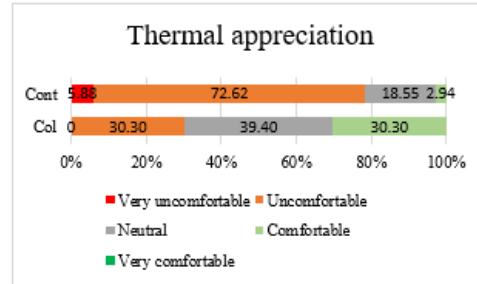


Fig.5 – Comparison between colonial buildings and contemporary buildings based on thermal ambiance's evaluation

*Physiological aspect of indoor thermal comfort*

In this section, the aim is to compare the behavioral adjustments to which users of the two types of buildings have resorted (Fig.6). On average, 48.73% of the occupants of colonial buildings use behavioral adjustments against 58.65% in contemporary buildings. The averages seem quite close but the reality is quite different. Indeed, the results of the graphs below show that colonial buildings are content with natural ventilation to improve the indoor thermal environment and use little of the adjustments relating to air conditioning. This confirms the opinion of the 69.70% of

occupants who judged colonial buildings to be "neutral" and / or "comfortable".

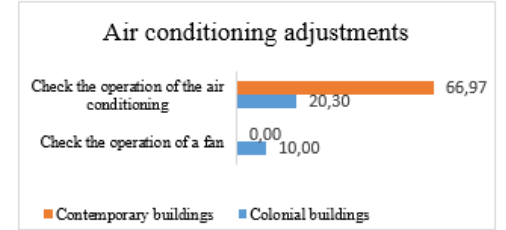
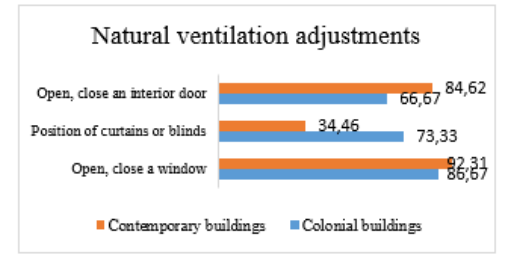


Fig.6 – Comparison between colonial buildings and contemporary buildings based on physiological aspect

On the other hand, we note that not being thermally comfortable (and this, based on the previous analyzes relating to the physical and psychological aspects), contemporary buildings use both adjustments relating to natural ventilation (mainly by opening and closing doors and windows), but also adjustments to air conditioning through the use of air conditioning. We therefore focus on the excessive use of air conditioners in contemporary buildings since it is multiplied by three compared to colonial buildings (only 20.30% in colonial buildings against 66.97% in contemporary buildings).

**Discussion and conclusion**

At the end of this research, and through the various analyzes of the three aspects of thermal comfort (Tab.1), it clearly appears that colonial buildings are classified better from a thermal point of view than contemporary ones. Indeed, whether this is through the PMV and SET comfort indices, as the surveys deduced from the questionnaire and from the observation, we notice that colonial buildings are assessed and

Tab.1 – Summary of thermal analysis results

Column 1	Column 2	Colonial buildings	Contemporary buildings	Ranking
<i>Physical aspect</i>	PMV	1.50 / Slightly warm	1.63 / Slightly warm	1- Colonial 2- Contemporary
	SET	[29.21°C – 32.98°C] Avg: 31.09°C (W-U)	[28.68°C – 34.84°C] Avg: 31.76°C (W-U)	
<i>Psychological aspect</i>	Subjective judgments ( <i>T<sub>a</sub></i> )	Neutral (39.39 %) Slightly warm (33.64%)	Warm (37.78%) Hot (33.94%)	1- Colonial 2- Contemporary
	Evaluative judgments ( <i>Ambiance</i> )	Adequate (39.40%) Comfortable (30.30%)	Uncomfortable (72.62 %)	
	Evaluative judgments ( <i>Satisfaction</i> )	Yes (66.36%)	No (78.51%)	
<i>Physiological aspect</i>	Behavioral adjustments ( <i>Natural ventilation</i> )	75.55%	70.46%	1- Colonial 2- Contemporary
	Behavioral adjustments ( <i>Air conditioning</i> )	15.15%	33.49%	

perceived to be more thermally comfortable than contemporary buildings. Thus, it appears that it is imperative to initiate, on the one hand, actions to maintain and safeguard our colonial heritage and, on the other hand, to draw lessons to correct contemporary constructions. We will thus be able to borrow the main characteristics of colonial buildings and adapt them to new constructions, which would be more in line with the demands of current life but which would offer better thermal conditions and therefore more environmental respect.

## REFERENCES

- [1] SEBAG Paul, Tunis histoire d'une ville, L'Harmattan, Paris, 1989, p.311.
- [2] AMMAR Leila, 2005, « Histoire de l'architecture en Tunisie de l'Antiquité à nos jours », La Manouba : Centre de Publication Universitaire.
- [3] DEPECKER, P et al. (1989) Qualité thermique des ambiances. AFME, Collection cahiers pédagogiques Thermique et Architecture, Paris.
- [4] PARSONS, K. (2003) Human thermal environment. 2nd Edition: Taylor & Francis. London.
- [5] NARCON, S. (2001) Caractérisation des perceptions thermiques en régime transitoire: Contribution à l'étude de l'influence des interactions sensorielles sur le confort. Thèse Neurosciences et Comportement. Ecole Pratique des Hautes Etudes. Paris.
- [6] DE DEAR, R. J.; BRAGER, G.S; COOPER, D. (2003) Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference Final Report [en ligne]. Disponible sur : [http://aws.mq.edu.au/rp-884/RP884\\_Final\\_Report.pdf](http://aws.mq.edu.au/rp-884/RP884_Final_Report.pdf) (consulté le 24/01/2012)
- [7] TLATLI Salah-Eddine, Tunisie nouvelle; problèmes et perspectives, à l'aube d'une renaissance, Imprimerie SEFAN, Tunis, 1957, p.11.
- [8] MOUJALLED Bassam, 2007, « Modélisation dynamique du confort thermique dans les bâtiments naturellement ventilés », thèse de doctorat, L'Institut des Sciences Appliquées de Lyon, N° d'ordre 2007-ISAL-0005.
- [9] ISO-7730, 15 novembre 2005, « Ergonomie des ambiances thermiques, Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local », Third edition.
- [10] AFNOR, 1995, « Ambiances thermiques modérées, détermination des indices PMV et PPD et spécification des conditions de confort thermique », NF EN ISO 7730, Paris.
- [11] GAGGE A.P, FOBELETS A.P, BERGLUNG L.G, 1986, «A standard predictive index of human response to the thermal environment», ASHRAE Transactions, n° PO-86-14, volume 92-2B.
- [12] <http://comfort.cbe.berkeley.edu/>
- [13] ASHRAE, 2004, « Thermal environmental conditions for human occupancy », vol.55-2004, Atlanta, Etats-Unis.
- [14] AFNOR, 2001, « Ergonomie des ambiances thermiques- Evaluation de l'influence des ambiances thermiques à l'aide d'échelles de jugements subjectifs », NF EN ISO 10551, Paris.
- [15] P.O. Fanger, Thermal comfort, Danish Technical Press, Copenhagen, 1970.

## LE PATRIMOINE COLONIAL

### Une alternative pour un meilleur confort thermique

#### Résumé

La mutation qu'a subi la ville de Tunis a engendré un étalement urbain démesuré, créant ainsi une tertiarisation des immeubles coloniaux du centre-ville. Fort est de constater que le tissu colonial, qui ne

répond plus aux besoins d'occupation de la vie actuelle moderne, se voit relégué au second plan engendrant au fil des années la détérioration des structures et une dégradation importante du bâti colonial. De ce fait, nous nous intéressons à ce tissu qui a vu ses bâtiments sacrifiés au détriment des nouvelles constructions. Nous proposons alors de comparer ces deux typologies d'immeubles sur le plan thermique. Pour cela, un brassage de technique de recherche, alliant des mesures in-situ, des enquêtes ainsi que des simulations numériques, nous a permis d'évaluer le confort thermique intérieur selon ses trois aspects (physique, psychologique et physiologique). Les résultats nous ont confirmé la qualité thermique dont dispose le patrimoine colonial.

**Mots-clés:** Confort thermique, Simulation numérique, Trnsys, Patrimoine colonial bâti, Constructions contemporaines

#### Introduction

Tunis a toujours fasciné par ses différents mais riches passages culturels qui ont marqués son espace urbain. Cette ville constitue un témoin très important de l'histoire de l'architecture de notre pays. « L'année 1881, qui fût celle de l'institution du protectorat, a marqué un tournant dans l'histoire de Tunis. La ville, qui jusque-là n'avait connu que des changements lents et d'ampleur modestes, est entrée dans une ère de mutations rapides qui, en deux ou trois décennies, l'ont profondément transformée » [1]. Ce changement a engendré des vagues migratoires qui ont fait de cette ville un « hyper-centre ». En effet, les pressions démographiques ont poussé le centre-ville à s'étendre de plus en plus à la périphérie, engendrant ainsi sa tertiarisation. Ne répondant plus aux besoins d'occupation de la vie actuelle moderne, le tissu colonial se voit relégué au second plan engendrant au fil des années la détérioration des structures et une dégradation importante du bâti colonial. De ce fait, et vu le manque d'entretien par les autorités locales et les propriétaires, la solution pour implanter les nouvelles constructions n'a été autre que de sacrifier le patrimoine colonial en l'abandonnant et en le démolissant pour laisser place à des constructions plus contemporaines. Cependant, ces dernières sont généralement conçues sans prendre en considération l'aspect climatique vu le recours excessif aux murs rideaux dans un pays à forte exposition au soleil. Mis à part le respect de l'environnement et l'application des principes du développement durable, la qualité environnementale d'une construction renvoie, d'une manière subjective, à la qualité de vie. Et comme la qualité de vie à l'intérieur d'un espace est souvent associée à une appréciation thermique, le confort thermique devient ainsi une exigence essentielle à notre bien-être. Le centre-ville de Tunis se retrouvant ainsi tiraillé entre la préservation d'un héritage colonial précieux ou l'émancipation vers la contemporanéité. Il nous a alors semblé intéressant d'évaluer lesquels des immeubles coloniaux ou contemporains présentaient une meilleure qualité thermique.

#### Transfiguration architecturale et urbaine de la ville de Tunis

Nous commençons par situer le contexte de cette recherche en retraçant brièvement l'histoire de la ville de Tunis. En 1835, tandis que l'Europe était expulsée au sommet grâce aux avancées techniques et scientifiques qui ont révolutionné l'industrie, Tunis est entrée dans une phase d'endettement et est devenue marquée par des emprunts inconsidérés. Rajoutant à cela les envies modernistes de son souverain de l'époque (Khayr-ad-Din Pacha (1820-1890)), en plus de son emplacement géographique stratégique, la ville de Tunis, devient alors une cible attrayante favorisant l'installation du protectorat français (1881-1956) [2]. Tunis devient un haut lieu échanges entre les différents pays de la Méditerranée. Jusque-là, la ville était

confinée dans la médina, organisée selon le modèle urbanistique arabo-musulman, flanquée d'un faubourg Nord et d'un faubourg Sud. C'est un ensemble urbain dense et sinueux occupant une surface d'environ 300 ha et protégé par un double enceinte. Puis, avec l'accroissement de la population européenne, et par le nouveau mode de vie et les nouvelles activités commerçantes, la centralité de la ville de Tunis devient alors extra-muros. Juxtaposant la ville ancienne (la Médina), la « ville neuve » s'est développée en suivant le tracé d'un plan quadrillé. Nous assistons à l'apparition d'une nouvelle forme d'habitation très différente de l'habitat traditionnel tunisois introverti ; il s'agit des immeubles qui commencèrent alors à s'élever. Ce type d'habitation est donc pour la plupart des immeubles collectifs de trois à cinq étages, essentiellement à usage d'habitation. Le rez-de-chaussée est généralement, selon la situation, occupé par des commerces. Dans les années 80, Tunis connaît encore un développement urbain spectaculaire ; la capitale passe de l'échelle de la ville à une vraie « métropole » naissante. En effet, cette explosion urbaine démesurée se poursuit jusqu'aux années 90 faisant de Tunis un « hyper-centre » [2]. Des quartiers résidentiels se sont développés à la périphérie. Le centre-ville se voit dépeuplé et le tissu colonial, qui ne répond plus au mode de vie actuel et aux besoins d'occupation, est relégué au second plan causant peu à peu la tertiarisation des immeubles coloniaux. Désormais, délaissé et sans entretien, le patrimoine colonial est dans un état de délabrement et de dégradation, si bien que les autorités locales préfèrent le démolir pour laisser place à de nouvelles constructions contemporaines. Ces agissements nous poussent à nous questionner sur les qualités, notamment thermique et environnementale, de chacun d'eux.

#### Multiplés dimensions du confort thermique

Le confort est un concept global et complexe. Plus spécifiquement quand on parle de confort thermique, plusieurs aspects peuvent entrer en jeu. D'après Depecker et al. [3], un espace confortable thermiquement est produit quand l'organisme humain arrive à maintenir sa température corporelle constante sans intervention de mécanismes thermorégulateurs de lutte contre le chaud ou le froid : c'est la neutralité thermique. Cependant, le confort thermique ne peut pas être appréhendé selon ce seul aspect physique. Il doit être étudié en considérant ses autres aspects physiologiques et psychologiques, afin de pouvoir prendre en compte les interrelations entre les conditions thermiques de l'environnement, les réponses physiologiques, et les phénomènes psychologiques (sensation, comportement) [4]. C'est ainsi que physiologiquement nous devons nous intéresser aux mécanismes d'autorégulation qui entrent en jeu dans un environnement thermique, tels que la transpiration ou encore le frissonnement. Par ailleurs, l'approche psychologique essaie de déterminer les relations entre les grandeurs physiques et physiologiques et leurs résultats sensoriels chez l'individu [5,6]. Ce brassage d'aspects nous permet d'appréhender cette notion complexe qu'est le confort thermique dans sa globalité.

#### Matériels et méthodes

##### Zone d'intervention

La Tunisie se situe au nord du continent africain, bordée au nord et à l'est par la mer Méditerranée, à l'ouest par l'Algérie et au sud/sud-est par la Libye. Sa capitale Tunis, depuis 1159, qui est Située dans le nord-est du pays, est la plus grande Ville de la Tunisie. Désormais, Tunis est la capitale administrative, politique, économique et culturelle du pays.

Climat et détermination de la période d'étude Tunis (36° 47' 51" N, 10° 09' 57" E) se caractérise par un climat méditerranéen dont la spécificité réside dans l'alternance d'une saison chaude, sèche et très ensoleillée avec une saison fraîche et pluvieuse. Ce climat doit ses traits essentiels à la

latitude qui commande le régime thermique des saisons ; à la Méditerranée qui tempère à la fois le froid hivernal et la chaleur estivale, et aux mouvements des masses d'air dans l'hémisphère nord et au relief. En effet, « la position par rapport à la mer intervient pour façonner vigoureusement le climat » [7]. Toutefois, par des températures très élevées en été (qui dépassent souvent les 40°C), les usagers des immeubles contemporains à Tunis se plaignent des surchauffes et d'un inconfort permanent. De ce fait, il nous a semblé plus intéressant de mener notre étude durant la période estivale, plus précisément durant le mois d'Août qui est le mois le plus chaud.

#### Présentation du corpus d'étude

L'inventaire intégral que nous avons effectué sur le tissu colonial du centre-ville de Tunis, qui s'étend sur environ 70 hectares, a décompté plus de 400 immeubles contemporains. Près de la moitié des immeubles contemporains recensés se situent dans le quartier Lafayette (36° 48' 43" N, 10° 10' 52" E). De ce fait, nous délimitons notre zone d'étude à ce quartier. Un dépouillement minutieux de tous les immeubles, coloniaux et contemporains, composant ce quartier a été effectué et nous a permis de relever diverses configurations d'immeubles. Les dispositions les plus usuelles sont ; l'immeuble d'angle (mitoyens des deux autres côtés) et celui n'ayant qu'une seule façade sur rue (mitoyen des 3 côtés). A cet effet, nous avons retenu deux immeubles représentatifs de chacune des configurations ; l'un colonial et l'autre contemporain. Le corpus d'étude se compose alors de quatre spécimens à analyser.

#### Méthodologie

Dans le but d'étudier les qualités thermiques des immeubles coloniaux et contemporains du tissu de Lafayette, nous procéderons à une étude comparée de 4 immeubles (2 de chaque type). La méthodologie de l'évaluation des performances thermiques se base sur un brassage de techniques de recherches qui associe une campagne de mesures in-situ, des enquêtes (questionnaire et observations) ainsi que des simulations thermodynamiques sur le modèle TRNSYS (Transient System Simulation Tool, version 16). Ainsi, nous avons d'abord entrepris une campagne de mesure des paramètres physiques d'ambiance afin de valider la simulation numérique en vérifiant si les données en sorties concordent avec celles mesurées. Une fois la validation faite, nous avons procédé à la simulation des performances thermiques sur le modèle. Ensuite, notre enquête est de type transversal de niveau III [8]. Le niveau III renvoie au niveau le plus complexe puisqu'il renferme une évaluation à la fois objective et subjective des conditions thermiques intérieures tout en incluant les informations relatives à la vêtue et aux activités des sujets nécessaires au calcul des différents indices de confort. L'évaluation objective est basée sur la prise de mesure de tous les paramètres physiques d'ambiance ( $T_a$ ,  $T_{mrt}$ , HR et  $V_a$ ), et ce, conformément aux normes ISO 7730 et ISO 7726 [9], [10]. L'évaluation subjective, quant à elle, se base sur le fait un questionnaire administré aux concernant leur sensation et perception thermique. Cette enquête va être également complétée par des observations du comportement des usagers quant à l'utilisation des moyens de contrôle de l'ambiance thermique. L'aspect transversal de cette enquête est relatif au mode d'échantillonnage pour la distribution des questionnaires à une large population permettant à chaque individu de contribuer à l'enquête seulement par un seul ou un nombre limité de vote afin de garantir une certaine précision dans les réponses. Analyse du confort thermique des espaces intérieurs Pour l'évaluation de l'aspect physique du confort

thermique, nous nous basons sur le calcul des indices de confort. Le premier indice choisi est le PMV (Predicted Mean Vote) [10] Il est obtenu par le biais de la simulation numérique sur TNSYS. Le second indice choisi est le SET (Standard Effective Temperature) [11], son calcul se fera par le biais d'un outil de calcul proposé par l'ASHRAE (CBE Thermal Comfort Tool [12]). La lecture des résultats relatifs à l'indice PMV se fera selon l'échelle de détection thermique proposée par l'ASHRAE [13] qui varie entre -3 et +3 (exemple « -3 » signifie « cold » et « +3 » signifie « hot »). Pour la lecture des résultats relatifs à l'indice SET nous nous basons sur l'échelle de la sensation et de l'état physiologique proposée par Parsons [4]. Nous évaluons ensuite l'aspect psychologique à travers les sensations thermiques qu'éprouve un individu suite à la relation entre les grandeurs physiques et physiologiques. L'aspect physiologique, quant à lui, est évalué sur la base des ajustements comportementaux auxquels les usagers ont eu recours pour pallier aux problèmes d'inconfort. A cet effet, nous basons l'évaluation de l'aspect physio-psychologique sur un questionnaire distribué, durant le mois d'Août, à 80 personnes ; 20 usagers dans chaque immeuble étudié. L'élaboration du questionnaire se fera à l'aide d'échelles de jugements subjectifs (vote de perception, vote d'évaluation et vote de préférence) [14].

#### Résultats de l'évaluation du confort thermique

Nous présentons, ici, les moyennes des résultats des immeubles étudiés, en comparant ceux coloniaux à ceux contemporains afin de mettre en évidence leurs différences.

##### Aspect physique du confort thermique intérieur

Nous nous basons sur les deux indices analytiques PMV et SET pour l'évaluation de l'aspect physique du confort thermique. Pour ce qui est de l'évaluation du confort thermique des espaces intérieurs à travers l'indice PMV, les moyennes des variations journalières du PMV, relatives aux deux types d'immeubles étudiés, nous permet de constater une nette différence entre les immeubles coloniaux et leurs semblables contemporains favorisant ceux coloniaux. En effet, nous remarquons, ici, que les immeubles coloniaux sont « légèrement chaud » pendant presque toute la journée, puis ils atteignent le palier « chaud » (avec une valeur maximum du PMV égale à 2.16) pour y rester que 4 heures. En revanche, les immeubles contemporains franchissent rapidement le palier « chaud » et y restent pendant 7 heures. Nous remarquons également que ces derniers affichent un pic à 18h en atteignant ainsi leur maximum avec une valeur du PMV égale à 2.73 les rapprochant dangereusement du Palier « très chaud ». En se référant aux moyennes des variations journalières relatives à l'indice SET, les résultats nous montrent que les immeubles contemporains passent 11 heures en zone « légèrement chaud » alors que les coloniaux n'y passent que 7 heures et 30 minutes. Même si les coloniaux sont les premiers à franchir le palier « chaud/inacceptable », ceux-ci y restent, et ce, jusqu'en fin de journée, contrairement aux contemporains qui affichent un pic, en atteignant leur maximum ( $SET = 34,84^\circ C$ ), qui les mènent à la zone « chaud/très inacceptable ». Par ailleurs, si nous calculons l'écart des valeurs journalières du SET atteintes, nous constatons que les immeubles contemporains présentent un écart journalier considérable de l'ordre de  $6^\circ C$  contre uniquement  $3,5^\circ C$  pour les coloniaux.

##### Aspect psychologique du confort thermique intérieur

Jugements subjectifs : Température En se référant aux réponses des usagers relatives à la température, nous constatons que le colonial présente 73.03% de sensation « neutre » et « légèrement chaud » contre uniquement 28.28% pour le contemporain. De

plus, une minorité de 4.55% des usagers du colonial le jugent « très chaud » contre 33.94% dans le contemporain. En outre, la perception du colonial paraît plus avantageuse avec 13.34% « bonne » et 56.69% « acceptable » contre uniquement 32% pour le contemporain. Il en résulte alors que 67.87% des occupants du contemporain le trouve « inacceptable » contre 26.97% seulement pour le colonial. De ce fait, les usagers sont 77.74% à préférer des températures un peu plus froides ou inchangées pour le colonial contre seulement 47.74% pour le contemporain.

Jugements évaluatifs : Ambiance thermique Seulement 21.49% des occupants trouvent l'ambiance thermique globale des immeubles contemporains « neutre » et/ou « confortable », contre 69.70% dans les immeubles coloniaux. Nous remarquons aussi que 72.62% des usagers jugent les immeubles contemporains thermiquement inconfortables. C'est pour quoi en termes de satisfaction, 66.36% des usagers des immeubles coloniaux sont satisfaits de l'ambiance thermique globale, alors que, à hauteur de 78.51%, les immeubles contemporains affichent un pourcentage important d'insatisfaits.

Aspect physiologique du confort thermique intérieur Il s'agit dans ce volet de comparer les ajustements comportementaux auxquels les usagers des deux types d'immeubles ont eu recours. En moyenne, 48.73% des occupants des immeubles coloniaux usent des ajustements comportementaux contre 58.65% dans les immeubles contemporains. Les moyennes semblent assez proches mais la réalité est tout autre. En effet, les résultats des graphiques ci-dessus montrent que les immeubles coloniaux se contentent de la ventilation naturelle pour améliorer l'ambiance thermique intérieure et usent peu des ajustements relatifs au conditionnement d'air. Cela conforte l'avis des 69.70% des occupants qui ont jugé les immeubles coloniaux comme étant « neutre » et/ou « confortable ». Par contre, nous remarquons que n'étant pas confortables thermiquement (et ce, en se basant sur les analyses précédentes relatives aux aspects physique et psychologique), les immeubles contemporains usent, à la fois des ajustements relatifs à la ventilation naturelle (principalement en ouvrant et fermant les portes et les fenêtres), mais aussi des ajustements relatifs au conditionnement d'air par le recours à la climatisation. Nous mettons alors l'accent sur l'utilisation excessive des climatiseurs dans les immeubles contemporains puisque celle-ci est multipliée par trois par rapport aux immeubles coloniaux (seulement 20.30% dans les immeubles coloniaux contre 66.97% dans les immeubles contemporains).

#### Discussion et conclusion

Au terme de cette recherche, et à travers les différentes analyses des trois aspects du confort thermique, il apparaît clairement que les immeubles coloniaux sont classés meilleurs d'un point de vue thermique que ceux contemporains. En effet, que cela soit à travers les indices de confort PMV et SET, que les enquêtes déduites du questionnaire et de l'observation, nous remarquons que les immeubles coloniaux sont évalués et perçus plus confortables thermiquement que les immeubles contemporains. Ainsi, il apparaît qu'il est impératif de susciter d'une part des actions d'entretien et de sauvegarde de notre héritage colonial et d'autre part en tirer des leçons pour corriger les constructions contemporaines. Nous pourrions ainsi emprunter les principales caractéristiques des bâtiments coloniaux et de les adapter aux nouvelles constructions, qui seraient plus conformes aux demandes de la vie actuelle mais qui offriraient de meilleures conditions thermiques et par conséquent plus de respect environnemental