

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

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



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم: الهندسة المعمارية  
المرجع: .....

Thèse présentée en vue de l'obtention  
du diplôme de :  
**Doctorat en sciences**

**Paramètres physiques Des ambiances lumineuses :  
Un modèle numérique pour l'évaluation des ambiances lumineuses.**

Présenté par :  
**Saadi Mohamed Yacine**

Soutenu publiquement le : .....

**Devant le jury composé de :**

<b>Pr. Benabbas Moussadek</b>	<b>Professeur</b>	<b>Président</b>	<b>Univ. De Biskra.</b>
<b>Pr. Eugenio Morello</b>	<b>Professeur</b>	<b>Examineur</b>	<b>Politecnico di Milano.</b>
<b>Pr. Rouag Djamilia</b>	<b>Professeur</b>	<b>Examinatrice</b>	<b>Univ. De Constantine.</b>
<b>Dr. Barbara E. A. Piga</b>	<b>P.H.D</b>	<b>Membre invité</b>	<b>Politecnico di Milano.</b>
<b>Dr. Hamouda Abida</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Examinatrice</b>	<b>Univ. De Batna.</b>
<b>Dr. Bouzaher Soumia</b>	<b>M.C.A</b>	<b>Examinatrice</b>	<b>Univ. De Biskra.</b>
<b>Pr. Zemmouri Noureddine</b>	<b>Professeur</b>	<b>Rapporteur</b>	<b>Univ. De Biskra.</b>

## Remerciements

Avant tout, j'adresse mes remerciements aux membres du jury qui ont pris le temps d'examiner avec soin ce document, donnant lieu à une soutenance riche en discussions. Je tiens à remercier en particulier le Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique algérien pour le financement de la de Bourse d'étude « PNE », auprès de l'Ecole Polytechnique de Milan au laboratoire « Laboratorio di Simulazione Urbana 'Fausto Curti' », et je remercie son directeur Eugenio Morello, et toute l'équipe du laboratoire pour leur accueil et soutien, tout au long de ma présence au laboratoire, Barbara E. A. Piga, Marco Boffi, Mattia, Cecilia Chiarini, Giuseppe Salvia, Irene Vegetti et Gabriela Fernandez.

Je remercie chaleureusement Zemmouri Nouredine, mon directeur de thèse, pour son aide précieuse à l'élaboration de cette recherche. Malgré la distance géographique séparant L'Algérie et l'Italie après mon départ, empêchant des rencontres plus fréquentes, nos discussions ont toujours été riches et fructueuses et m'ont souvent permis d'arrêter les choix stratégiques. Si je dois retenir deux qualités parmi tant d'autres, ce serait à la fois ta rigueur scientifique et ton humanité. Ce travail ne serait pas arrivé à terme sans l'apport et la collaboration des étudiants du département d'architecture de Biskra et des membres du laboratoire LACOMOFA, lors des différentes phases d'enquête par questionnaire menée dans notre travail du développement du modèle d'évaluation des ambiances lumineuses. J'accorde également une mention spéciale à : Toufik, Youcef, Adoui, Mustapha, Laatoui, Khalissa, Fouzia, nous nous sommes vus passer par beaucoup d'états et bien des fois étaient les seuls à nous comprendre. Merci à tous ceux qui ont croisé ma route au labo, votre compagnie m'a permis de me sentir comme un poisson dans l'eau pendant ces années. En guise de point final, je tiens à saluer et rendre grâce à ma petite et grande famille sans qui je n'en serais peut-être pas là aujourd'hui. Maman Mimia, Papa Smail, ma femme Safa et deux petites filles Sarah et Lina ainsi que tous mes frères, Liesse, Charif, Hamza et Chaouki et sœurs, Mariam, Hanane et Hacina. J'espère être à la hauteur des attentes de mes chers parents, ce travail je vous le dédie. Je veux aussi remercier les gens qui ont essayé par tous les moyens de saboter mon travail et de ce mettre sur mon chemin, car c'est leur sabotage qui m'a donné la force et le petit plus pour relever le défi de finaliser mon travail. Et comme mot de la fin, je veux remercier encore une seconde fois le laboratoire italien, je veux leur dire « *Merci pour votre soutien, pour votre authenticité, pour votre joie de vivre, pour votre humour et pour les liens forts qu'on continue de cultiver* ». *Yacine*

## **Dédicace**

**To Saadi Eliesse**

**1967-2017**

***I could not have asked for a better brother***

## Résumé

De nos jours les standards internationaux d'architecture et de qualité d'espace créés par les concepteurs, accordent une attention de plus en plus importante à l'utilisateur, particulièrement aux sensations approuvées par les usagers, lors de l'exercice des différentes activités affectées à l'espace : bureaux, salles de dessin, bibliothèques, cela sous différents environnements physiques été/hiver, matin/après-midi, etc. Cette grande préoccupation de l'impact de l'environnement bâti sur les occupants à la fois architectural et psychologique, ce traduit par des études approfondies dans le domaine de la psychologie de l'environnement qui visent à comprendre les relations à la fois très importantes et complexes du duo : homme / environnement physique. Notre travail de recherche s'inscrit dans cette même logique, qui vise à étudier et à quantifier l'impact de l'environnement lumineux physique, sur les usagers de l'espace. Notre étude a eu lieu dans les locaux de l'Université de Biskra, qui se situe dans le Sud-Est de l'Algérie, la ville est caractérisée par un ciel mi couvert. L'étude s'est déroulée dans une salle de conception assistée par ordinateur (C.A.O) du département d'architecture de l'Université, cette dernière a une forme de quart de cercle avec un rayon égal à 10 m, la salle est aménagée avec cinq tables hexagonales, qui accueillent six postes de travail chacune, et offrent six diverses orientations, avec un total de trente postes de travail pour l'ensemble de la salle. Afin de varier l'environnement physique « lumineux » de la salle, quatre configurations lumineuses ont été proposées : la première configuration lumineuse utilise exclusivement un éclairage artificiel, la seconde utilise un éclairage mixte (naturel / artificiel) mais en appliquant un complément de vitrage sur les fenêtres, dans la troisième configuration on a un éclairage mixte « la configuration actuellement utilisée de la salle », dans la dernière configuration on a utilisé exclusivement un éclairage naturel.

Afin de quantifier et de comprendre pleinement les interactions des sujets avec leur environnement, trois étapes ont été nécessaires. La première consiste à réaliser une série de mesures in-situ dans la totalité des 120 postes des quatre configurations lumineuses de la salle (C.A.O). Ces mesures visent en premier lieu à évaluer exclusivement l'environnement physique, à travers des mesures photométriques des niveaux d'éclairement et de la luminance sur différents points critiques du champ visuel et dans la salle, on a mesuré par exemple l'éclairement sur : les claviers, le plan de travail, les tableaux, sur les yeux, etc., et pour les luminances, on a mesuré: la luminance du fond de la salle, écrans, murs, etc. Parallèlement à la première étape, on a mené une étude d'évaluation qualitative de la salle, qui avait comme objectif d'évaluer la qualité lumineuse et spatiale de la salle avec ces quatre configurations lumineuses et cela à l'aide d'une enquête par questionnaire soumise à 120 étudiants. Pour les



besoin de l'étude on a demandé aux étudiants d'exercer différentes tâches visuelles, généralement liées à la salle (C.A.O) tel que : le dessin à l'aide du PC, lecture de schéma sur la table, etc. et pour chacune des activités réalisées par l'étudiant, il avait à remplir une partie du questionnaire qui a été spécialement alloué à l'activité en question. La dernière étape de notre travail a consisté à faire le lien entre les évaluations qualitatives, celles recueillies auprès des usagers à l'aide des questionnaires et les grandeurs photométriques mesurées dans la salle, pour cela nous avons eu recours à un outil de statistique « SPSS 24 », la procédure d'analyse statistique adoptée se divise en deux étapes ; la première consiste à dégager les variables qualitatives et quantitatives significatives « pertinentes pour l'étude », pour ensuite former des paires de variables significatives. A la fin, nous avons représenté les résultats obtenus sous forme de modèle graphique 3D, qui schématise le champ visuel humain avec les valeurs de luminances et d'éclairement recommandés pour chaque zone du champ, notre modèle comprend sept modèles graphiques, chacun correspond à une activité demandée à l'utilisateur durant notre étude.

**Mots-clefs :**

Lumière	Enquête par questionnaire
Usagers de l'espace	Ambiance lumineuse
Salle de conception assistée par ordinateur (CAO)	Indices d'éblouissement lumineux
Les images High Dynamic Range (HDR)	Analyses des correspondances multiples
Analyses statistiques	Anova test

## **Abstract**

Today the international standards of architecture and quality of space created by the designers, pay a more and more important attention to the user, particularly to the sensations approved by the users, during the exercise of the various activities affected to space: offices, drawing rooms, libraries, this under different physical environments summer / winter, morning / afternoon, etc. Our research work is part of this same logic, which aims to study and quantify the impact of the physical luminous environment on the users of space. Our study took place in the premises of the University of Biskra, which is located in the south-east of Algeria, the city is characterized by a mid-covered sky. The study took place in a computer-aided design room (C.A.D) of the university's department of architecture, the latter has a quarter-circle shape with a radius of 10 m, the room is equipped with five hexagonal tables, accommodating six workstations each, and offering six different orientations, with a total of thirty workstations for the entire room. In order to vary the "luminous" physical environment of the room, four lighting configurations have been proposed: the first luminous configuration uses only artificial lighting, the second uses mixed lighting (natural / artificial) but by applying additional glazing on the windows, in the third configuration we had a mixed lighting "the currently used configuration of the room", we notice here that in the last configuration and exclusively natural lighting was used.

In order to quantify and fully understand the subjects' interactions with their environment, three steps were necessary. The first consists in carrying out a series of in-situ measurements in all 120 stations of the four luminous configurations of the room (C.A.D). These measurements are primarily intended to evaluate the physical environment, through photometric measurements of the levels of illumination and luminance on different critical points of the visual field and in the room, for example, the illumination was measured on: the keyboards, the work plan, the paintings, on the eyes, etc., and for the luminance, we measured: the luminance of the bottom of the room, screens, walls, etc. In parallel with the first step, a qualitative evaluation study of the room was conducted, which aimed to evaluate the luminous and spatial quality of the room with these four lighting configurations and this with the help of a survey by questionnaire submitted to 120 students. For the purposes of the study students were asked to perform different visual tasks, usually related to the room (C.A.D) such as: drawing using the PC, reading schema on the table, etc. and for each of the activities carried out by the student, he had to complete a part of the questionnaire that was specifically allocated to the activity in question. The last step of our work consisted in making the link between the qualitative evaluations, those collected from the users using the questionnaires and the photometric quantities measured in

the room, for this we used a statistical tool "SPSS 24 ", the adopted statistical analysis procedure is divided into two stages; the first is to identify significant qualitative and quantitative variables "relevant to the study" and then form pairs of significant variables. At the end, we have represented the results obtained as a 3D graphic model, which schematizes the human visual field with the recommended luminance and illumination values for each zone of the field, our model includes seven graphic models, each one corresponding to a requested during the study.

**Keywords :**

Light

Users

Computer Design Room

High Dynamic Range (HDR) images

Statistical analysis

Survey

Lighting ambience

Glare Indices

Multiple correspondence analysis

Anova test

## ملخص

إن في العصر الحديث المعايير الدولية للمهندسة المعمارية وجودة المبالاة التي أنشأها المصممون، تولي عناية أكبر وأكثر أهمية للمستخدم، ولا سيما للأحاسيس التي يوافق عليها المستخدمون، أثناء ممارسة الأنشطة المختلفة المتأثرة الفضاء: المكاتب، المكتبات، في بيئات مادية مختلفة في الصيف / الشتاء ، الصباح / بعد الظهر ، إلخ هذا الاهتمام الكبير بتأثير البيئة المبنية على المقيمين سواء من الناحية المعمارية أو النفسية، ترجع إلى دراسات معمقة في مجال علم النفس البيئي تهدف إلى فهم العلاقات الصامة جدًا مجتمعات الثنائي: مستخدم / بيئة مادية. عملنا البحثي هو جزء من هذا المنطق نفسه، والذي يهدف إلى دراسة وتحديد مدى تأثير البيئة المادية المضيئة على مستخدمى الفضاء. أجريت دراستنا في مقر جامعة بسكرة، التي تقع في الجنوب الشرقي من الجزائر، وتتميز المدينة بسماء نضوء مغطاة. أجريت الدراسة في قاعة تصميم بمساعدة الكمبيوتر (C.A.D) من قسم المهندسة المعمارية في الجامعة، ولديها شكل ربع دائرة مع دائرة نصف قطرها 10 أمتار وقد تم تمييز الغرفة بخمس طاولات سداسية، تتسع لستة محطات عمل، وتقدم ستة اتجاهات مختلفة، مع ما مجموعه ثلاثين محطة عمل للغرفة بأكملها. من أجل تغيير البيئة المادية "المضيئة" للغرفة، تم اقتراح أربعة تشكيلات للإضاءة: أول تكوين مضىء يستخدم فقط الإضاءة الاصطناعية، والثاني يستخدم الإضاءة المختلطة (الطبيعية / الاصطناعية) ولكن من خلال تطبيق زجاج إضافي على النوافذ، في التكوين الثالث أصبحت لدينا إضاءة مختلطة "التكوين المستخدم حاليا في الغرفة"، في التكوين الأخير وبشكل حصري تم استخدام الإضاءة الطبيعية. من أجل تحديد وفهم تفاعلات الموضوع مع بيئته بشكل كامل، ثلاث خطوات كانت ضرورية. حيث تتوقف الأولى على تنفيذ سلسلة من القياسات في الموقع في جميع المحطات الـ 120 من التكوينات الأربعة المضيئة للغرفة

تهدف هذه القياسات في المقام الأول إلى تقييم البيئة المادية ، من خلال القياسات الضوئية لمستويات الإضاءة والإنارة على النقاط الحرجة المختلفة في المجال البصري وفي القاعة تصميم بمساعدة الكمبيوتر ، على سبيل المثال ، تم قياس الإضاءة على: لوحات المفاتيح ، مساحة العمل ، اللوحات ، العيون ، إلخ ، وللمؤشرات ، قمنا بقياس: الإضاءة الخلفية للقاعة ، الشاشات ، الجدران ، إلخ. بالتوازي مع الخطوة الأولى، أجريت دراسة تقييمية نوعية للغرفة، والتي تهدف إلى تقييم جودة الإضاءة والمكانية للغرفة مع هذه التشكيلات الأربعة للإضاءة وهذا بمساعدة استجابات بواسطة استبيان قدمته إلى 120 طالبا. لأغراض الدراسة، طلب من الطلاب القيام بمهام بصرية مختلفة، تتعلق عادة بالقاعة مثل: الرسم باستخدام الكمبيوتر الشخصي، وقراءة المخطط على الطاولة، وما إلى ذلك. ولكل نشاط من الأنشطة التي قام بها الطالب، كان عليه إكمال جزء من الاستبيان الذي خص خصيصًا للنشاط المعني. تتمثل المرحلة النهائية من عملنا في ربط التقييمات النوعية، تلك التي تم جمعها من المستخدمين باستخدام الاستبيانات والكميات الضوئية المقاسة في الغرفة، والتي استخدمنا أداة إحصائية، تنقسم إجراءات التحليل الإحصائي المعتمدة إلى مرحلتين. الأول هو تحديد المتغيرات النوعية والكمية المصممة "ذات الصلة بالدراسة" ثم تشكيل أزواج من المتغيرات الهامة. في النهاية، قمنا بتمثيل النتائج التي تم الحصول عليها كنموذج

رسومي ثلاثي الأبعاد، والتي تقوم بتخطيط الحقل البصري البشري مع قيم النصوص والإضاءة الموسمي بها لكل منطقة من الحقول، يتضمن

نموذجنا سبعة نماذج رسومية، كل نموذج يتقابل مع نشاط طلبة للمستخدم خلال دراستنا

## الكلمات، محتاج

الدراسة الاستقصائية  
الأجواء المضيئة  
التحليل الإحصائي  
تحليل المراسلات متعددة

ضوء  
المستخدمون  
قناع تصميوم بالكمبيوتر  
صور المدى الديناميكي العالي (HDR)

# Table des matières

Remerciements .....	I
Dédicaces .....	II
Résumés .....	III
Table des matières .....	IX
Liste des figures .....	XVI
Liste des tableaux .....	XXIII
Nomenclature.....	XXIV
Introduction générale.....	1
Problématique	
Les hypothèses	
Les objectifs	
La méthodologie	
Structure de la thèse.....	4

## I. Partie théorique.....6

### Chapitre 01 : Lumière et performances visuelles

Introduction.....	8
1.1. Qualité d'éclairage.....	9
1.1.1. Contexte historiques.....	9
1.2. La définition qualité de de lumière.....	9
1.2.2. Les phénomènes de physique de lumière.....	11
1.2.3. Les grandeurs photométriques de la lumières.....	12
1.2.4. Les caractéristiques colorimétrique de la lumières.....	13
1.2.5. Usagers et l'évaluation de la lumières.....	15
1.3. La performance visuelle.....	15
1.3.1. Modèles relatifs de performances visuelles.....	16
1.3.2. Impacts de Facteurs âge sur la performance visuelle.....	17
1.3.3. Impacts de l'éblouissement sur les performances visuelles.....	17
1.4. Le confort visuel.....	18
1.4.1. Le niveau d'éclairement optimum.....	18
1.4.2. Proportions de la tâche visuelle.....	19
1.5. L'adaptation visuelle a environnement lumineux.....	20
1.6. Le système visuel humain.....	20
1.7. Le processus visuel.....	20
1.7.1. L'aspects biophysique de l'œil.....	21
1.7.2. Aspects interprétation internes.....	22
1.7.3. Aspects psycho-physiologiques.....	22
1.7.4. Les aspects visuels externes.....	23
1.7.4. A. Uniformité de la lumière.....	23
1.7.3. B. Le contraste des luminances.....	23
1.8. Les aspects non visuels de la lumière.....	24
1.9. Les évaluations subjectives de l'éclairage.....	25
1.10. L'ergonomie visuelle.....	26
1.10.1. Différentes approches d'ergonomie.....	27
1.11. La psychologie de l'environnement lumineux.....	28
Conclusion.....	31
Référence.....	32

## Chapitre 02 : Psychologie de l'environnement

Introduction.....	35
2.1. Effets psychologiques de l'éclairage naturel.....	36
2.2. Procédure des réponses au stimulus physique lumineux.....	37
2.2.1. Les trois model de Flynn, Kaplan et Kaplan et Russell.....	37
2.2.2. Le modèle du schéma à cinq carrés de Leplat et Cuny.....	39
2.2.2. a. La tâche prescrite.....	40
2.2.2. b. La tâche attendue.....	40
2.2.2. c. La tâche effective.....	41
2.2.2. d. La tâche réalisée.....	41
2.3. Approche Hackman and Oldham, caractéristiques des taches.....	41
2.3.1. Les critères de caractéristiques des tâches à accomplir.....	41
2.3.1. a. Réactions affectives.....	41
2.3.1. b. Motivation interne au travail.....	41
2.3.1. c. Satisfaction générale.....	41
2.3.1. d. Satisfaction spécifique.....	42
2.3.1. e. Etats psychologiques critiques.....	42
2.3.1. f. Travail personnel.....	42
2.3.1. g. Le score Potentiel de motivation.....	42
2.3.1. h. Croissance-besoin de force.....	42
2.3.1. i. Le Savoir-faire.....	42
2.3.1. J. L'identification de de tâche.....	42
2.3.1. k. Groupe de signification.....	42
2.3.2. L'application du model des caractéristiques des tache ' Enrichir le travail'.....	44
2.4. L'impact de la connaissance 'le bagage' sur les résultats et les compétences au travail.....	44
2.4.1. Les facteurs de motivation.....	44
2.4.2. La satisfaction du Contexte.....	44
2.5. Méthode d'évaluations de l'enivrement de travail.....	45
2.5.1. Evaluation de la satisfaction générale et la satisfaction spécifique au travail.....	46
2.6. Définition des dimensions d'éclairage et implication dans l'exercice des taches.....	47
2.6.1. Dimensions visuel et éclairage selon Flynn.....	47
2.6.2. Le contexte de l'étude.....	47
2.7. Etudes de Flynn des interactions homme / environnement.....	48
2.7.1. Premiers cas d'étude de Flynn la salle de conférence ' salle de réunion'.....	48
2.7.2. Deuxième cas d'étude, plusieurs espaces multi espace.....	55
2.7.3. Troisième cas d'étude étude Auditorium.....	56
2.7.4. Quatrième cas d'étude : étude d'un laboratoire.....	57
2.8. Etudes de Groupe de recherche de l'école d'architecture Bartlett London.....	58
2.9. L'études de Veitch Newsham.....	59
Conclusion.....	62
Référence.....	64

## Chapitre 03 : Modèles conceptuels

Introduction.....	67
3.1. Modèles conceptuels.....	77
3.1.1. Comportement humain et éclairage naturel dans le bâtiment.....	77
3.1.2. Model de Boyce.....	78
3.1.3. Model de Russell.....	70
3.1.4. Model de Bay.....	71

3.2. Développement du Schéma conceptuel model proposé.....	72
3.2.1. Présentation du modèle de conceptuel.....	73
3.4. Méthodologie.....	75
3.4.1. Les mesures photométriques.....	76
3.4.1. a. Méthodes basées sur l'éclairément.....	76
3.4.1. b. Méthodes basées sur la luminance et contraste.....	77
3.4.1.c. Méthodes basées sur Indices d'éblouissement.....	78
3.4.1. c.1. Le Visual Comfort Probability (VCP).....	78
3.4.1. c.2. L'Unified Glare Rating (UGR).....	79
3.4.1. c.3. Le CIE Glare Index(CGI).....	79
3.4.1. c.4. Le Daylight Glare Index (DGI).....	79
3.4.1. c.5. Le Daylight Glare Index (DGP).....	80
3.4.2. Les images numériques comme outil d'acquisition des luminances.....	80
3.4.2. a. Image à grande plage dynamique (HDR).....	80
3.4.3.L'enquête par questionnaire.....	83
3.4.3. a. Le questionnaire comme outil l'évaluation des ambiances lumineuses.....	83
3.4.3. b. La formulation du questionnaire.....	83
3.4.3. c. La population d'enquête et échelle notation.....	84
3.4.3. d. Organisation du questionnaire.....	87
3.4.3. e. La version test du formulaire de question.....	88
3.4.3. f. La version finale du formulaire de question.....	89
3.4.3. f.1. La partie A.....	91
3.4.3. f.2. La partie B.....	91
3.4.3. f.3. La partie C.....	91
3.4.3. f.4. La partie D.....	91
3.4.3. g. Le mode d'administration du questionnaire.....	92
3.4.3. h. Le codage et l'analyse des résultats.....	92
Conclusion.....	93
Référence.....	94

## **II. Partie pratique** .....99

### **Chapitre 04 : Protocole Expérimental**

Introduction.....	101
4.1. Présentation de l'environnement physique du cas d'étude.....	102
4.1.1. Les caractéristiques climatiques de la ville de BISKRA.....	102
4.1.2. Le potentiel solaire de la ville de Biskra.....	102
4.1.3. Le type de ciel dominant à BISKRA.....	102
4.2. Présentation du cas d'étude.....	105
4.2.1. Descriptions de l'espace salle de CAO.....	105
4.2.2. Configurations lumineuses et spatiale testée de la salle CAO.....	106
4.3. Outils et méthodes.....	107
4.3.1. Mesure des d'éclairéments.....	107
4.3.2. Mesures de luminances.....	108
4.4. Développement du modèle d'évaluation des performances visuelles.....	111
4.5. Procédure expérimental.....	113
4.5.1 Configurations lumineuses de la salle.....	113
4.5.2 Organisation des usagers.....	116
4.5.3 Partie Mesures.....	116
4.5.3. a. Mesures quantitatives.....	116
4.5.3. b. Mesures qualitatives.....	116



4.5.4. Corrélations des mesures.....	119
Conclusion.....	120
Référence.....	121

## **Chapitre 05 : Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle**

Introduction.....	123
5.1. Présentions des résultats.....	124
5.2. Les paramètres physiques et configuration de l'espace.....	125
5.2.1. Niveaux d'éclairément .....	125
5.2.2. Contraste et valeurs de luminances.....	126
5.2.3. Configuration de l'espace et affectation des postes.....	127
5.3. Présentions des résultats de la configuration 01.....	128
5.3.1. Analyse des résultats d'éclairément de la configuration 01 .....	131
5.3.1.1. Eclairément reçue sur papier : activité lecture texte ou schéma.....	131
5.3.1.2. Eclairéments reçue sur le clavier : activité saisie texte.....	131
5.3.2.3. Eclairéments vertical reçue au niveau des yeux des utilisateurs.....	131
5.4. Analyse des résultats des luminances et du contraste de la configuration 01.....	133
5.4.1. La luminance maximale sur le champ visuel.....	133
5.4.2. La luminance moyenne ergorama et panorama.....	133
5.4.3. La luminance moyenne du fond.....	133
5.4.4. Les niveaux de contraste .....	133
5.5. Présentions des résultats de la configuration 02.....	135
5.5.1. Analyse des résultats d'éclairément de la configuration 02.....	138
5.5.1.1. Eclairément reçue sur papier: activité lecture texte ou schéma.....	138
5.5.1.2. Eclairéments reçue sur le clavier: activité saisie texte.....	138
5.5.2.3. Eclairéments vertical reçue au niveau des yeux des utilisateurs.....	138
5.6. Analyse des résultats des luminances et du contraste configuration 02.....	140
5.6.1. La luminance maximale sur le champ visuel.....	140
5.6.2. La luminance moyenne ergorama et panorama.....	140
5.6.3. La luminance moyenne du fond .....	141
5.6.4. Les niveaux de contraste.....	141
5.7. Présentions des Résultats de la configuration 03.....	142
5.7.1. Analyse des résultats d'éclairément de la configuration 03.....	145
5.7.1.1. Eclairément reçue sur papier: activité lecture texte ou schéma.....	145
5.7.1.2. Eclairéments reçue sur le clavier : activité saisie texte.....	145
5.7.2.3. Eclairéments vertical reçue au niveau des yeux des utilisateurs.....	145
5.8. Analyse des résultats des luminances et du contraste configuration 03.....	147
5.8.1. La luminance maximale sur le champ visuel .....	147
5.8.2. La luminance moyenne ergorama et panorama .....	147
5.8.3. La luminance moyenne du fond .....	148
5.8.4. Les niveaux de contraste.....	148
5.9. Présentions des Résultats de la configuration 04.....	149
5.9.1. Analyse des résultats d'éclairément de la configuration 04.....	152
5.9.1.1. Eclairément reçue sur papier : activité lecture texte ou schéma .....	152
5.9.1.2. Eclairéments reçue sur le clavier : activité saisie texte .....	152
5.9.2.3. Eclairéments vertical reçue au niveau des yeux des utilisateurs.....	152
5.10. Analyse des résultats des luminances et du contraste configuration 04.....	155
5.10.1. La luminance maximale sur le champ visuel .....	155
5.10.2. La luminance moyenne ergorama et panorama.....	155
5.10.3. La luminance moyenne du fond .....	156
5.10.4. Les niveaux de contraste.....	157
Conclusion.....	157
Référence.....	159

## Chapitre 06 : Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

Introduction.....	161
6.1. Présentions des résultats.....	162
6.2. Les paramètres a étudié dans chaque configuration et chaque table.....	163
6.2.1. Indicateurs du confort visuel.....	163
6.3. Présentions des résultats de la configuration 01.....	163
6.3.1. Analyse des résultats de la configuration01.....	164
6.3.1.1. Configuration 1 : Table A postes : A01-A02-A03-A04-A05-A06.....	164
6.3.1.2. Analyse des résultats de Table A postes: A01-A02-A03-A04-A05-A06.....	164
6.3.1.3. Configuration 1 : Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05-B06.....	165
6.3.1.4. Analyse des résultats de Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05-B06.....	166
6.3.1.5. Configuration 1 : Table C postes : C01-C02-C03-C04-C05-C06.....	167
6.3.1.6. Analyse des résultats de Table C postes : C01-C02-C03-C04-C05-C06.....	168
6.3.1.7. Configuration 1 : Table D poste : D01-D02-D03-D04-D05-D06.....	168
6.3.1.8. Analyse des résultats de Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05-D06.....	169
6.3.1.9. Configuration 1 : Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06.....	170
6.3.1.10. Analyse des résultats de Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06.....	170
6.4. Présentions des résultats de la configuration 02.....	171
6.4.1. Analyse des résultats de la configuration 02.....	171
6.4.1.1. Configuration 2: Table A poste: A01-A02-A03-A04-A05-A06.....	171
6.4.1.2. Analyse des résultats de Table A postes : A01-A02-A03-A04-A05-A06.....	172
6.4.1.3. Configuration 2 : Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05-B06.....	173
6.4.1.4. Analyse des résultats de Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05-B06.....	173
6.4.1.5. Configuration 2 : Tables C postes : C01-C02-C03-C04-C05-C06.....	174
6.4.1.6. Analyse des résultats de Table C postes : C01-C02-C03-C04-C05-C06.....	175
6.4.1.7. Configuration 2 : Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05-D06.....	176
6.4.1.8. Analyse des résultats de Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05-D06.....	176
6.4.1.9. Configuration 2 : Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06.....	177
6.4.1.10. Analyse des résultats de Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06.....	178
6.5. Présentions des résultats de la configuration 03.....	178
6.5.1. Analyse des résultats de la configuration 03.....	179
6.5.1.1. Configuration 03: Table A postes: A01-A02-A03-A04-A05-A06.....	179
6.5.1.2. Analyse des résultats de Table A postes : A01-A02-A03-A04-A05-A06.....	179
6.5.1.3. Configuration 03 : Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05.....	180
6.5.1.4. Analyse des résultats de Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05.....	181
6.5.1.5. Configuration 03 : Table C postes : C01- C03-C04-C05-C06.....	182
6.5.1.6. Analyse des résultats de Table C postes : C01-C03-C04-C05-C06.....	182
6.5.1.7. Configuration 03 : Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05.....	183
6.5.1.8. Analyse des résultats de Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05.....	184
6.5.1.9. Configuration 03 : Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06.....	185
6.5.1.10. Analyse des résultats de Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06.....	185
6.6. Analyse des résultats de la configuration 04.....	186
6.6.1. Configuration 04: Table A postes: A01-A02-A03-A04-A05-A06.....	186
6.6.1.2. Analyse des résultats de Table A postes : A01-A02-A03-A04-A05.....	187
6.6.1.3. Analyse des résultats de Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05.....	188
6.6.1.4. Analyse des résultats de Table B postes : B01-B02- B03-B04-B05-B06.....	188
6.6.1.5. Analyse des résultats de Table C postes : C01-C03-C04-C05-C06.....	189
6.6.1.6. Analyse des résultats de Table C postes : C01-C03-C04-C05 -C06.....	190

6.6.1.7. Analyse des résultats de Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05-D06.....	190
6.6.1.8. Analyse des résultats de Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05-D06 .....	191
6.6.1.9. Analyse des résultats de Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06 .....	192
6.6.1.10. Analyse des résultats de Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06.....	192
Conclusion.....	194
Références.....	197

## **Chapitre 07 : Etudes statistiques**

Introduction.....	199
7.1. Méthode.....	200
7.2. Les participants.....	201
7.3. L'échelle dévaluation.....	202
7.4. Procédure de l'analyse des données.....	202
7.4.1. Etape 01 : Les tests de fiabilités et les tests de normalité (phase test).....	202
7.4.2. Etape 02 : étude des variations des conditions d'éclairage quantitatives entre les postes.....	202
7.4.3. Etape 03 : étude des corrélations des variables qualitatifs d'éclairage 'carte factorielle' (test de Pearson).....	203
7.5. L'analyse des données.....	204
7.5.1. Les tests de fiabilités des questions et de normalité des données.....	204
7.5.1.1. Test de test alpha de Cronbach.....	204
7.5.1.2. Test normalité des données.....	204
7.5.2. Etude des variations des conditions d'éclairage.....	208
7.6. Etude des corrélations entre les variables qualitatives d'éclairage (analyse factorielle)...	211
7.6.1. Corrélations des variables d'impression générale dans la salle CAO.....	211
7.6.2. Corrélations des variables tâche lecture du texte sur la table.....	213
7.6.3. Corrélations des variables tâche lecture des dessins (ou schémas) sur la table.....	215
7.6.4. Corrélations des variables tâche saisie du texte sur Pc (écran).....	217
7.6.5. Corrélations des variables tâche dessin assisté par ordinateur .....	220
7.6.6. Corrélations des variables tâche vision des projections de data show .....	222
7.6.7. Corrélations des variables de la tâche vision du tableau blanc .....	224
Conclusion.....	227
Référence.....	229

## **Chapitre 08 : Modèles numérique**

Introduction.....	231
8.1. Corrélations des variables qualitatives et quantitatives d'éclairage (Test Anova).....	232
8.1.1. Processus de la formation des matrices (qualitatives / quantitatives).....	232
8.2. Développement des matrices Qualitatifs/Quantitatifs (Test Anova one way).....	232
8.3. Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) d'impression générale dans la salle CAO .....	233
8.3.1. Résultat de la Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) d'impression générale dans la salle CAO .....	234
8.4. Corrélations des variables pour tâche lecture du texte sur la table.....	235
8.4.1. Résultat de la Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche lecture du texte sur la table.....	237
8.5. Corrélations des variables pour tâche lecture de dessin (schéma) sur table.....	237
8.5.1 Résultat de la Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche lecture de dessin (schéma) sur la table.....	239
8.6. Corrélations des variables pour tâche saisie du texte sur Pc.....	239

8.6.1. Résultat de la Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche saisie du texte sur Pc...	241
8.7. Corrélations des variables pour la tache dessin assisté par ordinateur.....	242
8.7.1. Résultat de la Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche dessin assisté par ordinateur.....	244
8.8. Corrélations des variables pour la tache vision de projections de data show et vision du tableau blanc.....	245
8.8.1. Tache vison de projection Data show.....	246
8.8.2. Résultat de la Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche vision de projections de data show.....	247
8.8.3. Tache vison du tableau blanc.....	248
8.8.4. Résultat de la Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche vision du tableau blanc.....	249
8.9. Développement du model.....	250
8.9.1. Le model proposer pour la d'impression générale dans la salle CAO.....	251
8.9.2. Le model proposer pour tâche lecture du texte sur la table.....	251
8.9.3. Le model proposer pour la tâche lecture de dessin (schéma) sur table.....	252
8.9.4. Le model proposer pour la tâche saisie du texte sur Pc.....	253
8.9.5. Le model proposer pour la tâche pour tâche dessin assisté par ordinateur.....	254
8.9.6. Le model proposer pour la tâche vision des projections du data show.....	255
8.9.7. Le model proposer pour la tâche vision du tableau blanc.....	256
Conclusion.....	258
Référence.....	261
Conclusion générale et perspectives.....	263
Perspectives.....	267
Références bibliographique.....	263
Contributions personnelles.....	271
Annexe I.....	273
Annexe II.....	276
Annexe III.....	278
Annexe IV.....	282
Annexe V.....	287

## Liste des figures

Figures	Pages
<b>Chapitre : 01</b>	
<b>Figure 1.1 :</b> Nouvelle pratique éclairage naturel et mixte cas du musée ‘High Museum of Art, Atlanta’ .....	9
<b>Figure 1.2:</b> Phénomène physiques : a (Absorption maximale) ; b (Absorption partielle); c (Absorption minimale).....	11
<b>Figure 1.3 :</b> Matière et phénomène lumineux : (a La réflexion spéculaire) ; b (la réflexion diffuse parfaite) ; c (La réflexion diffuse quelconque) ; d (La réflexion mixte).....	12
<b>Figure 1.4 :</b> Représentation des grandeurs photométriques Flux, éclairement, Luminance.....	13
<b>Figure 1.5 :</b> Spectre lumineux de trois sources lumineuses les lampes à incandescence par des CCT de 2700 K/ LED blanches ont CCT de l'ordre de 6000 K.....	14
<b>Figure 1.6 :</b> Model de performances visuelles.....	16
<b>Figure 1.7 :</b> Relation entre l'âge des usages et la performance.....	17
<b>Figure 1.8 :</b> Angles de vision.....	19
<b>Figure 1.9 :</b> Champs visuel humain : (a) Horizontal, (b) Vertical.....	21
<b>Figure 1.10 :</b> Représentation des valeurs de luminances prise dans hall d’hôtel, hôtel Barcelo, milan Italie.....	24
<b>Figure 1.11:</b> Les trois approches proposer a compréhension des ambiances architecturales et urbaines.....	27
<b>Chapitre : 02</b>	
<b>Figure 2.1:</b> Schéma des approches des réponses au stimulus d’environnements physique.....	37
<b>Figure 2.2 :</b> Les deux axes de plaisir et de l’excitation proposée par Russell.....	38
<b>Figure 2.3 :</b> Les composantes des réponses émotionnelles de Russel .....	39
<b>Figure 2.4 :</b> Schéma du modèle du schéma à cinq carrés.....	40
<b>Figure 2.5 :</b> Relations entre caractéristiques de taches et le Résultats travail (Hackman et Oldham).....	43
<b>Figure 2.6 :</b> Question N°1 de la section deux de l'Enquête Hackman et Oldham.....	45
<b>Figure 2.7 :</b> Question N°2 de la section deux de l'Enquête Hackman et Oldham.....	45
<b>Figure 2.8 :</b> Question utiliser pour l’évaluation de la satisfaction dans le travail l'Enquête Hackman et Oldham.....	46
<b>Figure 2.9 :</b> Méthode proposer par Flynn afin d’étudier les interactions l'homme / environnement.....	48
<b>Figure 2.10 :</b> Les différentes configurations lumineuse de la salle testée par Flynn.....	49
<b>Figure 2.11 :</b> Echelle différentiels et le facteur correspondant utilisées par Flynn.....	50
<b>Figure 2.12 :</b> Les échelles dévaluation de l’espace 3D Flynn, (A) à gauche l’échelle claire flou, (B) à droite le facteur de spéciosité .....	51
<b>Figure 2.13 :</b> Les échelles dévaluation de l’espace 3D Flynn, (C) à gauche l’échelle de détente, (D) à droite l’échelle public-privé.....	52
<b>Figure 2.14 :</b> Le facteur d’évaluative dans l'espace 3D Flynn.....	52
<b>Figure 2.15 :</b> Les évaluations (notes moyennes) des différentes intensités de luminances.....	53
<b>Figure 2.16 :</b> Les évaluations (notes moyennes) pour une ambiance chaude, directionnelle et une ambiance froide.....	53
<b>Figure 2.17 :</b> Les évaluations (notes moyennes) pour un éclairage périphérique / éclairage zénithale.....	54
<b>Figure 2.18 :</b> Les diagrammes radar de tracés dévaluations subjectives (par notes).....	54

<b>Figure 2.19</b> : Représentations évaluations subjectives (Clear/Hazy, Spacious/Cramped) obtenus sous les différentes conditions d'éclairages.....	55
<b>Figure 2.20</b> : Représentations évaluations subjectives (Relaxed/Cramped) obtenus sous les différentes conditions d'éclairages.....	56
<b>Figure 2.21</b> : Représentation des résultats de l'analyse factorielle (Luminosité/ intérêt).....	58
<b>Chapitre : 03</b>	
<b>Figure 3.1</b> : Model conceptuel développer par de Boyce de l'éclairage.....	68
<b>Figure 3.2</b> : Les trois composantes des taches visuelles.....	69
<b>Figure 3.3</b> : Model de Russell de l'humeur préalable.....	70
<b>Figure 3.4</b> : Le cycle de rétroaction positive occupants-Bâtiment selon Bay.....	71
<b>Figure 3.5</b> : Etapes d'interaction occupant/ stimulus.....	73
<b>Figure 3.6</b> : Schéma du model conceptuel proposer.....	74
<b>Figure 3.7</b> : Organisation générale du questionnaire proposé.....	87
<b>Figure 3.8</b> : Le questionnaire du prétest Page 1 (gauche) et Page 2 (droite).....	88
<b>Figure 3.9</b> : Partie du questionnaire du prétest Page 03.....	89
<b>Figure 3.10</b> : La version finale du questionnaire : a (la première partie) ; b (la deuxième partie) ; c (La troisième partie).....	90
<b>Chapitre : 04</b>	
<b>Figure 4.1</b> : La température minimale et maximale.....	102
<b>Figure 4.2</b> : La précipitation (mm).....	102
<b>Figure 4.3</b> : Le taux de la couverture nuageuse (%).....	104
<b>Figure 4.4</b> : Photographie du ciel, avec distributions des luminances le jour de l'expérimentation.....	104
<b>Figure 4.5</b> : Plan de masse du campus universitaire.....	105
<b>Figure 4.6</b> : a (Plan de la salle CAO) ; b (Vue de l'extérieure de la salle CAO).....	106
<b>Figure 4.7</b> : Aménagement proposée avec les trois zones d'éclairage naturel.....	106
<b>Figure 4.8</b> : Implantations des luminaires dans la salle CAO.....	107
<b>Figure 4.9</b> : Luxmètres utilisé dans l'expérimentation.....	108
<b>Figure 4.10</b> : Dispositifs pour les mesures de luminances Coiffe noire.....	108
<b>Figure 4.11</b> : Surface avec trois dégradés de noir posé devant les utilisateurs.....	109
<b>Figure 4.12</b> : Appareil photo et Fish-Eye.....	110
<b>Figure 4.13</b> : Représentation du Champs visuel humain sur Projection équidistante à 180°.....	110
<b>Figure 4.14</b> : Relation entre environnement physique et Sentiments d'inconfort.....	111
<b>Figure 4.15</b> : Schéma du processus du développement du model dévaluation des ambiances lumineuse.....	112
<b>Figure 4.16</b> : Images prise à l'intérieur de la salle CAO, avec sous la configuration lumineuse -1- A (gauche) et B (droite).....	113
<b>Figure 4.17</b> : Images prise à l'intérieur de la salle CAO, avec sous la configuration lumineuse -2- C (gauche) et D (droite).....	113
<b>Figure 4.18</b> : Images prise à l'intérieur de la salle CAO, avec sous la configuration lumineuse -3- E (gauche) et F (droite).....	114
<b>Figure 4.19</b> : Images prise à l'intérieur de la salle CAO, avec sous la configuration lumineuse -4- I (gauche) et J (droite).....	114
<b>Figure 4.20</b> : Images qui représente la projection avec data show.....	116
<b>Figure 4.21</b> : Schéma qui représente les différents points de mesure d'éclairement.....	117
<b>Figure 4.22</b> : Procédure d'acquisition et de traitement d'images.....	118



## Chapitre : 05

<b>Figure 5.1 :</b> Plan de la salle informatique avec l'affectation des différents postes.....	127
<b>Figure 5.2 :</b> Image Fisheye des 30 postes, de la configuration 01, avec une superposition des champs visuels de l'utilisateur et Glare Analysis (EvalGlare-Radiance).....	128
<b>Figure 5.3 :</b> Représentation des résultats obtenu d'éclairiments claviers, éclairiments papiers, et éclairiments écrans, et éclairiment au niveau des yeux dans les 30 poste de configuration 01 .....	130
<b>Figure 5.4 :</b> Représentation des résultats obtenus des luminances dans le champ visuel (panorama, ergorama, background) luminance moyenne et luminance maximum dans les 30 postes de configuration 01.....	132
<b>Figure 5.5 :</b> Image Fisheye des 30 postes, de la configuration 02, avec une superposition des champs visuels de l'utilisateur et Glare Analysis (EvalGlare Radiance)....	135
<b>Figure 5.6 :</b> Représentation des résultats obtenu d'éclairiments claviers, éclairiments papiers et éclairiments écrans, et éclairiment au niveau des yeux dans les 30 poste de configuration 02.....	137
<b>Figure 5.7 :</b> Représentation des résultats obtenus des luminances dans le champ visuel (panorama, ergorama, background) luminance moyenne et luminance maximum dans les 30 postes de configuration 02.....	139
<b>Figure 5.8 :</b> Image Fisheye des 30 postes, de la configuration 03, avec une superposition des champs visuels de l'utilisateur et Glare Analysis (EvalGlare-Radiance)....	142
<b>Figure 5.9 :</b> Représentation des résultats obtenu d'éclairiments claviers, éclairiments papiers et éclairiments écrans, et éclairiment au niveau des yeux dans les 27 postes de configuration 03 .....	144
<b>Figure 5.10 :</b> Représentation des résultats obtenus des luminances dans le champ visuel (panorama, ergorama, background) luminance moyenne et luminance maximum dans les 27 postes de configuration 03.....	146
<b>Figure 5.11 :</b> Image Fisheye des 28 postes, de la configuration 04, avec une superposition des champs visuels de l'utilisateur et Glare Analysis (EvalGlare Radiance).....	149
<b>Figure 5.12 :</b> Représentation des résultats obtenu d'éclairiments claviers, éclairiments papiers et éclairiments écrans, et éclairiment au niveau des yeux dans les 28 postes de configuration 04.....	151
<b>Figure 5.13 :</b> Représentation des résultats obtenus des luminances dans le champ visuel (panorama, ergorama, background) luminance moyenne et luminance maximum dans les 28 postes de configuration 04 .....	154

## Chapitre : 06

<b>Figure 6.1 :</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table A configuration01.....	164
<b>Figure 6.2 :</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table A, configuration 01.....	164
<b>Figure 6.3 :</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table B configuration 01.....	165
<b>Figure 6.4 :</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table B, configuration 01.....	166
<b>Figure 6.5 :</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table C configuration 01.....	167
<b>Figure 6.6 :</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table C, configuration 01.....	167
<b>Figure 6.7 :</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la Table D configuration 01.....	168

<b>Figure 6.8 :</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table D, configuration 01 .....	169
<b>Figure 6.9 :</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table E configuration01.....	170
<b>Figure 6.10 :</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table E, configuration 01.....	170
<b>Figure 6.11 :</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table A configuration 02.....	171
<b>Figure 6.12 :</b> Représentation radar, les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table A, configuration 02.....	172
<b>Figure 6.13 :</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table B configuration 02.....	173
<b>Figure 6.14 :</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table B, configuration 02.....	173
<b>Figure 6.15 :</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table C configuration 02.....	174
<b>Figure 6.16:</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table C, configuration 02.....	175
<b>Figure 6.17:</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table D configuration 02.....	176
<b>Figure 6.18 :</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table D, configuration 02.....	176
<b>Figure 6.19 :</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table E configuration 02.....	177
<b>Figure 6.20:</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table E, configuration 02.....	178
<b>Figure 6.21 :</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table A Configuration 03.....	179
<b>Figure 6.22 :</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table A, configuration 03.....	179
<b>Figure 6.23 :</b> Représentation des images fausses couleurs des 05 postes, de la table B Configuration 03.....	180
<b>Figure 6.24:</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 05 postes de la table B, configuration 03.....	181
<b>Figure 6.25:</b> Représentation des images fausses couleurs des 05 postes, de la table C, Configuration 03.....	182
<b>Figure 6.26:</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 05 postes de la table C, configuration 03.....	182
<b>Figure 6.27:</b> Représentation des images fausses couleurs des 05 postes, de la table D, Configuration 03.....	183
<b>Figure 6.28:</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 05 postes de la table D, configuration 03.....	184
<b>Figure 6.29:</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table E, Configuration 03.....	185
<b>Figure 6.30:</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table E, configuration 03.....	185
<b>Figure 6.31:</b> Représentation des images fausses couleurs des 05 postes, de la table A Configuration 04.....	186
<b>Figure 6.32:</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 05 postes de la table A, configuration 04.....	187



<b>Figure 6.33:</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table B Configuration 04.....	188
<b>Figure 6.34:</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table B, configuration 04.....	188
<b>Figure 6.35:</b> Représentation des images fausses couleurs des 05 postes, de la table C Configuration 04.....	189
<b>Figure 6.36:</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 05 postes de la table C, configuration 04.....	189
<b>Figure 6.37:</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table D Configuration 04.....	190
<b>Figure 6.38:</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table D, configuration 04.....	191
<b>Figure 6.39:</b> Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table E Configuration 04.....	192
<b>Figure 6.40:</b> Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI_P, DGI_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table E, configuration 04.....	192
<b>Chapitre : 07</b>	
<b>Figure 7.1 :</b> Plan de la salle CAO du département d'architecture.....	200
<b>Figure 7.2 :</b> Trois des quatre Configurations lumineuse de la salle CAO.....	200
<b>Figure 7.3 :</b> a (à gauche) test de fréquences pour la variable éclairement sur le clavier ; b (à droite) teste de fréquences pour la variable éclairement sur le papier .....	205
<b>Figure 7.4 :</b> c (à gauche) test de fréquences pour la variable éclairement sur l'écran ; d (à droite) teste de fréquences pour la variable éclairement globale reçue au niveau des yeux.....	205
<b>Figure 7.5 :</b> e (à gauche) gauche test de fréquences pour la variable éclairement direct reçue au niveau des yeux ; f (à droite) teste de fréquences pour la variable luminance maximale .....	205
<b>Figure 7.6 :</b> g (à gauche) test de fréquences pour la variable luminances moyenne panorama ; h (à droite) teste de fréquences de la variable luminances moyenne erogorama.....	206
<b>Figure 7.7 :</b> i (à gauche) test de fréquences pour la variable luminances du fond ; j(à droite) teste de fréquences pour la variable 'DGI-P'.....	206
<b>Figure 7.8 :</b> k (à gauche) test de fréquences pour la variable 'DGI' ; ; i (à droite) teste de fréquences pour la variable 'CIE-GI_Index'.....	206
<b>Figure 7.9 :</b> Test de fréquences pour la variable 'UGR'.....	207
<b>Figure 7.10 :</b> Nuage de points qui représente l'éclairement (papiers / claviers) mesurés dans les postes des 4 configurations.....	208
<b>Figure 7.11:</b> Nuage de points qui représente l'éclairement (Ecran / aux niveaux des yeux) mesurés dans les postes des 4 configuration.....	209
<b>Figure 7.12 :</b> Nuage de points qui représente les luminances (Ergorama/ Maximale) mesurés dans les postes des 4 configurations.....	209
<b>Figure 7.13 :</b> Nuage de points qui représente resautas des index (DGI / CIE_GI) mesurés dans les postes des 4 configurations.....	210
<b>Figure 7.14 :</b> Nuage de points qui représente resautas des index (UGR / DGI) mesurés dans les postes des 4 configurations.....	210
<b>Figure 7.15 :</b> Représentation de la carte factorielle des variables d'impression générale dans la salleCAO .....	212
<b>Figure 7.16 :</b> Représentation de la carte factorielle des variables d'impression générale dans la salle CAO avec le contrôle de la variable éblouissements.....	212
<b>Figure 7.17:</b> Représentation de la carte factorielle des variables de la tache lecture du texte.....	214

<b>Figure 7.18</b> : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche lecture du texte avec le contrôle de la variable éblouissements du texte sur la table.....	215
<b>Figure 7.19</b> : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche lecture de dessins sur table (schémas).....	216
<b>Figure 7.20</b> : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche lecture de dessins sur table avec le contrôle de la variable éblouissements.....	217
<b>Figure 7.21</b> : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche saisie du texte sur Pc.....	219
<b>Figure 7.22</b> : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche saisie du texte sur Pc avec le contrôle de la variable éblouissements.....	220
<b>Figure 7.23</b> : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche dessin assisté par ordinateur.....	221
<b>Figure 7.24</b> : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche dessin assisté par ordinateur avec le contrôle de la variable éblouissements.....	222
<b>Figure 7.25</b> : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche vision des projections de data show.....	223
<b>Figure 7.26</b> : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche vision des projections de data show avec le contrôle de la variable éblouissements ...	224
<b>Figure 7.27</b> : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche la tâche vision du tableau blanc.....	225
<b>Figure 7.28</b> : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche la tâche vision du tableau blanc Avec le contrôle de la variable éblouissements.....	226

#### **Chapitre : 08**

<b>Figure 8.1</b> : a (à gauche) , Représentation Box-Plot (luminance moy ergorama / confortable); b (à droite) , représentation Box-Plot (luminance moy panorama/confortable) pour électivité évaluation des impressions générale dans la salle CAO .....	233
<b>Figure 8.2</b> : c (à gauche) , Représentation Box-Plot (Eclairément verticale écran / confortable) ; d (à droite) , Représentation Box-Plot (luminance du fond /confortable) pour électivité évaluation des impressions générale dans la salle CAO .....	233
<b>Figure 8.3</b> : e (à gauche), Représentation Box-Plot (luminance Moy panorama / Stimulante) ; f (à droite), Représentation Box-Plot (luminance moy ergorama / Stimulante) pour électivité évaluation des impressions générale dans la salle CAO .....	234
<b>Figure 8.4</b> : g (à gauche), Représentation Box-Plot (luminance du fond / Stimulante) ; h (à droite), Représentation Box-Plot (Eclairément verticale écran / Stimulante) pour électivité évaluation des impressions générale dans la salle CAO .....	234
<b>Figure 8.5</b> : a (à gauche), Représentation Box-Plot (luminance moyenne ergorama / Agréable) ; b (à droite), Représentation Box-Plot (luminance moyenne panorama / Agréable) pour tâche lecture du texte sur la table .....	236
<b>Figure 8.6</b> : c (à gauche), Représentation Box-Plot (luminance maximale / bien définie ; d (à droite), Représentation Box-Plot (luminance maximale / Approprié) pour tâche lecture du texte sur la table .....	236
<b>Figure 8.7</b> : Représentation Box-Plot (luminance maximale / Nette), pour tâche lecture du texte sur la table.....	236

<b>Figure 8.8 :</b> a (à gauche), Représentation Box-Plot (éclairage vertical sur surface écran / bien définie) ; b (à droite), Représentation Box-Plot (éclairage horizontal sur papier / Bien définie) pour lecture de dessin (schéma) sur table la table.....	238
<b>Figure 8.9 :</b> c (à gauche), Représentation Box-Plot (luminance moyenne ergorama / agréable) ; d (à droite), Représentation Box-Plot (luminance max / agréable) pour lecture de dessin (schéma) sur table la table .....	238
<b>Figure 8.10 :</b> a (à gauche), Représentation Box-Plot (éclairage vertical sur écran / agréable); b (à droite), Représentation Box-Plot (luminance max / agréable) pour saisie du texte sur Pc .....	240
<b>Figure 8.11 :</b> c (à gauche), Représentation Box-Plot (éclairage vertical sur surface écran /Approprié); d (à droite), (Eclairage horizontal sur clavier / Approprié) pour tâche saisie du texte sur Pc.....	240
<b>Figure 8.12 :</b> e (à gauche), Représentation Box-Plot (Eclairage vertical sur œil direct + indirect / confortable) ; f (à droite), Représentation Box-Plot (Eclairage horizontal sur clavier / nette) pour tâche saisie du texte sur Pc .....	241
<b>Figure 8.13 :</b> Représentation Box-Plot (Eclairage vertical sur œil direct + indirect / naturelle) pour tâche saisie du texte sur Pc.....	241
<b>Figure 8.14 :</b> a (à gauche), Représentation Box-Plot (Luminance _Luminance _Moy_ Ergorama / agréable) ; b (à droite), (Luminance _Moy_Panormama / Approprié) pour tâche dessin assisté par ordinateur .....	243
<b>Figure 8.15 :</b> c (à gauche), Représentation Box-Plot (Eclairage vertical sur œil (Dir+ Ind )/ bien définie ; d (à droite), (Moy Ergorama / bien définie) pour tâche dessin assisté par ordinateur .....	243
<b>Figure 8.16 :</b> e (à gauche), Représentation Box-Plot (Eclairage horizontal sur clavier / confortable) ; d (à droite), (Eclairage _vertical écran / Confortable) pour tâche dessin assisté par ordinateur .....	244
<b>Figure 8.17 :</b> a (à gauche), la Représentation Box-Plot (luminance du fond / bien définie) ; b (à droite), (éclairage sur œil direct + indirect / bien définie) ; pour la tache vision de projections de data show .....	246
<b>Figure 8.18 :</b> c (à gauche), la Représentation Box-Plot (luminance moy panorama / Agréable) ; d (à droite), (luminance max / approprié) ; pour la tache vision de projections de data show.....	246
<b>Figure 8.19 :</b> a (à gauche), la Représentation Box-Plot (luminance Moy Ergorama / Approprié) ; b (à droite), (luminance Moy panorama / Approprié) ; pour la tache vision de projections de data show.....	248
<b>Figure 8.20 :</b> Représentation Box-Plot (éclairage vertical sur œil direct plus indirect / Nette) .....	248
<b>Figure 8.21 :</b> a (à gauche), la Représentation Box-Plot (luminance Max / définie) ; d (à droite), (luminance max / bien définie) ; pour la tache vision de projections de data show .....	249
<b>Figure 8.22 :</b> Schéma qui représente les valeurs recommandé de grandeur photométrique sur le champ visuel à 180 °pour les variables confortables / stimulantes, évaluation d'impression générale dans la salle CAO.....	251
<b>Figure 8.23 :</b> Schéma qui représente les valeurs recommandé de grandeur photométrique sur le champ visuel a 180 ° pour les variables bien définie, agréable, nette et approprier, pour tâche lecture du texte sur la table dans la salle CAO.....	252
<b>Figure 8.24 :</b> Schéma qui représente les valeurs recommandé de grandeur photométrique sur le champ visuel a 180 ° pour les variables bien définie, agréable, pour	

la tâche lecture de dessin (schéma) sur table dans la salle CAO.....	253
<b>Figure 8.25 :</b> Schéma qui représente les valeurs recommandé de grandeur photométrique sur le champ visuel a 180 ° pour les variables : agréable, approprié, naturelle, pour la tâche lecture de dessin (schéma) sur table dans la salle CAO.....	254
<b>Figure 8.26 :</b> Schéma qui représente les valeurs recommandé de grandeur photométrique sur le champ visuel a 180 ° pour les variables : agréable, approprier, bien définie et confortable pour la tâche dessin assisté par ordinateur .....	255
<b>Figure 8.27 :</b> Schéma qui représente les valeurs recommandé de grandeur photométrique sur le champ visuel a 180 ° pour les variables : bien définie, agréable, approprier pour la tâche vision des projections du data show .....	256
<b>Figure 8.28 :</b> Schéma qui représente les valeurs recommandé de grandeur photométrique sur le champ visuel à 180 ° pour les variables : approprier, nette, bien définie et agréable pour la tâche vision du tableau blanc .....	257

## Liste des tableaux

### Pages

<b>Tableau 1.1:</b> Niveaux d'éclairément recommandés pour quelques tâches visuelles.....	19
<b>Tableau 2.1 :</b> Question utiliser pour l'évaluation de la satisfaction l'Enquête Hackman et Oldham.....	46
<b>Tableau 2.2 :</b> Les trois facteurs ressortis par analysées par une analyse de composantes principales.....	60
<b>Tableau 3.1 :</b> Récapitulatif des niveaux d'éclairément horizontaux).....	76
<b>Tableau 3.2 :</b> Récapitulatif des Rapports des luminances.....	77
<b>Tableau 3.3 :</b> Echelle du Daylight Glare Index source .....	80
<b>Tableau 3.4 :</b> Résumé de la revue de littérature de recherches récente utilisent l'image HDR.....	82
<b>Tableau 3.5 :</b> Différentes recherche utilisé pour le développement du questionnaire.....	86
<b>Tableau 4.1 :</b> l'ensoleillement reçu annuellement en Algérie par région climatique .....	103
<b>Tableau 4.2 :</b> Le taux de la couverture nuageuse (%) .....	104
<b>Tableaux 5.1 :</b> Résumer des valeurs d'éclairément recommandé pour l'activer de Bureaux avec poste informatique.....	125
<b>Tableaux 5.2 :</b> Résumer des rapports de luminances (contraste) recommandées pour un poste informatique.....	126
<b>Tableaux 5.3 :</b> les valeurs des paramètres physiques lumineux et les indices indicateurs du confort visuel, dans les 30 postes de la configuration 01 .....	129
<b>Tableaux 5.4 :</b> les valeurs des paramètres physiques lumineux et les indices indicateurs du confort visuel, dans les 30 postes de la configuration 02 .....	136
<b>Tableaux 5.5 :</b> les valeurs des paramètres physiques lumineux et les indices indicateurs du confort visuel, dans les 27 postes de la configuration 03 .....	143
<b>Tableaux 5.6 :</b> les valeurs des paramètres physiques lumineux et les indices indicateurs du confort visuel, dans les 28 postes de la configuration 04 .....	150
<b>Tableau 6.1 :</b> Résumée des classifications d'inconfort par rapport à la valeur de chaque indicateur.....	163
<b>Tableau 8.1:</b> Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche évaluations des impressions générale dans la salle CAO .....	235
<b>Tableau 8.2:</b> Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche lecture du texte sur la table .....	237
<b>Tableau 8.3 :</b> Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche lecture de dessin (schéma) sur la table .....	239

<b>Tableau 8.4 :</b> Matrices (Qualitatifs /Quantitatifs) pour tâche saisie du texte sur Pc .....	242
<b>Tableau 8.5 :</b> Matrices (Qualitatifs /Quantitatifs) pour la tâche dessin assisté par ordinateur .....	245
<b>Tableau 8.6 :</b> Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche vision de projections de data show .....	247

## Nomenclature

### Abréviations

EPFL	École polytechnique fédérale de Lausanne.
SPD	Densité spectrale d'énergie.
CCT	Température de couleur corrélée.
IRC	Indice de rendu de couleur.
CCT	Température de couleur coloré.
LED	"Light Emitting Diode", "diode électroluminescente".
AFE	l'Association Française de l'Éclairage.
CIE	Comité Internationale de l'Éclairage
Cd/m <sup>2</sup>	Candelas par mètre carré.
CIBSE	Chartered Institution of Building Services Engineers
IESNA	Illuminating Engineering Society of North America
RVP	Visual Relative Performance
IPRGC	Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells
HI-FI	High fidelity
JDS	Diagnostic Function Survey
MDS	Multidimensionnels Scaling Multidimensional scaling
FC	Foot-candle
ACP	Analyse de composantes principales
CAO	Conception assisté par ordinateur
VCP	Visual Comfort Probability
UGR	Unified Glare Rating
CGI	CIE Glare Index
DGI	Daylight Glare Index
DGP	Daylight Glare Index
CCD	Charged Couple Device
CMOS	Complementary Metal Oxide Conductor
RGB	De l'anglais « Red, Green, Blue » Rouge, vert, bleu
HDR	High dynamic range
LDR	Low dynamic range
EV	« exposure value » indice de luminance
ISO	International Standard Organisation
CAD	Conception Assisté par Ordinateur
SW	Shapiro-Wilk
ACM	Analyses de correspondances multiples
DLR	'Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt 'L'Agence spatiale allemande.
NASA	National Aeronautics and Space Administration.
SIG	Système d'information géographique
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
Illum_Hoz_clavier	éclairage horizontal sur clavier
Illum_Hoz_papier	éclairage horizontal sur papier
Illum_Ver_ECRAN	éclairage vertical sur écran

Vert_eeey_Illum	éclairage vertical aux niveaux des yeux
Avr_Lum_Panorama	luminance moyenne panorama
Avr_Lum_Ergorama	luminance moyenne Ergorama
Background_Lum	luminance du fond
Avr_Lum	luminance moyenne
Lum_Max	luminance maximal

### **Symboles mathématiques**

H	Hauteur de 'L'objets de la tache'.
D	La distance entre 'L'objet' et l'œil.
Lb	luminance de la tâche visuelle cd/m <sup>2</sup> .
Lo	luminance de l'environnement de la tâche cd/m <sup>2</sup> .
C	Contraste de luminance.
L	luminance de la surface
P	coefficient de réflexion de surface
E	éclairage
$\pi$	180 en Rad



## Introduction générale

Historiquement, il existe plusieurs recommandations relatives à l'éclairage naturel ; on peut citer le Neufert ou aussi le journal officiel ou la 10<sup>e</sup> édition du Manuel d'éclairage mais ces derniers fournissent très peu de conseils aux concepteurs qui cherchent à concevoir des espaces architecturaux fonctionnels avec un bon éclairage naturel et un bon confort visuel pour des tâches visuelles verticales. Le manque de recherches axées sur les impacts des paramètres physiques des luminances et de leur localisation sur le champ visuel des usagers, sur le confort et le bien être des occupants génère souvent des déficits en matière de références ou de recommandations en matière d'éclairage. **Malheureusement**, face à ce manque de recommandations relatives aux valeurs de luminances et la **complexité des mesures avec exactitude**, a conduit beaucoup de concepteurs à marginaliser les critères de luminances dans **leurs études d'éclairage** en phase d'analyse. De nos jours, il est reconnu que les mesures physiques de **luminance, plutôt que d'éclairement**, correspondent le mieux à la perception humaine de la luminosité. En outre, les utilisateurs modernes, les occupants de l'espace architectural passent une partie importante du temps de travail sur les **tâches verticales (ordinateurs, moniteurs, data show)** plutôt que sur les tâches horizontales sur papier. Il est généralement connu qu'en phase de conception les architectes **utilisent plusieurs outils et méthodes** afin d'obtenir le minimum d'inconfort lumineux et d'éviter ainsi le plus possible les risques d'éblouissement dans espace architectural. La méthode basée sur les indices d'éblouissements 'Glare index' est la plus répandue et la plus utilisée à fin de **prédire l'éblouissement** et d'assurer aussi un bon confort pour les utilisateurs. Le principal inconvénient de cette méthode est qu'elle se base essentiellement sur des formules mathématiques assez complexes afin de prédire le risque d'éblouissement pour chaque position que peut occuper un usager dans l'espace. Face à cette complexité, la plupart des concepteurs préfèrent utiliser d'autres méthodes plus simples et souvent des solutions plus standards (**des recommandations d'ordre générale**) ce qui ne donne pas de bon résultat dans la majorité des cas et qui peuvent même être **à l'origine des sources d'éblouissement ou d'inconfort**. On a constaté que dans la plupart des conceptions actuelles, la majorité des architectes se basent généralement dans leurs études d'éclairage sur des recommandations de valeurs d'éclairement vertical reçues sur un plan vertical qui représente le plan de travail, alors qu'il est plus qu'évident que les architectes devraient faire une certaine réflexion à propos des valeurs de luminances dans la conception des équipements destinés à l'usage productif, tels que les bureaux, bibliothèques, salle de classe, etc.

## Problématique :

Dans la conception contemporaine des salles de classes universitaires de manière générale et dans les salles de conceptions assistées par ordinateurs (C.A.O) de manière plus spécifique, les architectes concepteurs en Algérie, négligent souvent les paramètres physiques et lumineux spécifiques aux tâches exercées par les occupants des salles dans lesquelles les solutions adoptées sont généralement insuffisantes pour obtenir un confort lumineux adapté à ce type d'espace. En plus de cela, vu **le manque d'investigations et de recommandations** sur le bien-être dans les salles de (C.A.O), les architectes se réfèrent souvent aux normes préétablies pour les bâtiments à usage de bureaux. Vu que les deux espaces se basent principalement sur **l'usage de l'outil informatique**, les concepteurs ont tendance à se référer aux normes recommandées aux salles de conception et **de dessin classique** ; ces pratiques génèrent la plupart du temps des espaces pauvres en création architecturale où le travail est inconfortable et stressant pour les étudiants. **En effet**, il nous semble d'abord indispensable de comprendre comment les utilisateurs de la salle (C.A.O) occupent la salle et quelles **sont les différentes tâches exécutées** dans cette dernière car il existe des pratiques propres à ce type de salle ' des tâches visuelles (horizontales et verticales).

La question est la suivante : est-il possible d'adopter les normes et standards d'éclairage fréquemment utilisés dans les salles de classe dites classiques (ordinaire de dessin) à la salle de (C.A.O) tout en assurant un bon confort visuel ? Existe-t-il des exigences lumineuses spécifiques à la salle de (C.A.O) ? Est-il possible de développer un modèle numérique ou graphique qui synthétise les valeurs recommandées d'éclairage et de luminance sur le champ visuel des usagers ?

### **Hypothèses :**

Afin de répondre aux questions précédemment citées, trois hypothèses ont été émises dans notre recherche :

Hypothèse 01 : Il est possible d'utiliser les recommandations d'éclairage, adopté dans les salles de dessin classique ordinaire mais avec certaines précautions.

Hypothèse 02 : Il existe des tâches visuelles spécifiques dans la salle de (C.A.O), des tâches où le plan de travail est vertical, ce dernier exige des conditions lumineuses spécifiques et propres à la salle de (C.A.O).

Hypothèse 03 : Il est possible de développer un modèle numérique qui reprend les valeurs de luminance et d'éclairage sur le champ visuel des usagers mais le développement de ce dernier exige une compréhension et des enquêtes approfondies auprès des usagers afin de déterminer leurs préférences.

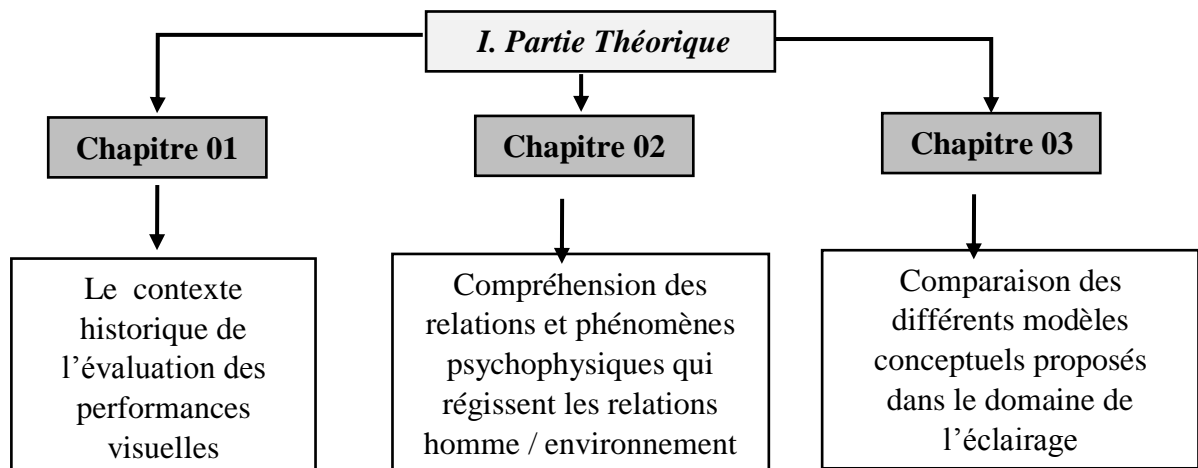


**L'objectif de ce travail** est de développer à la fois un (ou des) modèle(s) numérique(s) et graphique(s) qui est facile à interpréter et à prendre en main par les différents acteurs du domaine architectural afin de les aider à comprendre les phénomènes physiques de la lumière et de mieux visualiser leurs impacts sur la perception visuelle des usagers. Ce modèle offrira aussi la possibilité de classer les ambiances lumineuses présentes dans les espaces architecturaux de manière globale et dans les salles de (C.A.O) de manière plus spécifique. Ce modèle permettra aussi de ressortir avec des recommandations conceptuelles à l'égard de l'insuffisance ou de l'excès de lumière. En plus de pouvoir situer cette insuffisance ou cet excès en temps réel, à la fois sur le champ visuel des usagers et dans l'espace architectural conçu, cette représentation permet aux concepteurs de diagnostiquer plus rapidement et plus efficacement les problèmes liés à la gêne visuelle liée aux facteurs physiques et lumineux, pour ensuite les amener à réagir de manière plus ciblée dans l'espace face à cette source d'inconfort. Afin de tirer le maximum du potentiel du modèle et ainsi exploiter la facilité de sa prise en main et de son application dans les cas réels, ce dernier doit aussi prendre en considération les facteurs humains (les sensations humaines) car l'utilisateur, **l'occupant de l'espace salle (C.A.O) est au cœur de notre recherche**. C'est lui, avec son expérience vis-à-vis de l'environnement lumineux, qui détient en grande partie les réponses à nos interrogations. Nous avons donc **opté pour une démarche** appuyée principalement sur des **mesures in-situ des paramètres physiques** lumineux et des enquêtes par questionnaire. Cette démarche nous a conduit à **organiser notre travail de recherche** de manière à avoir deux parties séparées mais qui se complètent l'une l'autre ; la première partie de notre travail est **une partie théorique, elle est composée de trois chapitres dont** l'objet principal est la compréhension des concepts théoriques impliqués dans les domaines de l'éclairage et du comportement humain vis-à-vis de l'environnement physique et lumineux. Dans cette partie, nous avons exposé les sources, les méthodes et les techniques adoptées pour notre recherche qui est organisée selon la logique suivante : dans le premier chapitre, nous avons exposé le contexte historique de l'évaluation des performances visuelles appliquées aux différents climats lumineux et dans différents espaces architecturaux. Le second chapitre a été consacré à la compréhension des relations et phénomènes psychophysiques qui régissent les relations qui existent entre l'homme et son environnement physique. Tandis que le troisième chapitre a été dédié à l'analyse et la comparaison des différents modèles conceptuels proposés dans les recherches antérieures dans le domaine de l'éclairage.

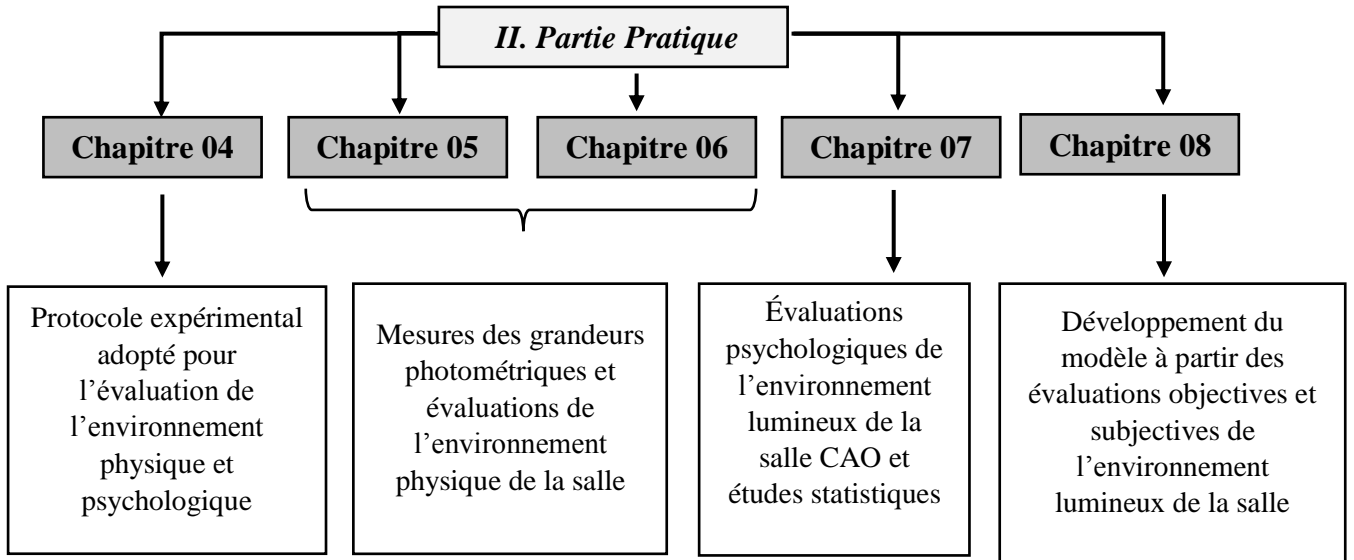
La seconde partie de notre travail **est la partie pratique ;** cette dernière comprend **cinq chapitres pratiques** et elle a comme objectif de mettre en pratique l'ensemble des conclusions,

méthodes et concepts dégagés dans la partie théorique. Elle a été organisée de la manière suivante : dans le quatrième chapitre, nous avons exposé notre protocole expérimental qui sera adopté pour le développement du modèle d'évaluation des ambiances lumineuses dans la salle de conception assistée par ordinateur. Les chapitres cinq et six ont été dédiés à exposer et à détailler la procédure adoptée aux mesures des grandeurs photométriques lumineuses et aux indices d'éblouissement dans la salle (C.A.O) pour chacune des activités demandées aux usagers. Dans le septième chapitre, nous avons exposé les données collectées à travers le questionnaire ainsi que les résultats de l'étude statistique qui avait comme but de ressortir les variables corrélées significativement ; le huitième chapitre été consacré au développement de notre modèle qui est le résultats des combinaisons des évaluations objectives et celles subjectives pour chacune des sept tâches demandées aux usagers. Le schéma ci-dessous résume l'organisation générale de la thèse.

### Structure de la thèse



**Objectifs :** La compréhension des concepts théoriques impliqués dans les domaines de l'éclairage et du comportement humain vis-à-vis des différents environnements physiques et lumineux.



**Objectifs :** mettre en pratique, l'ensemble des conclusions, méthodes et concepts dégagés dans la première partie.

**Organigramme organisationnel du travail de thèse**

**I. Partie théorique**

## **I. Partie théorique**

*C*ette partie de la thèse est composée de trois chapitres théoriques, l'objet principal de cette partie est la compréhension des concepts théoriques impliqués dans les domaines de l'éclairage et du comportement humain vis-à-vis de l'environnement physique et lumineux. Au cœur de notre recherche se trouve l'utilisateur « l'occupant de l'espace architectural », car c'est lui avec son expérience au quotidien avec les différents environnements lumineux qui détient en grande partie les réponses à nos interrogations. Nous rapportons les sources, les méthodes et les techniques adoptées pour notre recherche qui est organisée selon la logique suivante : dans le premier chapitre nous avons exposé le contexte historique de l'évaluation des performances visuelles appliquées aux différents climats lumineux et dans différents espaces architecturaux. Cette recherche nous permet de dégager les acteurs clés liés à l'évaluation des performances visuelles. D'après ce chapitre on a pu constater que l'aspect non visible de la lumière est aussi important que celui visible ; car il affecte de manière directe la perception et le mode d'évaluation de l'espace architectural. Le second chapitre a été consacré à la compréhension des relations et phénomènes psychophysiques qui régissent les relations qui existent entre l'homme et son environnement physique, pour cela nous avons passé en revue les différentes recherches antérieures menées dans le domaine de la psychologie de l'environnement. Tandis que le troisième chapitre a été dédié à l'analyse et la comparaison des différents modèles conceptuels proposés dans des recherches antérieures dans le domaine de l'éclairage, ces dernières représentent une base théorique indispensable au développement de notre propre modèle conceptuel.

# Chapitre 01

## **Introduction**

De nos jours le monde a connu un intérêt particulier pour la durabilité et cela dans tous les domaines de la vie, et l'architecture ne fait pas exception. Cette prise de considération se traduit par une optimisation de l'utilisation l'éclairage dans les bâtiments et d'autre part la recherche de maximiser toujours plus le confort visuel des usages de l'espace architectural. Pour cela, de nouveaux axes de recherche et de nouvelles méthodes basés sur l'interdisciplinarité ont vu le jour afin concevoir et d'évaluer l'environnement lumineux. Afin de comprendre le confort visuel à l'intérieur des locaux, il est impératif d'étudier la répartition spatiale de ces luminances, sous forme de carte de luminance, qui permet d'avoir accès à un grand nombre de descripteurs (par exemple, luminance moyenne des parois, luminance maximale du plan de travail, écart type des valeurs de luminance présentes sur la scène). Dans ce chapitre, nous allons définir les différentes grandeurs photométriques, utilisées afin de quantifier la lumière dans le bâtiment, et les différentes méthodes et outils développés par d'autres recherches scientifiques dans le domaine de la lumière naturelle, dans les espaces intérieurs afin de quantifier les niveaux de confort lumineux à l'intérieur de l'espace architectural. Les recherches qui ont été faites liées à la qualité de l'éclairage se déroulaient généralement dans deux types d'environnements de simulation : Dans des locaux spécialement préconçus dans des laboratoires de recherche comme c'est le cas de l'école polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), l'avantage de cette méthode est principalement la flexibilité et possibilité de simuler des différentes configurations du local avec les différentes données photométrique du local. Mais l'inconvénient c'est que ce type de modélisation du locale coûte excessivement cher. La deuxième méthode, c'est des mesures in situ, dans un espace réel c'est-à-dire, la simulation ce déroule dans un espace donné avec une tâche visuelle bien précise, et avec une activité liée (Bureaux, vitrine d'exposition ou bibliothèques par exemple), l'avantage c'est que les mesures se passent directement dans l'espace concerné ; on optimise ainsi beaucoup de temps et d'argent dans la préparation et la conception du local. Ajouté à cela, l'autre avantage capital de la mesure in situ, est celui de l'intégration de la variable humaine lors des mesures. Car dans ce type de mesures, il est possible de quantifier les interactions qui peuvent exister entre L'homme est son environnement physique, et ainsi on évalue l'impact physiologique de cet environnement lumineux à travers des questionnaires et des observations et bien d'autres méthodes, une chose impossible avec les simulations numériques, et qui est très importante pour la compréhension de la psychologie de l'environnement.

## **1.1. Qualité d'éclairage**

### **1.1.1. Contexte historique**

Même dans le monde industrialisé, l'utilisation de l'éclairage électrique dans le bâtiment, est assez récente car l'éclairage électrique commença à se répandre largement qu'avec l'usage des lampes à incandescence. Cette utilisation a atteint une grande échelle au début du 20<sup>e</sup> siècle, et durant des milliers d'années, les gens se sont principalement basés sur la lumière du jour et le feu (feu de joie, des torches, des bougies et de l'huile). Les activités humaines de l'époque étaient planifiées selon la quantité et la qualité de la lumière qui était fournie à cette époque pour les gens. Les lampes puissantes comme les lampes fluorescentes sont introduites dans le marché que dans les années 1950, puis suivies par les lampes à décharge à haute intensité. L'augmentation et la disponibilité de la puissance des sources lumineuses a conduit à de nouvelles définitions du confort lumineux, comme celle d'éviter l'éblouissement (en utilisant les diffuseurs de lumière). Où le passage des sources de lumières incandescentes aux sources lumineuses à décharge ont soulevé la question de rendu des couleurs et la température des couleurs. Aujourd'hui, les (LED) à leur tour on fait leur entrée aussi sur le marché de l'éclairage, ces nouvelles sources lumineuses permettent de nouvelles approches pour la conception et de nouvelles pratiques éclairage, surtout dans l'éclairage d'intérieur (voir figure 1.1).



*Figure 1.1: Nouvelle pratique d'éclairage naturel et mixte, cas du musée 'High Museum of Art, Atlanta' (Source : Auteur)*

### **1.1.2. La définition de la qualité de de lumière**

Qu'est-ce que la qualité de l'éclairage signifie ? Qu'est-ce que la lumière ?

La lumière est : « *La lumière est un phénomène physique, un transport d'énergie sans transport de matière. Dans son acception générale de lumière visible, elle est constituée de l'ensemble des ondes électromagnétiques perçues par la vision humaine, c'est-à-dire dont les longueurs*



*d'onde, dans le vide, sont comprises entre 380 nm (violet) et 780 nm (rouge). Par un effet d'adaptation des espèces vivantes à leur environnement, cette région du spectre électromagnétique recoupe celle où l'éclairement énergétique solaire est maximal à la surface de la Terre » (Jacquot, Muriel, Fagot, Philippe, & Voilley, 2011). « Rayonnement électromagnétique dont la longueur d'onde, comprise entre 400 et 780 nm, correspond à la zone de sensibilité de l'œil humain, entre l'ultraviolet et l'infrarouge (Born & Wolf, 2013). Clarté émise par le soleil, qui éclaire les objets et les rend visibles : Laisser pénétrer la lumière dans la pièce. » (Larousse, Le Petit Larousse illustré, 2013). On peut aussi donner l'exemple inverse qui consiste à définir l'architecture par la lumière, « L'architecture est le jeu savant, correct et magnifique des volumes assemblés sous la lumière » (le Corbusier). Pour ainsi dire qu'il n'y a pas de réponse complète à la question de la qualité de l'éclairage ou de lumière, car cela dépend de plusieurs facteurs qui sont déterminés par les attentes des usagers de l'espace et les expériences passées, de l'individuel des usagers ; comme il y a aussi l'impact indirect du bagage culturel et émotionnel des gens qui utilisent l'espace en question. Par exemple les gens dans qui habitent les villages reculés des pays en développement ont des attentes différentes et leurs attitudes envers l'éclairage sont totalement différentes que celles des habitants des grandes villes tel que New York, Londres ou Paris. La même problématique est également posée avec les différences individuelles, quand il s'agit de déterminer si l'éclairage est confortable ou pas, car dans ce cas aussi on peut constater clairement l'impact des différences culturelles entre les individus. Le confort visuel est lui aussi influencé par cette variable culturelle, car des recherches menées par Boyce, ont démontré dans un cadre de investigations que ce qui est considéré comme un environnement lumineux confortable pour un groupe interrogé peut être désagréable et considéré comme inconfortable par un autre groupe dans le même espace de travail (Boyce, et al., 2003). La conclusion du travail de Boyce été qu'il est très compliqué d'évaluer directement la qualité de l'éclairage et que cette dernière ne peut pas se résumer à de simples valeurs de niveaux d'éclairement qu'il faut assurer sur le plan de travail, mais qu'il existe plusieurs autres facteurs qui sont des facteurs clés, à travers lesquels on détermine la qualité visuelle et là il nous donne des exemples de ces facteurs qui sont selon lui des facteurs déterminants. Le facteur uniformité d'éclairement, le facteur distribution des luminances, ou aussi les caractéristiques de couleur de la lumière et de l'éblouissement, Ces derniers ont aussi fait l'objet de confirmation de l'implication dans l'évaluation de la qualité lumineuse par le travail de (Veitch & Newsham, Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction, and comfort, 1998). D'après les résultats des travaux cités ci-dessus on peut dire donc que la qualité de la lumière peut être évaluée selon deux aspects*

principaux, le premier est l'aspect visuel qui consiste à mesurer le niveau de confort visuel et de performance requis pour nos activités, le second est l'aspect psychologique. Il peut également être évalué sur des bases qualitatives par les niveaux d'agrément offerts aux usagers par un certain environnement lumineux et son adaptation au type de local et de l'activité à faire dans cet espace. Il y a aussi d'autres effets à long terme de la lumière sur notre santé, qui sont liés soit à la fatigue de nos yeux causée par un mauvais éclairage encore une fois lié à des aspects visuels ou à des aspects non visuels, les effets de la lumière sur le système circadien humain (Brainard, et al., 2001; Cajochen, et al., 2005).

### 2.2.2. Les phénomènes de physique de lumière

Lorsque la lumière rencontre un obstacle, des interactions apparaissent entre elle et la matière aboutissant à de nombreux effets qui sont mis en évidence selon que la lumière est renvoyée, transmise ou absorbée et selon la taille de l'objet rencontré. Ces interactions, qui transforment la lumière, nous permettent de voir les objets ; lorsque les effets provoqués par un phénomène optique sont perceptibles, ils participent à la composition des effets visuels. L'absorption est un phénomène correspondant à la capture de photons par la matière ; lorsque la lumière rencontre un objet, cette dernière absorbe l'énergie contenue dans les photons constituant la lumière. L'absorption varie en fonction des propriétés du corps/matière ; elle peut être maximale (surface noire), partielle (pour le reste des couleurs), ou minimale (surface blanche) ; mais, dans tous les cas, elle se traduit par l'échauffement de la masse de cette matière ou par production d'un courant électrique. (Voir figure 1.2).

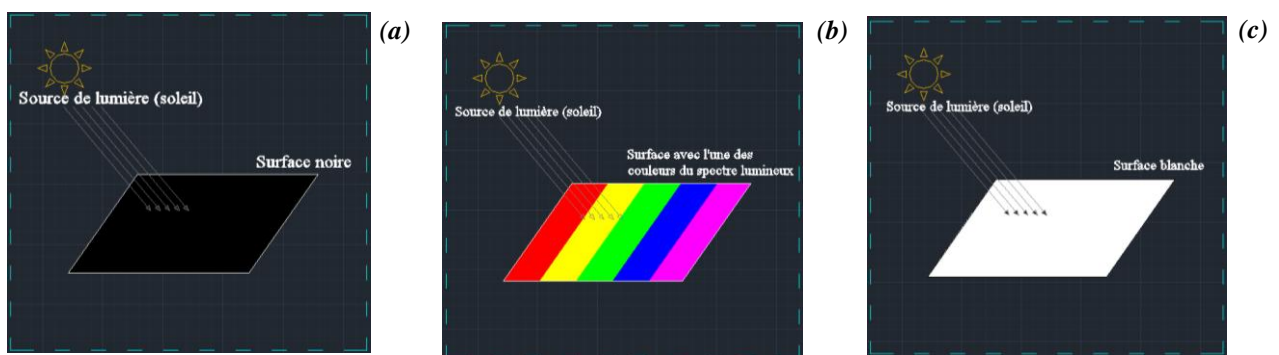


Figure 1.2 : phénomènes physiques : a (Absorption maximale) ; b (Absorption partielle); c (Absorption minimale) (Source : Born & Wolf, 2013)

La réflexion est un autre phénomène se produisant au moment de l'interaction entre la lumière et la matière ; la réflexion consiste à faire redistribuer dans une ou plusieurs directions et dans le même côté, l'énergie d'un rayon reçu par une surface plus au moins opaque. La réflexion obéit aux lois de Snell-Descartes et dépend de la qualité de l'interface ; elle est dite "réflexion spéculaire" quand la lumière est renvoyée selon un angle de réflexion égal à l'angle d'incidence

du rayon lumineux (Born & Wolf, 2013) ; elle est dite "réflexion diffuse parfaite" quand la lumière réfléchie est distribuée dans toutes les directions ; elle est dite " réflexion diffuse quelconque " quand la lumière se répartit de manière aléatoire et elle est dite " réflexion mixte" quand la lumière est réfléchie de manière diffuse mais privilégie quand même une direction précise. (Voir figures 1.3).

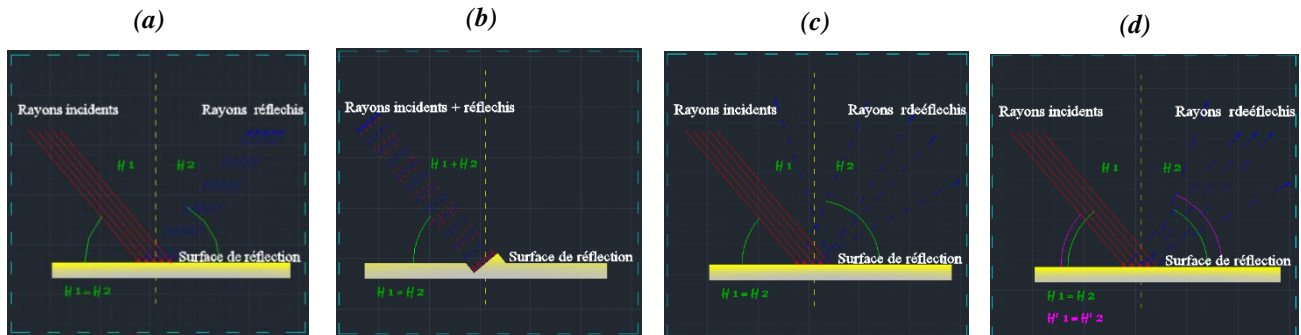


Figure 1.3 : Matière et phénomène lumineux : a (La réflexion spéculaire) ; b (la réflexion diffuse parfaite) ; c (La réflexion diffuse quelconque) ; d (La réflexion mixte) (Source : Born & Wolf, 2013)

La réfraction est également un autre phénomène se produisant au moment de l'interaction entre la lumière et la matière. La réfraction consiste à faire changer la direction et la vitesse d'un rayon lumineux lorsqu'il passe obliquement au niveau du dioptre, d'un milieu transparent à un autre. Comme la réflexion, elle suit aussi les lois de Snell-Descartes ; lorsqu'un rayon lumineux est réfracté, il existe un rapport constant entre le sinus de l'angle d'incidence et le sinus de l'angle de réfraction. Ce rapport est appelé l'indice de réfraction du second milieu traversé par rapport au premier. Ce phénomène permet de dévoiler les différentes couleurs du spectre lumineux en faisant décomposer la lumière blanche, selon différents angles, lors de son passage par le prisme. La diffraction consiste à faire dévier la trajectoire rectiligne des ondes lumineuses lorsqu'elles rencontrent un obstacle sous forme de lames pointues ou contenant des fentes étroites dont les dimensions sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde. Chaque point de l'obstacle diffuse l'onde qu'il reçoit et la densité de l'onde n'est pas conservée selon les lois de l'optique géométrique. La diffraction d'une onde lumineuse dépend du rapport entre sa longueur d'onde et la taille de l'obstacle. (Voir figures 1.3).

### 1.2.3. Les grandeurs photométriques de la lumière

La photométrie est la science de l'éclairage. Elle s'appuie sur la physique de la lumière et sur la physiologie de l'œil. Afin de comprendre le comportement physique de la lumière il est fondamental de connaître quelques notions de base qui caractérisent cette dernière tel que : (voir figure 1.4).

A- Le flux est composé par l'ensemble de la "puissance utile de la lampe " qui est fourni par la source lumineuse (de la lampe). Son unité est le Lumen (lm). Le flux des sources est fourni par les fabricants.

B- L'intensité lumineuse est le "rayon lumineux" qui sort du luminaire dans une direction donnée (intensité directe vers le bas, indirecte vers le haut). Son unité est la Candela (cd). La façon dont se répartissent les rayons lumineux, et la valeur de chacun d'eux dépendent de la "Courbe photométrique" du luminaire (de sa conception optique). Cette courbe est fournie par Lumiance : les fabricants des luminaires.

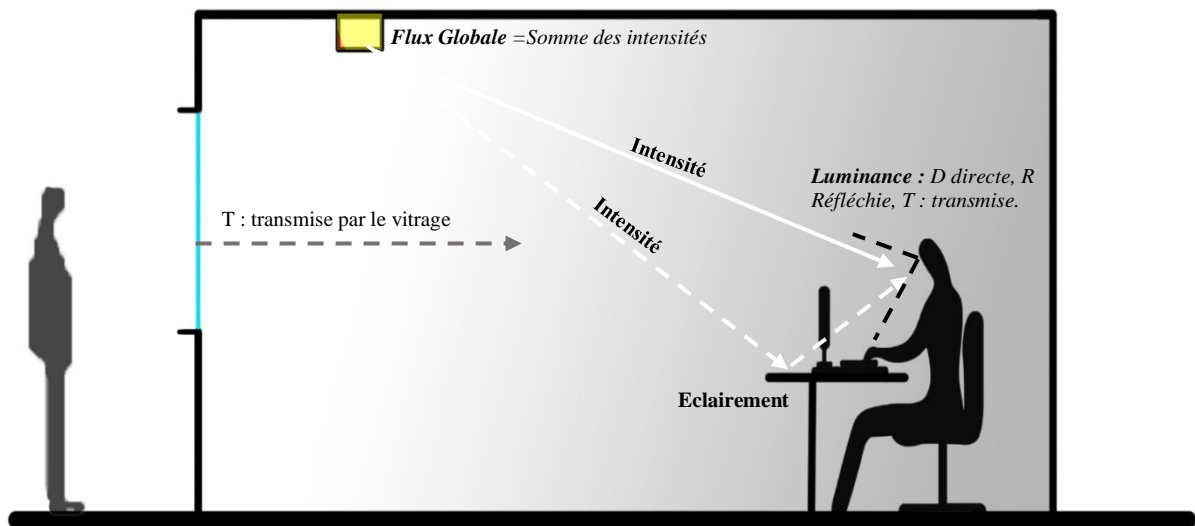


Figure 1.4 : Représentation des grandeurs photométriques Flux, éclairement, luminance (source : Auteur)

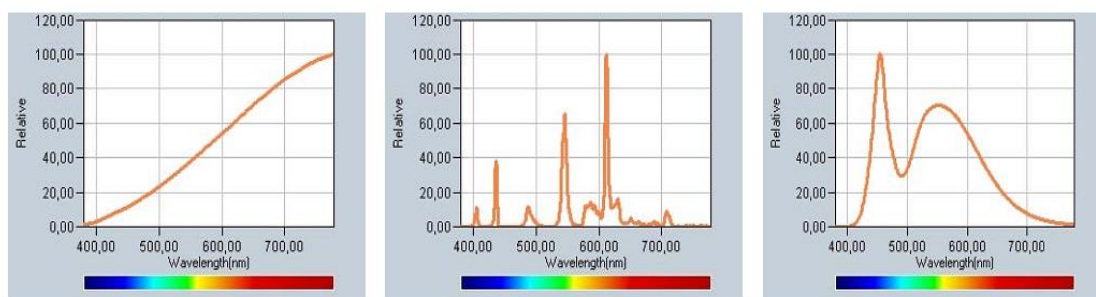
C- L'éclairement est la quantité de flux qui arrive sur une surface donnée. Son unité est le lux (lx). L'éclairement est généralement mesuré sur une surface plane (bureau, mur, chaussée, façade...) au moyen d'un luxmètre. Les éclaircements sont fixés en fonction de l'activité qui est exercée dans le local (valeur de base à corriger : âge, fatigue, ...). C'est généralement l'outil réglementaire (voir la section 1.4.1, tableau 1.1).

D- La luminance est la partie de la lumière qui arrive dans l'œil. Son unité est la candela par mètre carré (cd/m<sup>2</sup>). Les luminances primaires sont causées par des sources lumineuses, les luminances secondaires sont causées par des réflexions (sur un bureau...) ou transmission (à travers un vitrage ...). La luminance sert à caractériser des contrastes et aussi à quantifier la fatigue et l'éblouissement.

#### 1.2.4. Les caractéristiques colorimétrique de la lumières

Les caractéristiques de la couleur de lumière dans l'espace sont déterminées par la répartition spectrale énergétique (SPD) de la source de lumière et les propriétés de réflectance de la surface de la pièce. La couleur de la lumière source est généralement décrite par deux propriétés, à

savoir la température de couleur corrélée (CCT) et indice général de rendu des couleurs (IRC). L'aspect des couleurs d'une source de lumière est évalué par sa température de couleur corrélée (CCT). Par exemple, les lampes à incandescence par des (CCT) de 2700 K ont une apparence de couleur jaunâtre et leur lumière est décrite comme chaud. Certains types de lampes fluorescentes ou (LED) blanches ont (CCT) de l'ordre de 6000 K avec une apparence de lumière blanche. Le (IRC) des mesures (CIE) combien une source de lumière donnée rend un jeu de couleurs test par rapport à une source de référence de la même température de couleur corrélée que la source de lumière en question (CIE, 2004). Le (CRI) générale de la (CIE) est calculé comme la moyenne des CRI spécial pour huit couleurs d'essai. La source de lumière de référence est radiateur de Planck (source de type à incandescence) pour les sources de lumière avec (CCT) dessous de 5000 K et une forme d'une source de lumière pour des sources lumineuses avec TDC-dessus de 5000 K. Des niveaux supérieurs de CRI générale, indique un bon rendu des couleurs d'une source de lumière, la valeur maximale étant 100. La (CIE) générale (CRI) a ses limites. Des problèmes dans le calcul du (CRI) peuvent être rencontrés lorsqu'il est appliqué à des sources lumineuses à de types (LED) en raison de leurs spectres pointus (voir Figure 1.5). C'est pour cette raison que la (Schanda, 2007) recommande le développement d'un nouveaux index de rendu de couleur (ou un ensemble de nouveaux indices rendu des couleurs), qui devrait être applicable à tous les types de sources de lumière, y compris les (LED) blanches. L'effet Kruithof (1941) décrit les effets psychologiques de préférences. Il suppose que les faibles(CCT) sont préférés à basse éclairements et des niveaux élevés de TCE sont adapté pour des niveaux élevés d'éclairements (Kruithof & Andries, 1941). Il est évident que les préférences de température de couleur sont généralement influencées par la culture et au climat lumineux de l'usager, ces préférences dépendent aussi des pratiques d'éclairage en vigueur dans différentes régions ( (Kunugi, Mann, Miller, & Exstrom, 1998).



**Figure 1.5: Spectre lumineux de trois sources lumineuses les lampes à incandescence par des CCT de 2700 K/ LED blanches ont CCT de l'ordre de 6000 K (Source : Kunugi, Mann, Miller, & Exstrom, 1998)**

### **1.2.5. Usagers et l'évaluation de la lumière**

Ce que nous voyons dépend non seulement de l'image qui est focalisée sur la rétine, mais aussi également sur l'intelligence qui interprète cette image. L'interprétation que nous faisons de l'environnement visuel dépendra non seulement de notre capacité visuelle pour l'inscription de l'image, mais aussi sur l'intelligence de faire cette interprétation.

### **1.3. La performance visuelle**

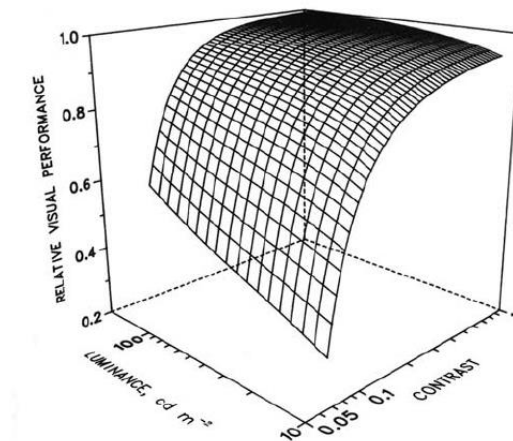
L'utilisation de la lumière naturelle offre un bon nombre d'avantages, liés à la santé humaine, la productivité et aussi à l'économie énergétique du bâtiment (Boyce, 2003; Boyce, et al., 2003) Toutefois si cette lumière naturelle est bien conçue, car le but d'une bonne conception est la mise en valeur de l'espace de travail en particulier « la tâche visuelle », en réduisant l'éblouissement, et en créant des ambiances lumineuse de travail agréable à l'intérieur au sein de l'espace de travail. Cet environnement lumineux bien conçu auras des effets positifs sur l'humeur des occupants ainsi que leur productivité. Cependant la lumière naturelle toute seule ne suffit pas car il ne suffit pas de faire entrer la lumière naturelle dans le bâtiment, il faut prendre quelque précaution lors de la conception des fenêtres, car si la lumière est accompagnée d'une tache solaire, cela peut créer des éblouissements à l'intérieure de l'espace, et il y a aussi des risques de surchauffe en été. Et cela va créer une insatisfaction des utilisateurs, des occupants de l'espace, des usagers, et auras aussi des retombées négatives sur l'humeur et la productivité. En outre, les recherches menées par (Veitch & Newsham, 2000) dans le but d'évaluer la performance visuelle ont indiqué que l'éclairage n'est pas aussi important que cela pour la performance visuelle, et que l'impact de ce dernier sur la performance est extrêmement faible. Paradoxalement, un certain nombre de chercheurs suggèrent que plus de travail doit être fait pour examiner les effets de la lumière du jour sur la productivité. En outre, la série des études de la performance visuelle menées par (Rea & Ouellette, Relative visual performance: A basis for application, 1991) ou celles menées par (Hopkinson, 1972; Wienold & Christoffersen, 2006) ont tous établi une relation entre l'éclairage de la tâche de travail, le confort, la visibilité et de performance visuelle. Ces recherches ont démontré aussi que l'éclairage de manière général et l'éclairage naturel de manière spécifique affectent la productivité humaine, et peuvent affecter aussi les sensations humaines à travers trois systèmes qui sont : le système visuel, le système perceptif et le système circadien (Boyce, Hunter, & Howlett, 2003). 'Systèmes de horloge interne ', Cette recherche désigne le système visuel et perceptif, mais n'aborde pas le système circadien d'une manière directe. Ainsi pour conclure, on peut donc dire que les tâches visuelles exigent une bonne perception du contraste, une bonne luminosité pour la vision des détails et surtout un bon environnement lumineux, avec un faible



niveau d'éblouissement et que la tâche visuelle dépend de la taille la source lumineuse, du contraste et les niveaux d'adaptation au sein de l'espace tâche et aussi des composantes des objets de tâche à accomplir. La dernière composante est représentée par les conditions d'éclairage dans l'espace et le sujet lui-même.

### **1.3.1. Modèles relatifs de performances visuelles**

Vu qu'un bon nombre de facteurs qui influent sur la visibilité peut être facilement mesuré et quantifié, Rea s'est basé sur ce constat afin de développer un modèle de performances visuelles. Ensuite ses associés ont développé le 'Visual Relative Performance' (RVP) (voir figure 1.6) composé de trois axes, qui sont : La taille de la tâche visuelle, la luminance du fond 'l'éclairage rétinien mesuré' et le contraste de luminance. En plus des ajustements apportés qui représentent la variable d'âge de sujets (Rea, 1981; Rea, 1986; Rea & Ouellette, 1988; Rea & Ouellette, 1991; Rea, Ouellette, & K, 1990).



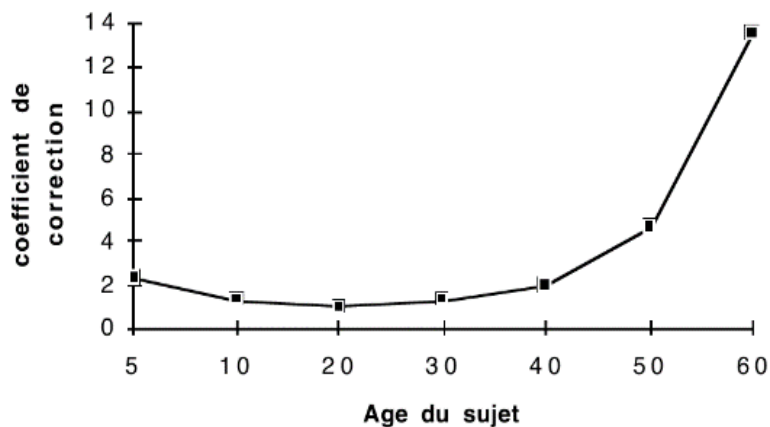
*Figure 1.6: Modèle de performances visuelles (source: Rea, 1986)*

L'objectif des modèles de 'Visual Relative Performance (RVP)', est de prédire la performance de la tâche visuelle, pour les tâches qui demandent des exigences visuelles importantes, avec un niveau d'éclairage artificiel très élevé sur le plan de travail, car dans ce modèle, l'étude n'a pas été validée dans le cas d'usage de l'éclairage naturel. Car pour le développement de ce modèle, un total de 64 conditions de configurations lumineuse ont été testés (16 contrastes allant de 0,09 à 0,9 et quatre luminances de fond comprise entre 12 à 169 cd / m<sup>2</sup>. Les Études ont été menées sur avec des sujets jeunes et adultes qui ont une excellente vision. Donc la variable de l'âge a été suggérée mais pas directement testée. Les conclusions de Rea ont été résumées sous format graphique dans une représentation en trois dimensions visuelles, à partir de ce graphique on peut lire que pour l'amélioration des performances visuelles il faut de plus en plus d'éclairage, (voir figure 1.6). Le modèle à trois axes des performances visuelles développé

par (Rea, 1986), a été un outil certes indépassable pour l'évaluation des performances visuelles, mais il présentait deux grands inconvénients, le premier a été que model ne pouvait pas traduire adéquatement la performance globale de la tâche en fonction de type de la tâche et se limitait uniquement aux tâches de bureaux. Le second inconvénient du modèle est qu'il se limite à évaluer les performances, uniquement sous un éclairage artificiel et qu'il est inutilisable dans le cas d'un espace à éclairage naturel.

### **1.3.2. Impacts des facteurs âge sur la performance visuelle**

La performance visuelle diminue avec l'âge, car les yeux ont besoin d'un temps plus long pour l'adaptation et la mise au point, parce que la lentille devient plus rigide et moins souple, de plus en plus sensibles à l'éblouissement.



*Figure 1.7: Relation entre l'âge des usagers et la performance (source: Rea, 1986)*

D'après le graphe de la figure 1.7 on constate que, avec le temps 'l'âge augmente' les personnes qui ont une vision normale ont besoin d'un niveau plus élevé d'éclairage afin d'exercer leurs tâches avec une performance optimale, donc le facteur âge a un impact direct sur le niveau d'éclairage exigé par l'utilisateur.

### **1.3.3. Impacts de l'éblouissement sur les performances visuelles**

La hausse des niveaux d'éclairage n'engendre pas automatiquement une hausse de la productivité des usagers de l'espace architectural et parfois même avec la présence de peu d'éblouissement peut entraîner une baisse significative des performances visuelles et de productivité. Il existe deux principaux types d'éblouissement : l'éblouissement d'inconfort et l'éblouissement d'invalidité. L'éblouissement d'inconfort se rapporte directement au type d'éclairage latéral ou zénithal il est beaucoup plus lié à la position de la source d'éclairage. En outre l'éblouissement d'invalidité est causé par la réflexion de la lumière dans l'œil (Van Den Berg & Tan, 1994), la lumière artificielle est généralement la principale source de ce type



d'éblouissement, et donc une bonne installation d'éclairage artificiel qui prend en considération la disposition et forme des luminaires, peut créer ou éviter ce type d'éblouissement. Ces dernières années, plusieurs méthodes de calculs d'indices d'éblouissement ont été proposées afin d'estimer l'effet de la luminance et les niveaux de contrastes sur les éblouissements ressentis par l'utilisateur (Vos, 2003). Bien que l'éblouissement, a été étudié à la base afin d'améliorer les conditions de sécurité, tel que dans l'éclairage routier de nuit ou aussi dans les milieux de l'aviation, que pour les mesures de la productivité. Il est donc devenu plus qu'indispensable d'étudier l'éblouissement d'invalidité qui joue un rôle dans l'évaluation de la performance de la tâche visuelle dans les espaces architecturaux de manière globale et dans les bureaux de manière spécifique.

#### **1.4. Le confort visuel**

Comme nous l'avons évoqué précédemment (voir la section 1.1.2.). L'étude menée par (Boyce, 2003) a défini cinq paramètres du confort visuel qui sont : la taille visuelle, le contraste de luminance, la différence de couleur, la qualité de l'image rétinienne et l'éclairement rétinien. Ces paramètres sont importants afin de déterminer la mesure dans laquelle le système de visualisation est capable de détecter et d'identifier le stimulus lumineux. Cette étude a aussi démontré qu'il y a un certain nombre de facteurs liés à l'éclairage qui peut causer l'inconfort visuel. Les recommandations d'éclairage intérieur actuelles donnent des gammes de valeurs d'éclairement pour différents types d'espaces et d'activités (IESNA, 2000). Les recommandations et les directives concernent principalement l'élimination de la gêne visuelle, mais le concepteur peut intervenir pour améliorer le confort visuel. Les causes de l'inconfort visuel peuvent être résolues par une lumière très faible ou peu forte, une distribution lumineuse non homogène causée par des variations importantes des niveaux d'éclairement entre les différentes surfaces d'un même local, l'éclairage trop uniforme, l'éblouissement, les reflets voilants, les ombres trop fortes.

##### **1.4.1. Le niveau d'éclairement optimum**

Vu que la notion de niveau d'éclairement optimum varie fortement et le fait que ce dernier dépend d'une manière directe de la tâche à accomplir, complique fortement sa définition et ajouté à cela, les valeurs de l'éclairement optimum sont mis à jour en permanence pour tenir compte de l'évolution des techniques ne mesure pas ces dernières. Actuellement cette notion est définie par la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) sous la forme d'un "éclairement moyen à maintenir" dont voici quelques valeurs recommandées par l'Association Française de l'Éclairage (AFE), (voir le tableau 01).

Tableau 1.1: Niveaux d'éclairage recommandés pour quelques tâches visuelles (source: AFE, 2008)

Valeurs d'éclairage moyens à assuré	
Voie de circulation ' espace intérieure'	125 lux
Hall d'accueil	250 lux
Bureaux 'travaux généraux' et bibliothèques	420 lux
Bureaux travail sur écran	350 lux
Salle de classe	325 lux
Salle de dessin	850 lux
Mécanique générale	425 lux

### 1.4.2. Proportions de la tâche visuelle

La taille de la tâche visuelle est la mesure d'après l'angle de vue prouvée par l'observateur et aussi de la distance qui le sépare de la tâche visuelle à exercer voir (Figure 1.8).

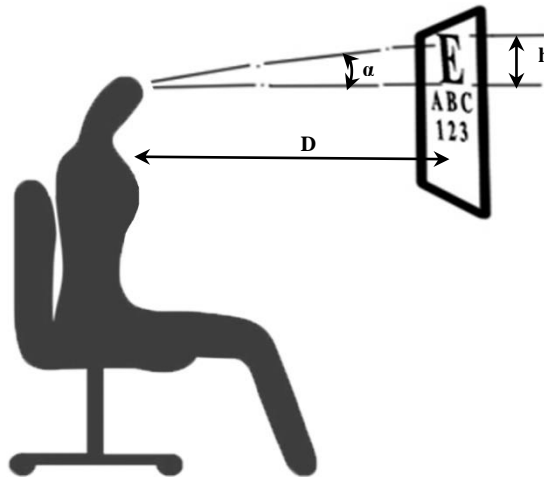


Figure 1.8: Angles de vision (source: Egan, 1986)

Les recherches menées par (Eden, 1986) on définit des rapports mathématiques qui normalisent, les distances entre l'œil humain et la tâche visuelle, ce qui détermine la taille de la tâche visuelle.

Ces rapports sont exprimés par la formule suivante :

$$a = 57.h.D \quad \text{où :}$$

$h$  = Hauteur de 'l'objets de la tâche'

$D$  = la distance entre 'l'objet' et l'œil

Il est important de signaler que cette formule n'est valable que dans le cas des distances exprimées en pieds.

### **1.5. L'adaptation visuelle a l'environnement lumineux**

Il a été prouvé scientifiquement que l'être humain adopte plusieurs stratégies afin de s'adapter à son environnement, physique et physiologique, et cela par plusieurs manières, dans le sens qu'il y a des changements physiques dans le corps 'les changements internes ' face par exemple au stress ou à la satisfaction. On peut définir l'adaptation visuelle par la possibilité de l'œil humain de régler la sensibilité du système visuel à des variations des niveaux d'éclairage moyen de l'environnement lumineux environnant, elle modifie la sensibilité à la quantité de lumière, ou aux changements contrastés aussi. Par exemple, par une journée ensoleillée, si nous regardons à l'intérieur d'une pièce on la trouve sombre, mais dans le cas inverse quand nous arrivons à l'intérieur et donnons à nos yeux le temps de s'adapter à la pièce sombre, les choses semblent lumineuses. Donc l'adaptation visuelle joue un rôle très important dans le processus de la perception visuelle et change notre appréciation de l'espace architectural. L'adaptation modifie la sensation en changeant à la fois la luminosité apparente et aussi le degré d'inconfort. L'œil humain peut réagir à une gamme de luminance de moins de 10,000 fL (équivalent à la luminance de la neige). Mais ne peut pas voir l'ensemble de cette gamme à un niveau de l'adaptation.

### **1.6. Le système visuel humain**

Notre système visuel comprend à la fois l'œil et le cerveau car ces deux organes doivent travailler ensemble pour générer une image de la scène sur rétine, pour ensuite être interprétée par le cerveau (Boyce, 2003). Donc la performance visuelle ne dépend pas seulement des caractéristiques de la tâche visuelle mais aussi des caractéristiques physiologiques du système visuel de l'utilisateur. "Le système perceptif reprend qu'une fois que l'image de la rétine a été traitée par le système visuel " (Boyce, 2003) Boyce a conclu que lorsque la luminance augmente la qualité de l'image rétinienne est plus nette. Boyce a aussi constaté que l'âge de 30 ans est un âge critique pour le système visuel, car à partir de cet âge, le système visuel humain commence à se dégrader et après les 45 ans, la dégradation de ce dernier devient très significative. L'âge n'est pas le seul paramètre qui influe le système visuel humain, mais il faut aussi prendre en considération d'autres paramètres physiques, tel que : le niveau de l'éclairage, le contraste, etc., qui affectent eux aussi la capacité à effectuer des tâches et peuvent aussi dans certains cas compromettre les résultats expérimentaux de l'évaluation des tâches performances.

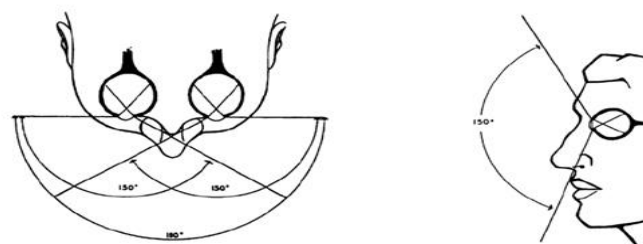
### **1.7. Le processus visuel**

Notre vision ou capacité de voir est le processus de la façon dont notre cerveau perçoit les informations à travers nos yeux, qui est aussi appelé la perception visuelle. Il y a deux aspects qui composent la perception visuelle : le premier est l'aspect biophysiques (notre œil comme

organe humain), le second aspect est d'interprétation internes (comment notre esprit traite les données) de l'environnement extérieur.

### **1.7.1. L'aspects biophysique de l'œil**

Les yeux sont un outil visuel très complexe est très important à la fois. Car ils sont le premier à recueillir les informations à partir du monde extérieur. L'ensemble du processus commence à partir de la cornée et le cristallin qui reçoivent et concentrent la lumière provenant du monde extérieur sur la rétine, qui transmet l'impulsion vers le cerveau par le nerf optique. Sous différentes conditions de luminosité, l'iris contrôle la taille de la pupille et admet la quantité optimale de lumière dans l'œil. L'iris réduit la taille de la pupille quand il est fait clair, et vice versa. L'aptitude de l'œil pour contrôler la quantité de lumière entrant dans la rétine est appelée adaptation. La rétine est constituée de bâtonnets et les cônes sensibles à la lumière. Les bâtonnets sont très sensibles au mouvement et la lumière brillante, ces derniers ne fonctionnent que lorsque les niveaux de lumière sont faibles. On outre, les cônes fonctionnent en pleine lumière, et participent à la perception des couleurs et des détails. La nomination des 'Couleurs' est tirée de l'origine 'cône' la base de la vision diurne, tandis que la vision monochromatique et basée sur les bâtonnets est aussi appelée la vision scotopique. On peut dire donc que la vision humaine 'la sensation visuelle' varie de jour comme de nuit, modifiant ainsi avec elle la netteté de la vision. Car pour la vision scotopique, la réponse visuelle 'pic' se déplace par rapport au niveau de jour de 555 nm, la nuit le 'pic' atteint 505 nm. Il est important de savoir qu'il faut à l'œil à peu près une heure pour s'adapter pleinement à ce changement de longueurs d'onde. L'intensité de la luminosité au niveau de l'œil est un facteur déterminant à la visualisation et à la compréhension de l'espace en trois dimensions. Car l'ordre de disposition des plans d'une perspective (premier plan ou arrière-plan) est interprété par l'œil selon les différences de luminosité constatée dans un angle solide de 60 degrés autour de l'axe de la vision fovéale. Ces différences de luminosité déterminent donc la position d'un objet par rapport aux différents plans qui composent la perspective dont il fait partie. A l'inverse de la vision fovéale, le processus d'adaptation de la vision (Heilig, 1992) périphérique varie de manière importante en raison du chevauchement dans les champs de vision des deux yeux (voir la figure 1.9).



*Figure 1.9: Champs visuels humains : (a) Horizontal, (b) Vertical (source Heilig, 1992)*

### **1.7.2. Aspects d'interprétations internes**

Une fois que notre cerveau reçoit les informations du nerf optique, il traite ces données, ce qui nous permet la reconnaissance et la compréhension de notre environnement, après cela interviennent les expériences précédentes, les attentes ou les émotions à l'évaluation de ces images visuelles captées. On peut donner un exemple de ce processus ; dans le cas de l'éblouissement d'inconfort, la nature de l'éblouissement d'inconfort survient en premier quand nos yeux sont adaptés à une faible lumière dans l'ensemble du niveau de lumière, ce qui signifie aussi que notre ouverture de l'iris est grande ouverte pour accueillir plus de lumière entrant dans les yeux. Si la source de lumière d'un point dont la luminosité est sensiblement supérieure à la luminosité globale dans le champ visuel de la vue humaine, cette source d'un point de lumière sera effectivement "un trou" sur la rétine où elle est concentrée. Cela va créer un inconfort visuel à nos yeux.

### **1.7.3. Aspects psycho-physiologiques**

Des études ont montré que les dépressions hivernales peuvent être traitées par photothérapie à 5000 lux, avec des séances de deux heures le matin avec une lumière type lumière du jour. Donc l'être humain est sensible à la variation de l'éclairage solaire et une chute d'exposition à cette dernière peut être source d'angoisse, de stress ou même provoquer des insomnies. Dans les locaux sans fenêtre, les concepteurs créent une modulation de l'éclairage artificiel reproduisant le cycle solaire de la journée pour que les hommes se situent dans le temps. On connaît tous le phénomène de la peur des enfants de l'obscurité, on peut donc dire que la physiologie de la perception des formes chez l'enfant est conditionnée par le processus intellectuel et que ce dernier a une grande importance dans le développement non seulement de l'enfant, mais aussi dans le développement de sa personnalité. Toute la largeur du champ visuel de la vision binoculaire est atteinte à 1 an, mais ce n'est que vers 5 ans qu'ils deviennent automatiques et irréversibles. En vision centrale (vision photopique), l'enfant est plus sensible au papillotement que l'adulte. A trois ans, l'enfant doit savoir reconnaître les couleurs. C'est généralement la sensibilité au bleu qui est la plus tardive, ayant pour conséquence un fonctionnement réduit de l'iris. Pour ce qui est de la couleur, il existe d'importantes variations culturelles. Par exemple: la plupart des sources lumineuses utilisées en Scandinavie sont plutôt à dominante rouge (Température couleurs K faible) alors que celles qui sont utilisées en Europe du sud sont plutôt à dominante bleue (Température couleurs K élevée).

#### **1.7.4. Les aspects visuels externes**

##### **1.7.4. A. Uniformité de la lumière**

L'uniformité de l'éclairage dans l'espace peut être plus ou moins souhaitable en fonction de la fonction de l'espace et le type d'activités. Un espace totalement uniforme est généralement souhaitable car un éclairage moins uniforme peut causer une distraction et de l'inconfort. Les normes et références habituelles d'éclairage fournissent des rapports d'éclairement recommandés entre la zone de travail et de ses environs (IESNA, 2000). La plupart des conceptions d'éclairage architectural sont basées sur la fourniture d'un bon niveau d'éclairement pour la vision de la lumière réfléchi par les surfaces à savoir luminances. Pour l'éclairage de bureau, il est recommandé des rapports de luminance entre la tâche et son environnement immédiat. (IESNA, 2000). La réflectances des surfaces qui composent l'espace est une partie importante d'un système d'éclairage et affecte l'uniformité. L'éclairage de l'ensemble de l'environnement est tout aussi important, non seulement car il donne du caractère à l'environnement lumineux, mais aussi parce qu'il influe la visibilité de la tâches elle-même. L'éclairage général de tout l'espace à l'heure actuelle peut être assuré totalement par deux types d'éclairage : un éclairage totalement naturel ou un éclairage exclusivement artificiel. Néanmoins, de nombreux utilisateurs ont une préférence pour une lumière sélective sur leur propre lieu de travail. Afin d'assurer de bon conditions d'éclairage 'une bonne uniformité d'éclairement', nous devons tenir compte de certaines caractéristiques de l'œil lui-même. L'œil est attiré naturellement vers les choses qui sont très lumineuses ou des choses qui sont nettement différentes du décor général de celles qui composent la scène, Par exemple, des couleurs vives ou des lumières vives attirent l'attention. Donc, il est possible à mettre en évidence une activité visuelle ou une tâche particulière grâce à sa clarté ou à sa couleur en la rendant plus claire ou plus colorée que le reste de l'environnement de l'espace. Les recherches antérieures ont déterminé que la meilleure manière de visualiser un espace de travail est lorsque le poste de travail est plus éclairé et lumineux que son environnement et que ce dernier offre plus de confort lorsqu'il y a une gradation de la luminosité dans l'espace de travail lui-même, lorsque la partie la plus brillante est dans la zone du champ visuel. Il est important d'aussi signaler que le confort dépend également de la distribution de la luminosité générale dans les postes.

##### **1.7.3. B. Le contraste des luminances**

Le contraste est un élément très important dans la procédure de la perception visuelle. Il est une sensation visuelle, la sensation de différence entre les éléments juxtaposés qui composent l'espace, ce dernier est défini par un champ visuel 'celui de l'utilisateur de l'espace' et il ne peut



pas être mesuré directement. Pour percevoir une différence entre deux sensations visuelles, elles doivent être comparées. Le contraste peut être exprimé comme suit :

$$c = \frac{(L_b - L_o)}{L_b} \quad (1)$$

Où  $L_b$  = luminance de la tâche visuelle  $\text{cd/m}^2$

$L_o$  = luminance de l'environnement de la tâche  $\text{cd/m}^2$

La figure 1.10, représente quelques valeurs de luminances mesurées dans un hall de l'hôtel, et les valeurs de contraste correspondantes sont représentées ci-dessous :

$C = \text{Ciel} / = 1/152$ ,  $C = \text{Ciel} / \text{Revêtement sol} = 1/3$ ,  $C = \text{Arbre} / \text{Source artificielle} = 1/275$

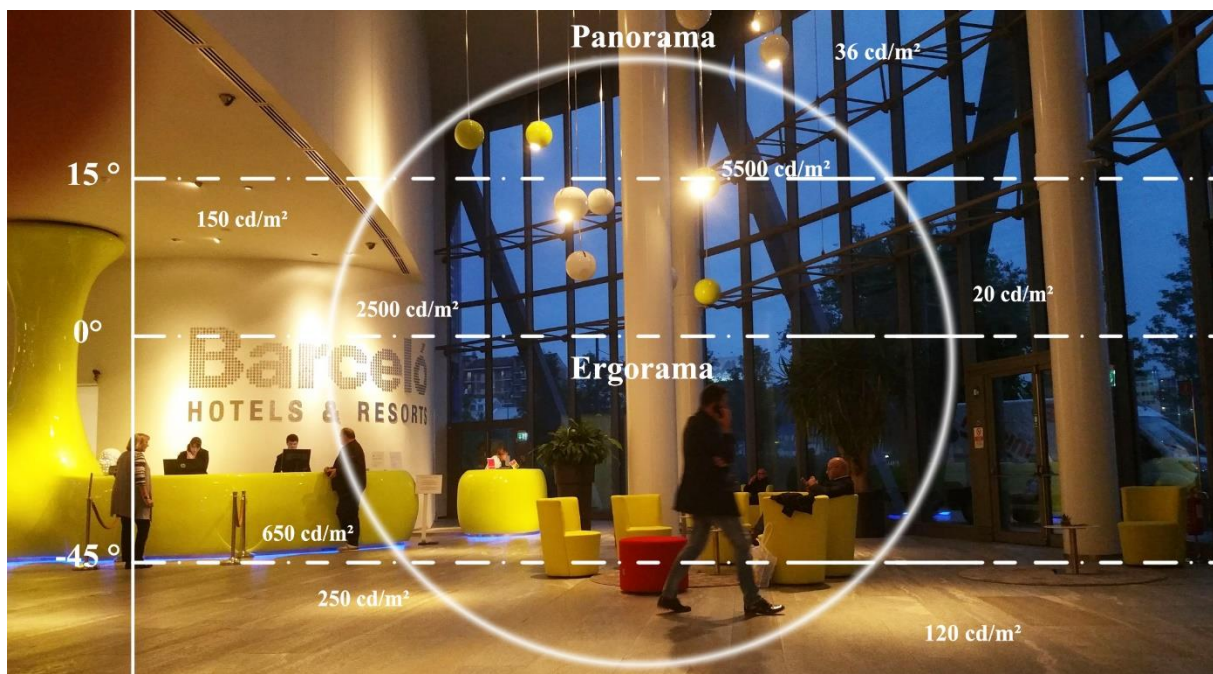


Figure 1.10 : Représentation des valeurs de luminances prise dans le hall de l'hôtel Barcelo, Milan Italie, (source : Auteur)

Un niveau de contraste élevé est recommandé entre l'objet à être consulté 'visualisé' et son entourage immédiat. Le contraste a des effets visuels qui affectent la vision de la taille des lettres, netteté des détails architecturaux et même les limites de l'espace. Il affecte aussi directement le niveau d'adaptation de l'œil.

### 1.8. Les aspects non visuels de la lumière

Dans les paragraphes au-dessus nous avons évoqué le côté visuel et sensible de la lumière, mais cette dernière a aussi d'autres effets qui sont entièrement ou partiellement séparés du système visuel. Ceux-ci sont appelés non visuels, des effets biologiques de la lumière qui affecte directement l'être humain, exactement les photos récepteurs circadienne ( Brainard, et al., 2001; Cajochen, et al., 2005). Grâce à la découverte des troisièmes cellules photorécepteur, cellules ganglionnaires de la rétine intrinsèquement photorécepteur (IPRGC), en 2002, a suscité

un énorme intérêt à la fois dans la biologie circadienne et dans le domaine de recherche de l'éclairage (Berson, Dunn, & Takao, 2002). Le (IPRGC) a été trouvé être le photorécepteur principal responsable pour l'adaptation des êtres humains sur le cycle de la lumière jour / nuit et aussi l'adaptation avec l'environnement lumineux, il a aussi d'autres rôles et effets biologiques. Il représente un maillon important dans la sensibilité à la lumière et la description de cette dernière. Ainsi, la lumière peut être considérée comme un signal externe qui entraîne notre horloge interne et grâce à elle cette dernière fonctionne correctement. L'horloge biologique humaine entraîne les rythmes les plus quotidiens en physiologie et comportement. Ceux-ci comprennent le rythme veille / sommeil, la température du corps, et la sécrétion d'hormones. Elle passe au corps les informations de régulation de la sécrétion de presque toutes les hormones. Il existe maintenant des preuves de l'implication des (IPRGC) dans le réflexe pupillaire, la vigilance et humeur, et dans la performance humaine (Dacey, Peterson, Robinson, & Gamlin, 2003; Duffy & Wright Jr, 2005) là aussi preuve que la lumière de courte longueur d'onde est la plus efficace dans la régulation de l'horloge biologique (Wright, Hughes, Kronauer, Dijk, & Czeisler, 2001). Ainsi beaucoup de recherches et d'enquêtes ont essayé d'influer les comportements de l'utilisateur de l'espace en utilisant une lumière bleutée afin d'avoir une réponse humaine. Un tel comportement de la vigilance et de l'humeur (Mills, Tomkins, & Schlangen, 2007), a été beaucoup étudié, mais le mécanisme expliquant les réactions détectées reste encore incertain. Car les effets biologiques de la lumière et leurs effets sur la performance humaine ne sont pas encore très connus. Une quantité considérable de travaux de recherche sont encore nécessaires avant que nous puissions comprendre les effets non-visuels de la lumière et les utiliser dans la pratique de l'éclairage. Il faut encore d'autres recherches dans ce domaine pour générer une meilleure compréhension de l'interaction des effets des différents aspects de l'éclairage sur les tâches visuelles et le comportement des réponses corticales et sur les effets biologiques de l'éclairage.

### **1.9. Les évaluations subjectives de l'éclairage**

Pour la plupart des praticiens de l'éclairage, l'expression « éclairage psychologie » évoque immédiatement le travail de (Flynn, 1973). Les recherches de Flynn ont été largement documentées et discutées au sein de la communauté de l'éclairage. Dans ses recherches, il a examiné la réponse humaine à l'éclairage en étudiant un tableau d'impressions subjectives liées aux paramètres architecturaux, afin de déterminer laquelle de ces impressions ont été touchées par des changements dans le stimulus d'éclairage. Pour certaines impressions, des changements dans l'éclairage produisent des changements significatifs dans la réponse - impressions tels que espace, la clarté visuelle, la vie privée, de douceur, de détente. En reliant l'éclairage à ces



impressions, Flynn a démontré que l'éclairage de l'espace architectural joue un rôle beaucoup plus important dans l'expérience humaine, et qu'il n'est pas simplement comme un catalyseur de l'exécution des tâches. En plus d'étudier les réactions humaines à l'éclairage, Flynn a également cherché à comprendre la nature du stimulus qui produit ces réponses. Dans cette perspective Flynn a identifié quatre attributs d'éclairage, qu'il a appelé les « modes d'éclairage ». Les modes expriment chacun un changement 'un changement continu', dans l'éclairage entre deux extrêmes. Les modes d'éclairage de Flynn expriment les paramètres de base de l'éclairage que manipulent les concepteurs dans la création des environnements qu'ils désirent - / non uniforme, uniforme / non-uniformes lumineux, central / périmètre, et chaud / froid. L'idée de Flynn était que lorsqu'on modifie le stimulus d'éclairage le long de ces dimensions, on pourrait produire des changements dans la réponse humaine en termes d'impressions qui sont renforcées.

La pratique du travail de Flynn pour les concepteurs d'éclairage résidait dans ses tentatives pour relier les modes d'éclairage pour les réponses subjectives humaines. Pour renforcer une impression particulière dans un espace, un concepteur pourrait se concentrer sur certains aspects des descripteurs de mode d'éclairage dans la conception du système d'éclairage. Par exemple, le concepteur pourrait renforcer un sentiment de relaxation en utilisant un éclairage non uniforme sur les surfaces de la salle de périmètre provenant de sources de lumière d'une tonalité chaude. Un éclairage uniforme sur les surfaces de la salle de périmètre renforce une impression d'espace. Bien que les résultats de recherche de Flynn sont beaucoup plus orientés vers un axe de nature qualitative, de nombreux pratiquants ont trouvé les liens entre les modes d'éclairage et les impressions subjectives pour être une caractérisation utile de la relance et les réponses à l'éclairage qui se déplacent au-delà de l'exécution des tâches.

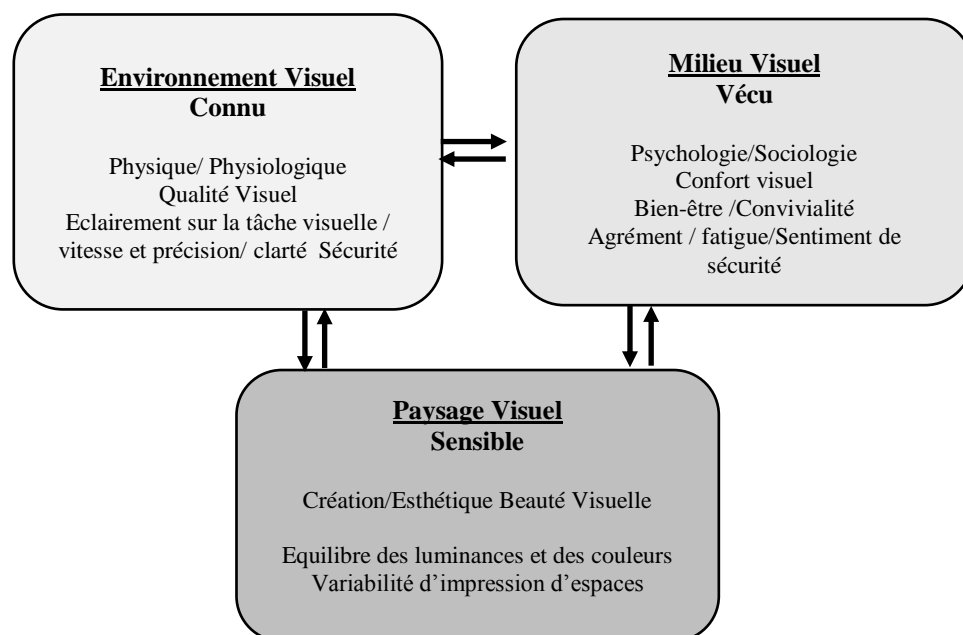
### **1.10. L'ergonomie visuelle**

On peut la définir comme: l'organisation méthodique du travail associée à l'aménagement de l'équipement en fonction des possibilités de l'homme « *Il est utile de préciser que l'ergonomie est un tout, et qu'une approche qui ne prend en compte que la composante visuelle est incomplète. Il est commun de trouver des interactions avec des paramètres de posture, d'acoustique, de thermique... Nous renvoyons chacun à d'autres formations ou aux conseils d'un ergonome* » (Le Petit Larousse illustré, 2015). Pour l'approche visuelle, on peut dire que l'éclairage idéal n'existe pas, il est toujours le résultat d'un compromis entre des données : techniques, culturelles (esthétiques, individuelles, relationnelles, historiques, économiques...), Chaque être humain diffère par sa façon de regarder le monde, il est donc important de prévoir un environnement lumineux variable dans l'espace et dans le temps. Cela

dit, il est souhaitable en plus, que chacun puisse avoir le contrôle de cette variabilité. Le seul outil pertinent pour étudier le confort d'un local est la luminance. Elle seule permet de mesurer les catégories d'éblouissement, c'est à dire la mauvaise répartition des luminances. Malheureusement on a constaté a travers notre recherche bibliographique que dans la plupart des recherches et pour des raisons de rapidité, de matériel, et de coût, c'est souvent l'éclairage seul qui est pris en compte.

### **1.10.1. Différentes approches d'ergonomie**

Malheureusement ces dernière années, les approches in-situ, des phénomènes d'ambiance (thermiques, acoustiques, lumineux...voire olfactifs et tactiles) ont montré leur limite due à la mono-disciplinarité. En effet, le même son ou la même lumière peuvent être ressentis de façons très différentes, voire opposées, selon les sujets, les groupes sociaux, ou les moments. Par exemple : une piste sonore que vous aimez, selon qu'elle est passée sur votre propre chaîne Hi-Fi à un moment qui vous convient, ou sur celle du voisin (donc à niveau bien plus faible) à un moment inopportun, conduira à deux comportements radicalement différents. Aussi un rayon de soleil pénétrant dans votre bureau peut selon le moment vous réjouir ou vous gêner fortement. Même si les conditions de température et d'éblouissement sont identiques, votre humeur ou votre activité induiront fortement cette réaction Il s'agit donc de faire appel à des différentes disciplines pour comprendre la complexité de ces réactions. Différents travaux ont montré que trois approches complémentaires peuvent permettre une bonne compréhension des ambiances architecturales et urbaines : (voir figure 1.11)



*Figure 1.11: Les trois approches proposées à la compréhension des ambiances architecturales et urbaines (Source : Auteur)*

**A-** La première est une approche environnementale, qui privilégie les aspects physiques et physiologiques, et qui constitue l'essentiel du document qu'on a entre les mains, et met en avant le côté fonctionnel des rapports de l'homme au contexte.

**B-** La seconde est une approche médiale (traitant du milieu) qui privilégie les aspects psychologiques et sociaux, et qui met en avant le côté fusionnel des rapports de l'homme au contexte.

**C-** La dernière est une approche paysagère, qui privilégie les aspects sensibles, esthétiques et spatiaux, et qui met en avant le côté perceptif des rapports de l'homme au contexte.

Cette nouvelle grille d'analyse se présente donc sous la forme d'un triangle au sommet duquel nous pouvons positionner nos trois approches. Il faut bien convenir que ces approches varient d'un individu à l'autre et parfois en fonction du moment. Par exemple : l'effet de la mode sur le type d'éclairage utilisé : le "boom" des lampes indirectes à halogènes dans les années 1980, puis dans les années 1990, celui des halogènes miniatures basse tension, ou aussi des (LED) ces dernières années ... ; ce qui nous permet au moins de ne pas considérer l'éclairage comme une approche unique, et de se poser à chaque fois des questions dans ces trois domaines. La démarche pluridisciplinaire est toujours nécessaire pour traiter de notions aussi complexes que celles de confort ou d'ambiance, et des outils de ce type peuvent constituer des garde-fous pratiques, très utiles à étudier des ambiances de manière globale et plus spécifiquement les études de l'éclairage.

### **1.11. La psychologie de l'environnement lumineux**

La recherche de Flynn a porté spécifiquement sur l'éclairage, d'autres chercheurs avec aucun intérêt particulier à l'éclairage ont examiné le large éventail de réponses humaines aux stimuli environnementaux. Dans le champ de la connaissance de l'environnement, on peut citer le travail de (Kaplan & Norton, 2001) qui ont fourni des informations importantes sur la pertinence pour la pratique de l'éclairage. Ces chercheurs ont tenté de comprendre les facteurs qui conduisent la préférence humaine pour un tel ou tel environnement. Un facteur qui a émergé de leur recherche est le désir de donner un sens à notre environnement. Car selon les résultats fournis par Kaplan, lorsque nous sommes exposés à un nouvel environnement, il est très important de trouver un lien cognitif avec l'environnement dans notre mémoire, le fait 'faire le lien' est un objectif principal, il est comme un moyen d'aide à interpréter et à comprendre le nouvel environnement. Souvent, quand nous entrons dans un nouvel environnement qui a beaucoup de similitudes avec d'autres espaces que nous avons vécus. Le haut degré de familiarité provoque une réaction agréable et confortable que nous sommes immédiatement en mesure de donner un sens à cet environnement. D'autres fois, nous entrons dans un espace

inhabituel qui offre une expérience entièrement nouvelle, et on le trouve déconcertant, nous luttons pour donner un sens à cet environnement. Ce besoin fondamental de donner un sens à notre environnement explique à la fois ces expériences différentes.

Selon les recherches de l'Kaplan. Le facteur qui anime notre volonté de donner un sens à notre environnement, est un désir de participation à cet environnement. Nous voulons faire partie de l'environnement, nous voulons qu'il nous invite à l'explorer et à nous engager, nous ne cherchons pas généralement, 'dans des conditions normales' le sens de la complexité et de mystère. Cet objectif sous-jacent de la participation rend certains environnements nouveaux passionnants plutôt que tout simplement bizarres ou écrasants, parfois aussi un environnement très familier semble tout simplement trop intéressant pour nous. Kaplan et Kaplan utilisent deux mots clés afin de caractériser les aspects environnementaux, qui animent notre préférence qui sont : la cohérence et de la complexité.

La Cohérence concerne notre capacité à donner un sens à notre environnement, est-ce que l'environnement nous fournit des indices qui permettent une interprétation correcte ? Y a-t-il suffisamment d'éléments familiers de l'environnement qui nous permettent de faire des liens mentaux avec nos expériences antérieures ? Si nous sommes capables de faire rapidement un lien cohérent avec l'environnement, alors la probabilité que nous allons développer une préférence positive pour l'environnement augmente. Bien que Kaplan et Kaplan étaient des psychologues de l'environnement qui focalisent leurs recherches principalement sur les environnements extérieurs, ils ont reconnu les liens entre la cohérence et les effets de lumière. Considérez cette citation: "*Il est également important que le changement dans la texture ou la luminosité dans le tableau visuel est associé à quelque chose d'important se passe dans la scène. En d'autres termes, quelque chose qui attire l'attention sur la scène devrait se révéler être un objet important ou une limite. . . Si ce qui attire l'attention et ce qui est intéressant de regarder se révéler des propriétés différentes, alors la scène manque de cohérence.*" (Kaplan & Sadock, 1988). Ainsi, l'éclairage contribue à donner un sens à un environnement et augmente fortement sa cohérence, ce qui en fait un espace plus agréable à vivre. Inversement, un changement de luminosité qui est sans rapport avec quelque chose d'important dans la scène visuelle crée un manque de cohérence, il est plus difficile de donner correctement un sens à l'espace, et réduit ainsi la préférence pour l'espace.

La cohérence est essentielle, mais un espace qui est totalement cohérent, mais trop simpliste ne parvient pas à fournir la stimulation et l'implication que nous désirons. Complexité de l'environnement concerne notre désir inné de s'engager, d'être des participants actifs avec notre environnement. Ce lien entre la complexité cognitive et la préférence se produit également dans

le domaine de l'appréciation de la musique. Dans son excellent livre, «'Ceci est votre cerveau sur la musique', Levitin écrit : *«Quand un morceau de musique est trop simple, nous avons tendance à ne pas aimer ça, trouvé trivial. Quand il est trop complexe, nous avons tendance à ne pas aimer ça, trouvé imprévisible - nous ne percevons pas à être ancrés dans quoi que ce soit familier. Musique, ou toute autre forme d'art, d'ailleurs, on doit trouver le juste équilibre entre simplicité et complexité pour que nous l'aimons »*. (Levitin, 2006). Donc, notre désir pour un certain niveau de complexité est vrai pour une large gamme de stimuli, soit-il un morceau de musique ou un environnement architectural. Nous voulons des environnements cohérents que nous pouvons facilement interpréter, alors que dans le même temps nous désirons un niveau approprié de complexité pour nous garder intéressés.

## **Conclusion**

Nous avons vu dans ce chapitre, que l'éclairage joue un rôle très important dans le bâtiment de manière générale, et spécialement dans les bureaux. L'éclairage de ces espaces a connu une évolution très importante ces dernières années avec l'apparition de nouveaux systèmes et techniques liées aux évolutions de monde industriel de l'éclairage. Ce qui a permis à la fois d'assurer une bonne qualité et quantité d'éclairage, qui couvre de grandes surfaces tout en réalisant des gains importants d'énergie en utilisant des lampes basse consommation par exemple. Nous avons pu constater aussi d'après ce chapitre que l'éclairage était plus qu'une composante physique de l'environnement. Mais que ce dernier avait aussi une dimension psychologique et psychophysique, car l'éclairage a un impact sur la perception et l'appréciation de l'espace. Les différents travaux ont montré que trois approches complémentaires peuvent permettre une bonne compréhension des ambiances architecturales et urbaines qui sont : l'approche environnementale, l'approche médiale (traitant du milieu) et la dernière est l'approche paysagère. La conception d'une bonne ambiance lumineuse, de bonnes conditions lumineuses de travail passe par une bonne compréhension des interactions de l'homme avec son environnement car une mauvaise configuration d'éclairage (naturel ou artificiel ou les deux à la fois) peut affecter l'accomplissement de la tâche visuelle demandée par l'utilisateur, et peut aussi causer du stress et de la fatigue et cela engendre une baisse de la productivité et du rendement des usagers dans leurs postes de travail. En revanche, une bonne étude d'éclairage est très complexe à réaliser car, elle doit se faire en deux étapes ; la première est une évaluation de l'environnement physique qui se résume à la prise de mesures in situ 'caractériser l'environnement lumineux', cela peut se faire simplement à l'aide d'outils conventionnels : des luxmètres et des luminances-mètres. La seconde partie et la plus difficile car elle a comme but d'évaluer l'impact psychologique de cet environnement physique mesuré précédemment sur l'utilisateur, cela se fait grâce à des questionnaires, la formulation de ces tests est basée sur des indicateurs, 'des dimensions d'éclairage' dimensions qui ont été ressorties dans des recherches précédentes tel que les recherches de : Flynn ou Kaplan, Norton. Ces derniers ont confirmé aussi dans leurs recherches la difficulté rencontrée pour la compréhension et la caractérisation des interactions existantes entre l'être humain et son environnement lumineux, et ils nous donnent l'exemple d'un rayon de soleil pénétrant dans notre bureau, peut selon le moment nous réjouir ou nous gêner fortement. Même si les conditions de température et d'éblouissement sont identiques. On peut conclure qu'il faut faire appel à des différentes disciplines pour comprendre cette complexité, et qu'une bonne étude d'éclairage passe obligatoirement par une étude multidisciplinaire.

## Références

- Berson, D. M., Dunn, F. A., & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295(5557), 1070-1073.
- Born, M., & Wolf, E. (2013). *Principles of optics: electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light*. Born, Max and Wolf, Emil: Elsevier.
- Boyce. (2003). Lighting for the elderly. *Technology and Disability*, 15(3), 165-180.
- Boyce, P., Akashi, Hunter, Y., Bullough, CM, & JD. (2003). The impact of spectral power distribution on the performance of an achromatic visual task. *Lighting Research & Technology*, 15(3), 141-156.
- Boyce, P., Hunter, C., & Howlett, O. (2003). The benefits of daylight through windows. *Troy, New York: Rensselaer Polytechnic Institute*.
- Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., & d Rollag, M. D. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *Journal of Neuroscience*, 21(16).
- Cajochen, C., Munch, M., Koblalka, S., Krauchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., . . . Wirz-Justice, A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *The journal of clinical endocrinology & metabolism*, 90(3), 1311-1316.
- CIE. (2004). *Ocular lighting effects on human physiology and behaviour*. Vienna: CIE Publ. 158.
- Dacey, D. M., Peterson, B. B., Robinson, F. R., & Gamlin, P. D. (2003). Fireworks in the primate retina: in vitro photodynamics reveals diverse LGN-projecting ganglion cell types. *Neuron*, 15-27.
- Duffy, J. F., & Wright Jr, K. P. (2005). Entrainment of the human circadian system by light. *Journal of biological rhythms*, 326-338.
- Eden, D. (1986). Perspectives: Team Development: Quasi-Experimental Confirmation Among Combat Companies. *Group & Organization Studies*, 133-146.
- Flynn, J. E. (1973). Interim study of procedures for investigating the effect of light on impression and behavior. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 3(1), 87-94.
- Heilig, M. L. (1992). El cine del futuro: The cinema of the future. *Presence*, 279-294.
- Hopkinson, R. G. (1972). Glare from daylighting in buildings. *Applied Ergonomics*, 206-215.
- IESNA. (2000). *Illuminating Engineering Society of North America*. New York: IESNA: The IESNA Lighting Handbook, 9th ed.
- Jacquot, Muriel, Fagot, Philippe, & Voilley, A. (2011). *La couleur des aliments: De la théorie a la pratique*. Lavoisier.
- Kaplan, H. I., & Sadock, B. J. (1988). *Synopsis of psychiatry: Behavioral sciences clinical psychiatry*. Baltimore, MD, US: Williams & Wilkins Co.
- Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2001). *The strategy-focused organization: How balanced scorecard companies thrive in the new business environment*. Harvard Business Press.



- Kruithof, & Andries, A. (1941). Tubular luminescence lamps for general illumination. *Philips Tech. Review*, 6, 65-96.
- Kunugi, Y., Mann, K. R., Miller, L. L., & Exstrom, C. L. (1998). A vapo-chromic LED. *Journal of the American Chemical Society*, 120(3), 589-590.
- Larousse. (2013). *Le Petit Larousse illustré*. Paris: Larousse.
- Larousse. (2015). *Le Petit Larousse illustré*. Paris.
- Levitin, D. J. (2006). *This is your brain on music: The science of a human obsession*. Penguin.
- Mills, P. R., Tomkins, S. C., & Schlangen, L. J. (2007). The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *Journal of circadian rhythms*, 2.
- Rea, M. S. (1981). Visual performance with realistic methods of changing contrast. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 164-177.
- Rea, M. S. (1986). Toward a model of visual performance: foundations and data. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 41-57.
- Rea, M. S., & Ouellette, M. J. (1988). Visual performance using reaction times. *Lighting Research & Technology*, 139-153.
- Rea, M. S., & Ouellette, M. J. (1991). Relative visual performance: A basis for application. *Lighting Research & Technology*, 135-144.
- Rea, M. S., & Ouellette, M. J. (1991). Relative visual performance: A basis for application. *Lighting Research & Technology*.
- Rea, M. S., Ouellette, M. a., & K, D. (1990). The effects of luminous surroundings on visual performance, pupil size, and human preference. *Journal of the Illuminating Engineering Society*.
- Schanda, J. (2007). *Colorimetry: understanding the CIE system*. John Wiley & Sons.
- Van Den Berg, T., & Tan, K. (1994). Light transmittance of the human cornea from 320 to 700 nm for different ages. *Vision research*, 1453-1456.
- Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (1998). Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction, and comfort. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 27(1), 107-129.
- Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2000). Preferred luminous conditions in open-plan offices: Research and practice recommendations. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 32(4), 199-212.
- Vos, J. J. (2003). Reflections on glare. *Lighting Research & Technology*.
- Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and buildings*, 743-757.
- Wright, K. P., Hughes, R. J., Kronauer, R. E., Dijk, D.-J., & Czeisler, C. A. (2001). Intrinsic near-24-h pacemaker period determines limits of circadian entrainment to a weak synchronizer in humans. *National Acad Sciences*, 14027-14032.



# Chapitre 02

## **Introduction**

La corrélation qui existe entre les différents modes d'éclairage et la productivité des occupants de l'espace architectural a été étudiée et prouvée scientifiquement dès le début des années 1920 grâce aux études menées par (Elton, 1920; Weston, 1922). D'après les premiers résultats de leurs recherches, ils ont pu démontrer que la lumière du jour n'influe pas que la productivité des occupants du bâtiment, mais qu'elle a aussi d'autres impacts sur le bien-être et la psychologie des sujets dans l'espace et que ces facteurs 'psychologiques' ont un impact certes indirect sur la productivité mais leur étude est capitale pour assurer le bien-être des usagers. A partir de ces constats d'étude de la lumière, leur exploitation a commencé à intéresser diverses disciplines telles que la psychosociologie, le comportement environnemental et la science médicale. L'intérêt de l'évaluation de l'impact psychologique de l'environnement lumineux sur le comportement humain dans l'espace architectural a été un peu tardif, pour le domaine de l'architecture car les premières études n'ont été réalisées que dans le début des années 70, par Flynn. Le contexte historique du travail de Flynn est très important. Car avant la crise de l'énergie de 1973, le thème de l'ingénierie de l'éclairage se résumait à l'expression « plus de lumière, mieux est la vue » mais le changement soudain, et la focalisation des préoccupations plutôt sur l'utilisation rationnelle de l'énergie, avec les approches très minimalistes. Afin de fournir juste assez de lumière pour voir et accomplir des tâches visuelles et tout ce qui se fait de plus, est considéré comme un gaspillage de l'énergie. A l'époque Flynn craint que l'approche minimaliste des années 1980 limite grandement le rôle plus large de l'éclairage dans les interactions des gens avec des espaces architecturaux. De nos jours on peut constater que les parallèles sont très frappantes, car la tendance environnementale exige aussi une rationalisation de l'énergie, pour une meilleure préservation de l'environnement ce qui pousse à des niveaux de lumière toujours plus bas avec une faible consommation énergétique et un éclairage toujours moins gourmand. En même temps et toujours dans cette même approche environnementale, la psychologie de l'environnement en tant que domaine de recherche a connu elle aussi une croissance très rapide. L'objet de ce deuxième chapitre est de mettre en évidence la préoccupation générale à la fois des architectes et des psychologues de l'environnement, développer de nouveaux outils et méthodes, et surtout un processus adapté afin d'évaluer le degré d'impact de l'environnement bâti sur le bien-être et le confort des usagers. Dans ce chapitre on aura aussi à évoquer les théories psychologiques des différents chercheurs dans le domaine de l'éclairage.

## **2.1. Effets psychologiques de l'éclairage naturel**

Il a été démontré que l'éclairage a un impact psychologique très important, sur la productivité des usagers dans les bâtiments à usage administratif, scolaire ou même culturel, etc. Cette dernière peut avoir des définitions très différentes, et peut aussi être mesurée de diverses façons. Il est important de souligner que dans la majeure partie des premières études qui visaient à évaluer la productivité se concentraient sur la production des travailleurs dans les usines (Weston, 1922), par exemple aussi les travailleurs de la production de cuir (Stenzel, 1962), dans ces études les chercheurs, mesuraient la productivité uniquement par la quantité et la qualité de la production du produit. Par contre dernièrement et vu le développement observé dans les outils et méthodes de travail, le regard des chercheurs s'est beaucoup plus penché vers les employés de bureau au lieu des travailleurs d'usine. Avec ce changement de corpus d'étude, il fallait mettre à jour la méthode qui mesure la productivité, qui jusqu'à présent se résumait uniquement à la mesure du produit fini, par une méthode qui prend en compte les dimensions humaines des occupants de l'espace ainsi que leurs environnement de travail. En outre, la satisfaction des travailleurs dans les divers aspects de situation de travail est reconnue comme une considération importante du rendement (Wineman, 1982). Même si une causalité entre la satisfaction et la performance au travail dans des bureaux n'a pas été démontrée (Sundstrom, Burt, & Kamp, 1980), certaines études ont montré que pour les employés de bureaux, leur satisfaction personnelle est liée à l'environnement de travail, ce dernier a des impacts sur leur rendement au travail (Farrenkopf & Roth, 1980; Harris, 1978; Manning, 1995). Même si on ne peut nier l'importance de la motivation et de la relation de travail, il peut aussi n'y avoir aucun doute sur l'influence de la lumière du jour. De nombreux chercheurs ont rapporté que la lumière du jour est un facteur important lié à notre satisfaction avec l'environnement physique qui nous entoure (Elder & Tibbott, 1981; Wineman, 1982; Ne'eman, 1984) ; l'étude pilote sur la réponse des employés de bureau de l'éclairage et de la lumière du jour a révélé des corrélations entre la lumière du jour et la satisfaction et la productivité espace et travailleur. (Goodrich, 1982) a montré que les travailleurs dont le lieu de bureau était plus proche de fenêtres notaient la qualité de l'éclairage plus élevée que ceux situés plus loin des fenêtres. Il a fait valoir que la couleur, la température, la variation, la texture, et l'ambiance de la lumière naturelle sont importants, mais trop souvent facteurs négligés de la lumière du jour. On peut aussi citer l'étude de (Boyce, 2003) qui a démontré que les niveaux d'éclairement plus élevés dans la partie éclairage naturel du supermarché ont amélioré la visibilité de la marchandise, ou parce que le "message" délivré par le plafond plus élevé et la variation de la lumière du jour fait appel aux clients (Boyce, 2003). Plusieurs entreprises, comme (Pennsylvania Power and Light), et le Bureau 'Reno Post',

tous ont signalé une augmentation de la productivité des travailleurs lorsque les conditions d'éclairage générales ont été améliorées.

## 2.2. Procédure des réponses au stimulus physique lumineux

### 2.2.1. Les trois modèles de Flynn, Kaplan et Kaplan et Russell

Il existe trois différentes théories fréquemment utilisées par les chercheurs qui expliquent le procédé de réponses au stimulus environnemental, la première est celle proposée par Flynn, il explique que 'la sensation' est la chose à travers laquelle il nous définit une réponse 'une description' vécue sous un mode d'éclairage, lié à la réponse humaine d'impressions subjectives des environnements. Par contre Kaplan et Kaplan la définissent 'la sensation lumineuse' comme réponse de préférence qui semble être liée à des stimuli environnementaux qui sont à la fois cohérents et complexes, nous pouvons leur donner un sens et ils sont assez intéressants pour susciter notre implication. La dernière définition est celle de Russell qui l'explique comme une réponse émotionnelle primaire à des stimuli qui apparemment animent nos évaluations de tout environnement, que nous intégrons une réponse sur les dimensions de plaisir et l'excitation.

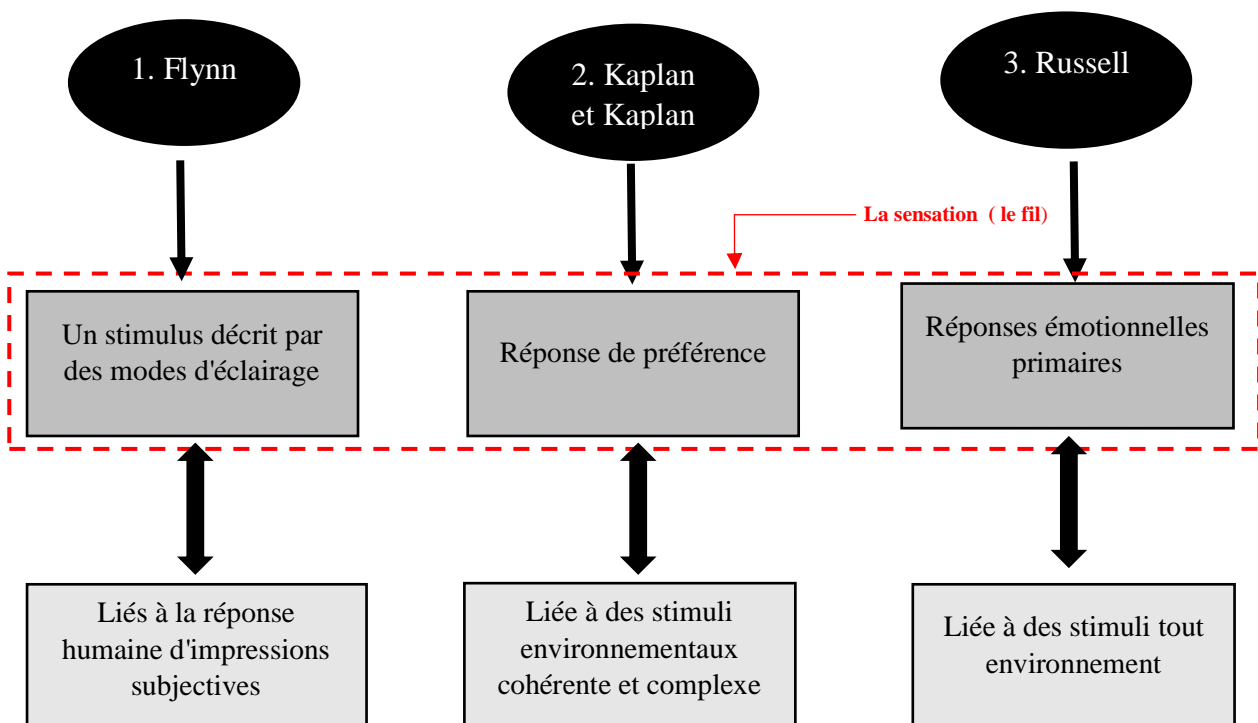
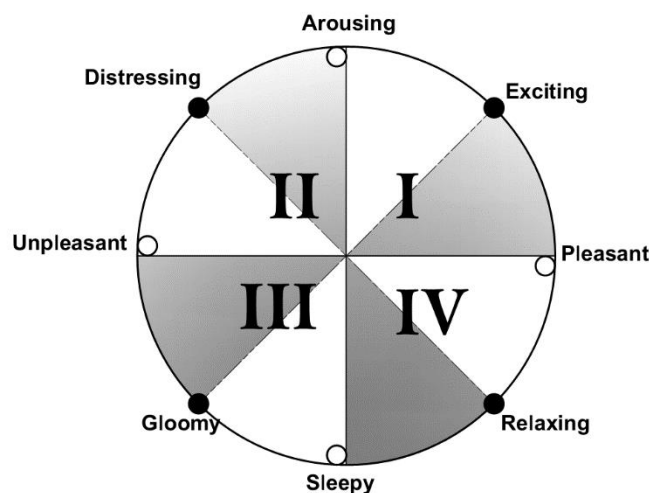


Figure 2.1 : Schéma des approches des réponses au stimulus d'environnement physique (Source : Auteur)

Donc afin d'étudier les sensations humaines l'interaction 'Homme/Environnement physique' Flynn, propose de faire varier l'environnement physique, en termes de modes d'éclairage, puis de lier l'impact que provoque ces variations avec les réponses humaines d'impressions subjectives vis-à-vis des environnements lumineux. Par rapport au travail de

Kaplan et Kaplan afin d'étudier les sensations humaines, ils ont classé dans un tableau les sensations selon les paramètres de la cohérence et de la complexité qui caractérisent le stimulus, et la relation de ces paramètres et la réponse de la préférence humaine (voir la figure 2.1). Et pour la troisième approche celle du modèle de Russell selon laquelle les réponses émotionnelles primaires à un environnement déterminent les réactions comportementales. D'après ce modèle, les systèmes sensoriels humains transforment l'environnement, afin de caractériser les relations entre différents aspects de ce dernier. Cette entrée sensorielle se combine avec des traits de personnalité pour produire des réponses émotionnelles primaires dans trois domaines, le plaisir qu'une personne trouve dans l'environnement, le degré de l'excitation ou de stimulation que l'environnement offre et l'étendue de la domination ou de contrôle que les gens sentent. La réponse de la domination a des implications fascinantes pour l'éclairage, car il dépend de la façon dont on contrôle l'éclairage et de l'environnement par rapport à combien nous sentons le contrôle de l'environnement. Selon (Russell, 1979), Russell conclut sur le plaisir et l'excitation des émotions que les deux principaux moyens que nous répondons à des environnements. De l'avis de Russell, chaque fois que nous entrons dans un nouvel environnement, nous nous mettons rapidement dans l'un des quatre quadrants qui sont définis par les deux axes (voir la figure 2.2) de plaisir et de l'excitation. Cette structure est représentée sur la figure ci-dessous.



*Figure 2.2 : Les deux axes de plaisir et de l'excitation proposés par (Source : Russell, 1979)*

Alors que le travail initial de Russell est directement lié à des environnements architecturaux, il a exploré plus tard, la réponse émotionnelle humaine à tous les types de stimuli. Son modèle a été utilisé dans une variété d'industries et d'applications, à partir d'études de la publicité à des expériences dans le développement de la petite enfance. Donc, les réactions émotionnelles sont fondamentales à la condition humaine. Russell soutient que notre réponse émotionnelle à un

stimulus sur les deux dimensions de plaisir et de l'excitation est une réponse unique et intégrée plutôt que deux réponses distinctes. Les mots que nous utilisons pour décrire des espaces reflètent ce genre de réponse intégrée et combinée des deux variables (plaisir / excitation). Un environnement que nous appelons, "stimulant", est celui qui est à la fois excitant et agréable, tandis que celui que nous appelons, "tendu, désagréable", est également éveillé mais un peu désagréable. On peut appeler "détente" un faible impact sur l'excitation, mais relativement élevé sur le plaisir, tout un espace "morne, monotone" est également faible sur l'excitation, mais provoque une réponse qui est faible sur le plaisir, la figure 2.3 résume les qualificatifs et la composante des réponses émotionnelles de Russel (Russell, 1979):

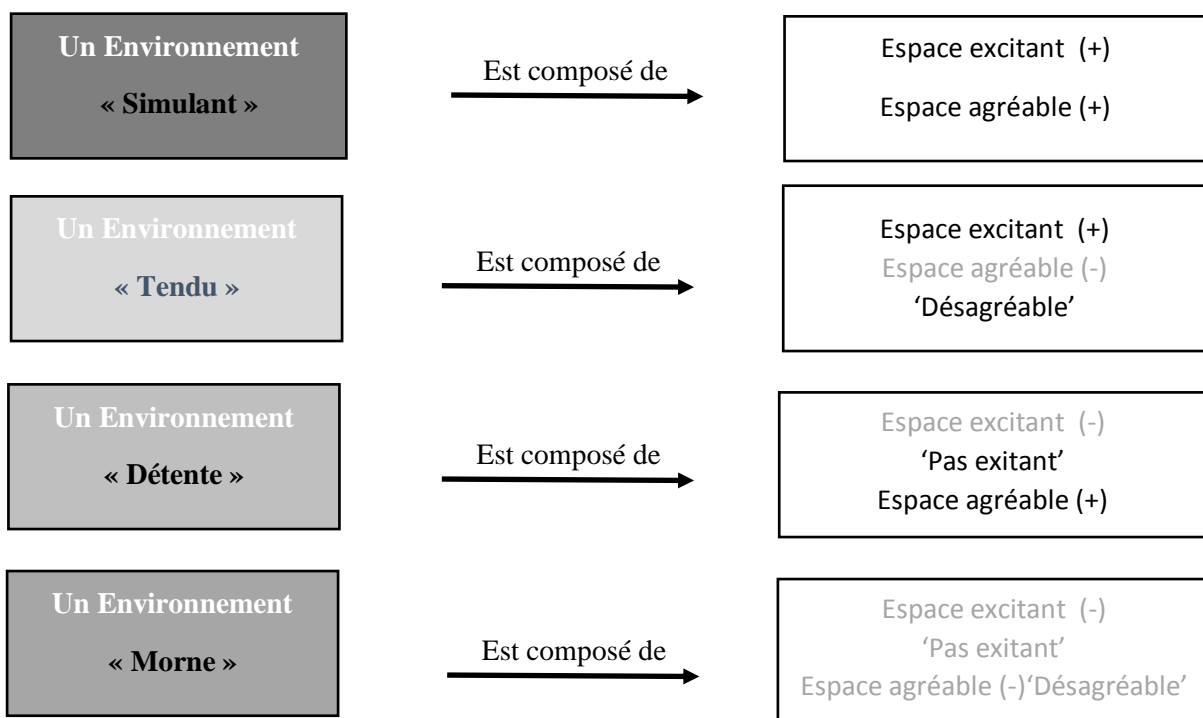


Figure 2.3 : Les composantes des réponses émotionnelles de Russel (Source : Auteur)

### 2.2.2. Le modèle du schéma à cinq carrés de Leplat et Cuny

Il tire son appellation d'une version simplifiée du modèle de double régulation de l'activité. Ces cinq cases fondamentales (Jacques & Cuny, 1977) étaient les suivantes : deux cases pour les conditions (internes et externes), une case pour l'activité et deux cases pour les conséquences de l'activité. Donc un modèle basé sur les conditions de l'activité, l'activité elle-même, et les résultats de cette activité, Depuis, le modèle a été enrichi d'une case relative au couplage et de deux cases relatives respectivement à l'évaluation interne et externe, ces deux dernières cases ayant le mérite de faire mieux apparaître les boucles de régulation. Ce modèle n'a pas de valeur directement opérationnelle puisqu'il n'indique pas une procédure d'analyse,

mais il peut servir de support à l'analyse en suggérant des types de questions à poser pour dégager les caractéristiques d'une activité concrète. Ce modèle peut servir comme un outil d'aide au diagnostic ergonomique de l'espace architectural : à ce titre, on le désigne aussi, parfois comme un schéma-guide. On peut donner un exemple pratique de ce schéma (voir figure 2.4), par l'exemple suivant : si les conditions de travail ont un impact sur l'Homme 'occupant' en termes de satisfaction, en termes de coûts physiques, etc. La performance réalisée par cet 'occupant' elle aussi a un impact sur les objectifs visés, qui à leurs tour se trouvent influencés par l'activité exercée par l'occupant.

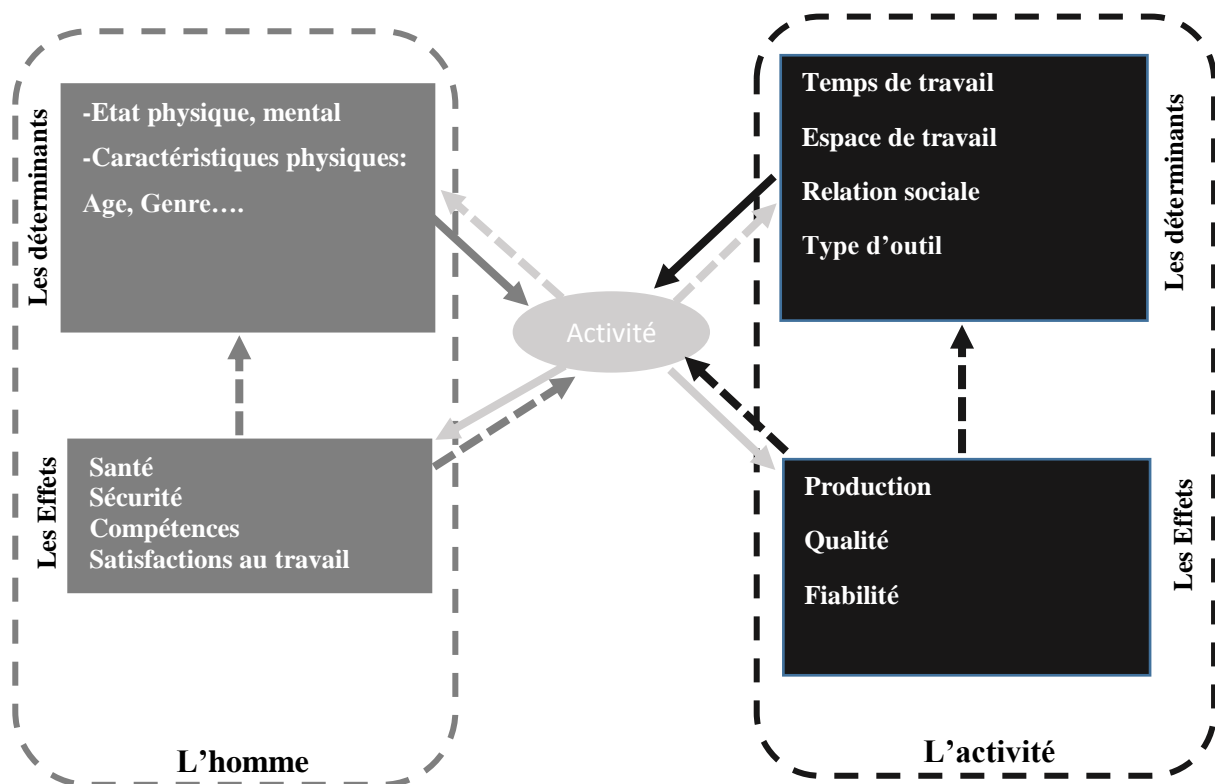


Figure 2.4 : schéma du modèle du schéma à cinq carrés (Source : Jacques & Cuny, 1977)

Selon le modèle des cinq carrés, la relation qui existe entre l'activité de travail, et les tâches qui la composent peut être expliquée de la manière suivante :

**2.2.2. a. La tâche prescrite :** Cette tâche comprend tout ce qui est défini objectivement par l'organisation, tout ce qui doit être réalisé dans des conditions bien déterminées, ces modalités peuvent figurer dans un contrat de travail ou dans une fiche de poste ou simplement être formulées à l'oral par la hiérarchie ou les collègues.

**2.2.2. b. La tâche attendue :** Il s'agit de l'ensemble des obligations implicites attendues par l'employeur ou l'organisation en général. Plus globalement, la tâche attendue comporte des

attentes de la part des supérieurs pour apporter un meilleur fonctionnement, en plus des exigences de la tâche prescrite. Elle peut prendre la forme de qualités attendues de l'opérateur.

**2.2.2. c. La tâche effective :** C'est la représentation que l'opérateur se fait de son activité et de la manière dont il doit la réaliser. Elle est ainsi subjective et propre à chacun, elle dépend notamment de l'ensemble des valeurs et représentations véhiculées dans les autres sphères d'activités (famille, amis...).

**2.2.2. d. La tâche réalisée :** C'est le résultat observable de l'activité de l'opérateur. La tâche réalisée peut plus facilement être décrite et quantifiée à l'aide d'une observation, par l'utilisation par exemple: une grille d'observation, photos, vidéos ...etc.

### **2.3. Approche Hackman and Oldham, caractéristiques des tâches**

D'après les résultats des travaux de (Hackman & Oldham, 1976), ils recommandent la mesure de satisfaction au travail par la mesure du degré auquel les diverses caractéristiques de tâche sont présents dans chaque travail. Les caractéristiques des tâches peuvent être modifiées de manière à enrichir le travail et d'augmenter la motivation chez les employés. Cette évaluation peut être accomplie en utilisant un questionnaire connu comme l'Enquête du diagnostic de la fonction (JDS) (Hackman & Morris, 1975). Le (JDS) donne un indice connu comme le score potentiel motivant (MPS), qui est la mesure dans laquelle le travail a le potentiel pour motiver les gens. (Hackman & Morris, 1975) Ils ont aussi dégagé trois facteurs psychologiques critiques qui doivent exister pour obtenir des résultats positifs personnels et professionnels définis par leur modèle. Ces trois forment le centre du modèle, les employés ont besoin d'avoir connaissance des résultats de leurs travaux de manière à se sentir bien ou déçu au sujet des résultats. Ils doivent aussi se sentir responsables de ces résultats et croire qu'ils sont personnellement responsables pour le travail résultat. Ils ne doivent pas ressentir que la qualité de leur travail dépend de facteurs externes à leur performance. Les employés doivent sentir que leur travail est significatif et qu'il est important. Car selon (Hackman & Morris, 1975) une tâche significative offre la possibilité d'utiliser et de tester les compétences et les aptitudes personnelles.

#### **2.3.1. Les critères de caractéristiques des tâches à accomplir**

**2.3.1. a. Réactions affectives :** Se réfèrent de manière générale aux satisfactions, et la motivation de travail interne qui sont un résultat du travail ou une finalité.

**2.3.1. b. Motivation interne au travail :** se réfère aux méthodes et outils employés afin de motiver l'employé pour remplir efficacement la tâche demandée.

**2.3.1. c. Satisfaction générale :** elle est une mesure globale de la mesure dans laquelle l'employé est satisfait et heureux et a exercé son travail.



**2.3.1. d. Satisfaction spécifique :** elle se réfère à un certain nombre d'échelles qui fournissent des mesures distinctes de satisfaction, la sécurité d'emploi, la rémunération et autres compensations, les pairs et co-travailleurs, la supervision, les possibilités de la croissance et le développement personnel au travail.

**2.3.1. e. Etats psychologiques critiques :** ils se réfèrent généralement à expérimenter le sens du travail, la responsabilité pour ensuite expérimenter les résultats de travail, et la connaissance des résultats des travaux.

**2.3.1. f. Travail personnel :** ce dernier se base sur le côté personnel et les réactions affectives ou aussi des sentiments d'une personne obtenus à partir du travail à effectuer.

**2.3.1. g. Croissance-besoin de force :** il se réfère à la volonté de la personne d'obtenir la croissance professionnelle et la réalisation dans la tâche à complaire dans son travail donné.

**2.3.1. h. Le Savoir-faire:** est la mesure dans laquelle un emploi nécessite une variété d'activités différentes dans l'accomplissement du travail, ce qui implique l'utilisation d'un certain nombre de différentes compétences et les talents de l'employé durant son travail.

**2.3.1. i. L'identification de de tâche :** est la mesure dans laquelle le travail exige l'exercice d'un ensemble d'activités identifiables du travail 'les composantes de la tâches', c'est à dire faire un travail du début à la fin avec un résultat visible, ce qui va conduit à une visibilité des résultats et de la tâche.

**2.3.1. j. Groupe de signification :** est la mesure dans laquelle un travail a un impact considérable sur la vie ou le travail des autres, même si les autres gens sont dans un environnement externe.

La théorie de Hackman et Oldham sur les caractéristiques de l'emploi se concentre sur la mesure des caractéristiques objectives d'une tâche construisant ainsi dans les caractéristiques de la tâche qui conduisent au travail interne et à élever la motivation, la satisfaction au travail et la performance de haute qualité. La théorie reconnaît que les employés individuels peuvent répondre différemment pour le même travail (interaction individuelle d'emploi). Les résultats obtenus de la théorie de Hackman et Oldham, qui résumant les relations complexes qui lient les critères des caractéristiques des tâches avec celles du travail lui-même, peuvent être représentés sous forme de schéma (voir figure 2.5).

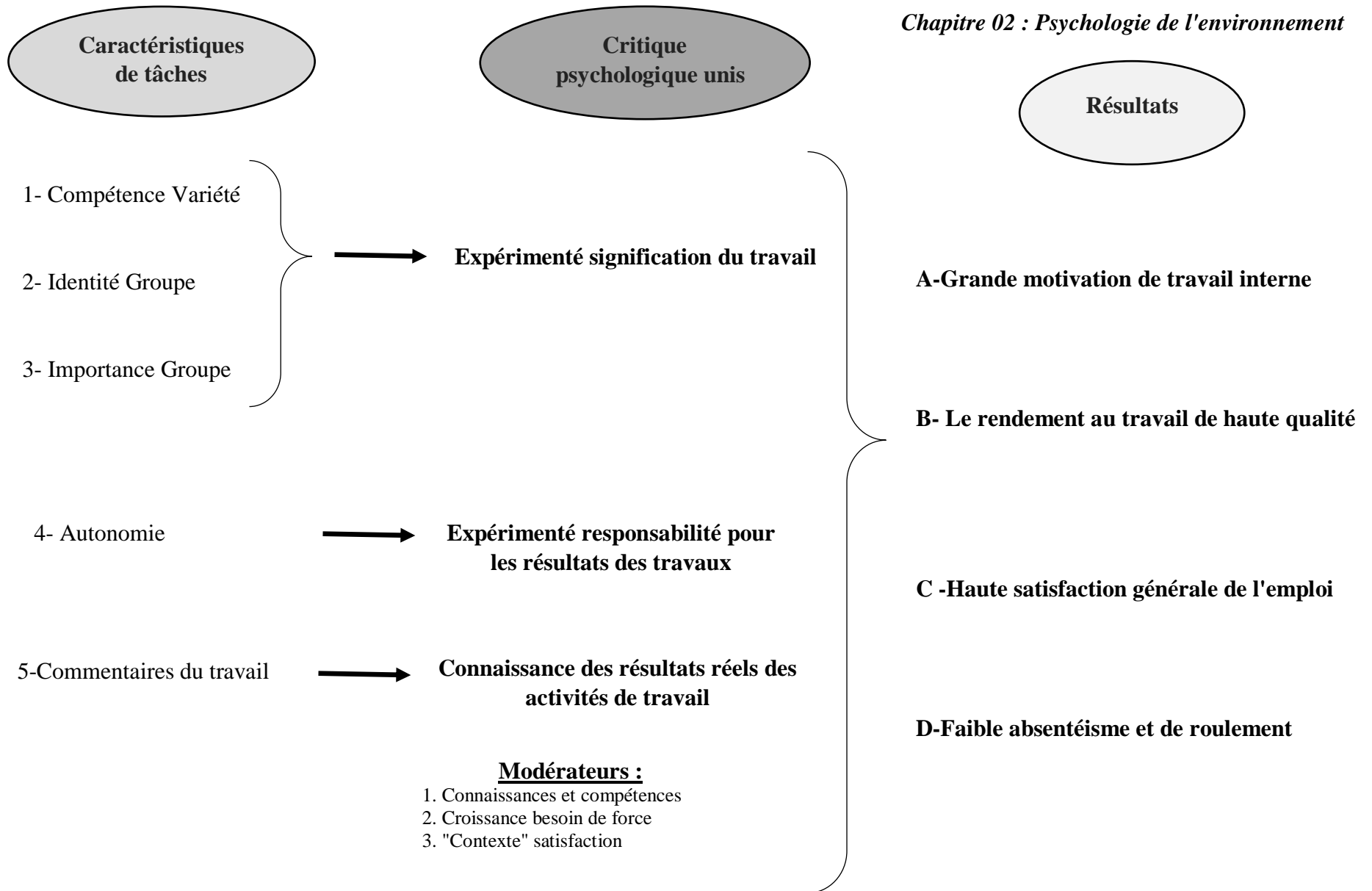


Figure 2.5 : Relations entre caractéristiques des tâches et les résultats travail (Source : Hackman & Morris, 1975)

### **2.3.2. L'application du modèle des caractéristiques des tâches ' Enrichir le travail'**

Bien que de nombreux employés de nos jours désirent relever le défi et la responsabilité supplémentaire associée au travail enrichi, d'autres non. (Hackman & Oldham, 1980) ont reconnu que tout le monde ne veut une fonction contenant des niveaux élevés des cinq caractéristiques de tâches fondamentales. Par conséquent, ils ont intégré cette conclusion dans leur travail modèle de caractéristiques en identifiant trois attributs qui affectent la façon dont les gens réagissent à l'enrichissement du travail. Les modérateurs identifient dans l'influence du modèle des caractéristiques de la tâche à accomplir comment les employés répondent aux emplois enrichis. Ils comprennent les connaissances et les compétences, la force croissante nécessaire, et la satisfaction du contexte. Ces modérateurs ont un impact sur la relation entre les caractéristiques fondamentales d'emploi, les états psychologiques critiques, et les résultats en fin de compte personnels et professionnels. Par conséquent, les dirigeants devraient examiner les modérateurs lors de la tentative d'enrichir le travail.

### **2.4. L'impact de la connaissance 'le bagage' sur les résultats et les compétences au travail**

Les employés dont les capacités à répondre aux exigences du travail, sont disposés à se sentir bien dans le travail et ont de bons résultats. Ceux qui sont inadéquats ou se sentent inadéquats à cet égard sont susceptibles d'éprouver de la frustration, le stress et l'insatisfaction au travail. Ces sentiments d'insuffisance peuvent être particulièrement intenses pour les employés qui veulent faire un bon travail, mais se rendent compte qu'ils sont peu performants parce qu'ils manquent de la connaissance et les compétences nécessaires. Ainsi, les dirigeants doivent évaluer soigneusement les compétences des employés dont les emplois doivent être enrichis. Les programmes de formation et de développement peuvent avoir besoin d'être mis en place avec un programme d'enrichissement afin d'aider ces employés à atteindre les compétences nécessaires.

#### **2.4.1. Les facteurs de motivation**

D'après (Viorel, Virgil, & Stefania, 2009) les facteurs de motivations. Les employés avec des atouts de croissance ont tendance à répondre favorablement au travail enrichis. Ils éprouvent une plus grande satisfaction au travail ; sont très motivés ; sont généralement moins absents, et produisent une meilleure qualité du travail (Graen, Scandura, & Graen, 1986), et le contexte de travail fait partie intégrante des éléments de la motivation.

#### **2.4.2. La satisfaction du Contexte :**

Contexte de satisfaction est la mesure dans laquelle les employés sont satisfaits des divers aspects de leur travail, tels que les salaires, qualité de la supervision, relations avec les responsables et les collègues de travail. La satisfaction contextuelle est similaire à des facteurs

en matière d'hygiène de (Tan & Waheed, 2011) Les employés qui sont très insatisfaits de leur supervision, salaire et les avantages, et les conditions de travail sont moins susceptibles de répondre favorablement à des emplois enrichis que les employés qui sont satisfaits de ces facteurs. Autres facteurs contextuels (par exemple de la politique de l'entreprise et de l'administration, statut, la sécurité, les exigences de voyage, et les normes de groupe) peuvent également affecter la satisfaction des employés et la qualité de résultats de leurs travaux.

### 2.5. Méthode d'évaluations de l'environnement de travail

D'après les travaux menés par (Hackman & Oldham, 1980), dans l'Enquête (Job Diagnostic), qui vise à mesurer les caractéristiques des tâches, ont démontré qu'il n'avait qu'un seul élément qui a été fourni pour chaque caractéristique de la tâche à la fois, sous forme de question (voir figure 2.6). Où les répondants encerclent le chiffre qui correspond le mieux à leur évaluation de la quantité de variété dans leurs emplois. La question de la première section de 'Job Diagnostic' de diagnostic Hackman et Oldham est la suivante :

1. Combien de variété est présente dans votre travail ? Autrement dit, avez-vous besoin de faire beaucoup de choses différentes au travail en utilisant une variété de vos compétences ?

1	2	3	4	5	6	7
<b>Très peu</b>			<b>Modéré Variété</b>			<b>Très bien</b>
Le travail exige les mêmes choses Encore et encore de routine						Le travail me demande de faire beaucoup de choses différentes, en utilisant un certain nombre de compétences.

Figure 2.6 : Question N°1 de la section deux de l'Enquête Hackman et Oldham

Ensuite pour chacune des cinq caractéristiques fondamentales de la tâche, deux éléments sont ressortis, un est formulé sous forme de 'termes positifs', et l'autre 'termes négatifs'. Pour cela les répondants ont été invités à indiquer la précision de la tâche à effectuer pour chacune des caractéristiques objectives du travail. Une échelle de sept points a été utilisée, allant de 'très inexacts', 'très précis'. (Voir figure 2.7).

1	2	3	4	5	6	7
<b>Très précise</b>	<b>Partiellement précise</b>	<b>Légèrement précise</b>	<b>Incertain</b>	<b>Peu précis</b>	<b>Partiellement précise</b>	<b>Très précise</b>

Figure 2.7 : Question N°2 de la section deux de l'Enquête Hackman et Oldham

Dans la troisième section du 'Job Diagnostic' de diagnostic Hackman et Oldham, les répondants ont été appelés à indiquer leur accord ou désaccord avec un certain nombre de déclarations sur leur expérience de travail. Une échelle de sept points a été utilisée, la même échelle a été adoptée aussi pour les deux sections restantes du questionnaire du 'Job Diagnostic'.

### 2.5.1. Evaluation de la satisfaction générale et la satisfaction spécifique au travail

L'évaluation de la satisfaction générale dans le poste de travail et l'évaluation de la motivation de travail interne ont été évaluées dans les sections trois et cinq du travail de Hackman et Oldham 'Job Diagnostic'; dans la section dédiée à l'évaluation de l'état psychologique. Pour cela Hackman et Oldham ont utilisé cinq indicateurs pour l'évaluation de la satisfaction générale et six indicateurs pour l'évaluation de la motivation au travail interne. Deux des indicateurs de satisfaction générale sous format inverses (négatifs /positifs). Par contre un seul indicateur sous format inverse a été utilisé pour l'évaluation de la motivation de travail. Afin d'évaluer la satisfaction spécifique, les chercheurs avaient posé la question suivante aux répondants «êtes-vous satisfait de cet aspect de votre travail ?» Pour chaque élément, en utilisant une échelle de sept points allant de "Extrêmement insatisfait" à "neutre" à "extrêmement satisfaits".

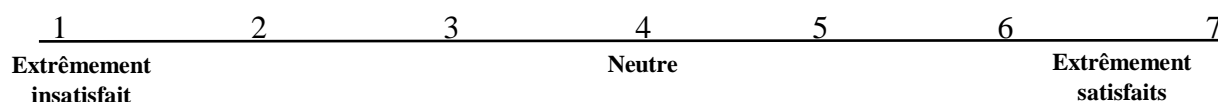


Figure 2.8 : Question utilisée pour l'évaluation de la satisfaction dans le travail de l'Enquête Hackman et Oldham (Source : Hackman & Oldham, Work redesign, 1980)

La finalité des travaux de Hackman et Oldham, a été la proposition, d'indicateurs subjectifs qui pouvaient être évalués grâce à des questions posées aux répondants 'usager', qu'on peut résumer un certain nombre d'entre elles dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2.1 : Question utiliser pour l'évaluation de la satisfaction l'Enquête Hackman et Oldham (Sources : Hackman & Oldham, 1980)

Concept	Types de Questions
Le développement	Le montant de la croissance personnelle et le développement que je reçois dans mon travail.
La sécurité d'emploi	Comment sécuriser les choses semble pour moi dans le futur dans cette organisation
La rémunération	Le montant des prestations de rémunération et les avantages que je reçois. Social.
La supervision	Le montant du soutien et des conseils que je reçois de mon superviseur.

## **2.6. Définition des dimensions d'éclairage et implication dans l'exercice des tâches**

### **2.6.1. Dimensions visuelles et éclairage selon Flynn**

Tout au long des années 1970, (Flynn & Spencer, 1977) ont mené une série d'expériences qui visaient deux objectifs principaux : Le premier, a été de tester le concept théorique des variations de l'éclairage et la mesure de son impact sur le changement constant dans l'impression visuelle chez l'utilisateur, le second objectif de ces expériences a été de vérifier l'utilité de certaines techniques de recherche utilisées pour l'étude et définir ces impressions sous différentes conditions d'éclairage. Les techniques de recherche utilisées par Flynn étaient basées sur une échelle différentielle sémantique, suivie par une analyse documentaire sur les impressions visuelles des utilisateurs de l'espace, ensuite ils ont regroupé tous les jugements de similarité et ils les ont mis sur une échelle multidimensionnelle pour documenter les dimensions de l'intensité lumineuse qui a provoqué telles ou telles impressions visuelles.

### **2.6.2. Le contexte de l'étude**

Le contexte historique du travail de Flynn est important. Avant la crise de l'énergie de 1973, le thème de beaucoup d'ingénierie d'éclairage a été résumé par l'expression « plus de lumière, mieux est la vue », mais le changement soudain, et la focalisation des préoccupations plutôt sur l'utilisation rationnelle de l'énergie, avec quelques approches très minimalistes. Afin de fournir juste assez de lumière pour voir et accomplir des tâches visuelles, et tout ce que se fait de plus, est un gaspillage de l'énergie. D'après le travail de recherche de Flynn, le contexte de travail était qu'une perspective, qui considérait l'éclairage non pas comme un simple stimulus externe pour les performances visuelles, mais Flynn croit que généralement une grande partie de la conception d'éclairage été réalisée avec une attention particulier accordée à l'accomplissement des tâches visuelles, avec très peu de considération pour les autres effets possibles sur les comportements humains ou des impressions visuelles. Au lieu de cela, selon Flynn, l'éclairage devrait être considéré comme une forme de communication visuelle, où les motifs de lumière spatiale communiquent des indices à l'utilisateur pour concevoir des impressions visuelles de l'espace, pour une meilleure adaptation et la compréhension de ce dernier. Flynn a estimé que les impacts de l'éclairage ne sont pas seulement des expériences individuelles, mais étaient communs pour les personnes avec des antécédents similaires : « Cette théorie suggère que nous vivons dans le cadre d'un système de repères visuels qui ont tendance à être reconnus et interprétés de façons cohérentes par les utilisateurs qui partagent les mêmes valeurs culturelles de fond. » (Flynn, 1988).

Flynn craignait qu'avec les approches minimalistes des années 1980 se limitait grandement le rôle plus large de l'éclairage dans les interactions des gens avec leurs environnements et les

espaces architecturaux. De nos jours on peut constater que les parallèles sont aussi très frappantes, car la tendance environnementale exige aussi une rationalisation de l'énergie, pour une meilleure préservation de l'environnement, ce qui pousse à des niveaux de lumière toujours plus basse avec une faible consommation énergétique et un éclairage toujours moins gourmand. En même temps et toujours dans cette même approche environnementale, la psychologie de l'environnement en tant que domaine de recherche a connu elle aussi une croissance très rapide, et d'après les résultats des recherches menées dans le domaine psychologie de l'environnement ces dernières recommandent souvent des niveaux d'éclairage différents 'variables' et déduisent qu'avoir une lumière constante peut provoquer un impact psychologique négatif sur l'utilisateur. Flynn avec son équipe de recherche ont mené des recherches en psychologie de l'environnement afin d'évaluer des climats lumineux, et cela par des questions liées aux interactions de l'homme avec son environnement, que ce soit ceux qui sont à l'intérieur des espaces architecturaux, les espaces extérieurs (cadre urbain), ou plus largement des milieux communautaires. Flynn a utilisé une nouvelle technique dans ces recherches afin d'étudier l'impact direct et indirect de l'influence de l'éclairage architectural et son interaction avec l'utilisateur de l'espace. (Voir la figure 2.9)

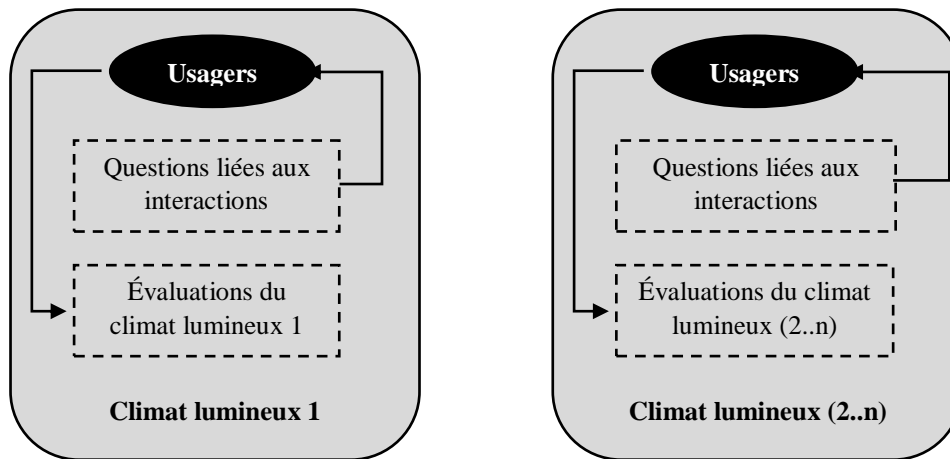


Figure 2.9 : Méthodes proposées par Flynn afin d'étudier les interactions l'homme / environnement (source : auteur)

## 2.7. Etudes de Flynn des interactions homme / environnement

### 2.7.1. Premiers cas d'étude de Flynn la salle de conférence 'salle de réunion'

Parmi les premières études menées par Flynn est celle qui eut lieu dans une salle de conférence 'une salle de réunion', au sein du bâtiment de (General Electric Institute Lighting). Au cours de la période 1971-1973, ( Flynn J. E., Spencer, Martyniuk, & Hendrick, 1973; Flynn J. , Spencer, Martyniuk, & Hendrick, 1975); L'objectif de ces études était de tester l'utilité des nouvelles méthodes d'études déjà utilisées dans le domaine de la psychologie environnementale, à évaluer



des environnements lumineux, et de évaluer l'apport possible des méthodes destinées à la psychologie dans le domaine de la recherche d'éclairage. Pour répondre à ces questions, Flynn a choisi une salle de conférence qui a été configurée avec six conditions d'éclairage différentes avec des intensités lumineuses variées, en répartissant certaines conditions lumineuses (voir la figure 2.10), les configurations sont représentées ci-dessous :

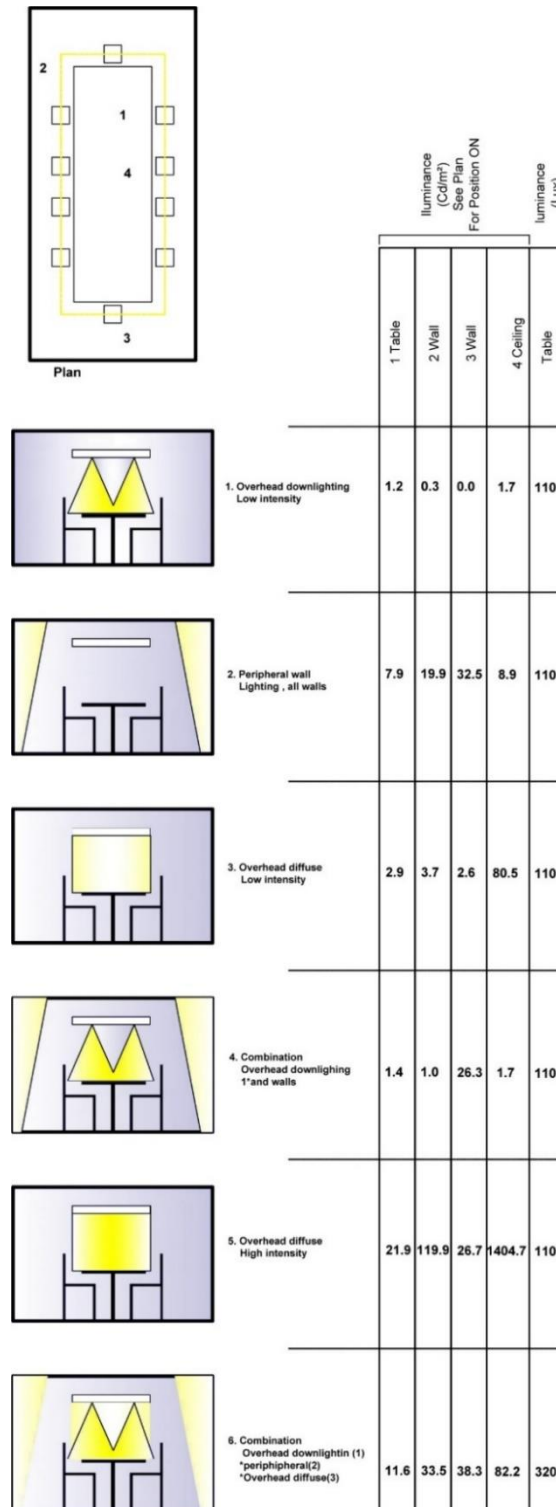


Figure 2.10 : Les différentes configurations lumineuses de la salle testée par Flynn ( Source : 1973)

Dans la première partie de cette étude, elle a visé 96 sujets (n=96) qui ont évalué les six systèmes d'éclairage, dont 22 l'on l'évalué à l'aide des échelles différentielles sémantiques. Les sujets ont été divisés en 12 groupes ; chaque groupe a procédé à une notation par système, après avoir visité l'espace (la salle de réunion). Après cette évaluation initiale, les objectifs de l'étude ont été expliqués brièvement à chaque sujet, cette explication est accompagnée d'une petite présentation des six systèmes d'éclairage utilisés dans la salle, après cela chaque configuration a été présentée à nouveau pour une nouvelle évaluation. Le but de la première évaluation (l'évaluation initiale) était à des fins de comparaison de données entre sujets. En comparant les évaluations, les notes absolues (1<sup>ère</sup> évaluation) aux notes relatives (2<sup>ème</sup> évaluation) une fois que tous les systèmes étaient connus par les sujets, d'après les résultats obtenus par Flynn, il a conclu que les mesures répétées apportent beaucoup d'informations sur l'environnement lumineux et que cette méthode a des résultats très fiables, et qu'elle offre aussi l'avantage de limiter l'impact individuel sur les résultats de l'expérience lumineuse vécue. Il a constaté aussi que les données de réponse différentielles sémantiques ont été soumises à une analyse de contenus et de facteurs, ce qui a donné cinq facteurs. Flynn a fait référence à ces facteurs nommés (les catégories d'impressions visuelles), qui ont été influencés par les conditions d'éclairage. Les facteurs liés à la complexité spatiale et la configuration de l'espace n'ont pas été examinés dans ce travail car ils sont sans importance pour Flynn. La structure de l'échelle différentielle, le facteur correspondant et les échelles utilisées sont présentés si dessous :

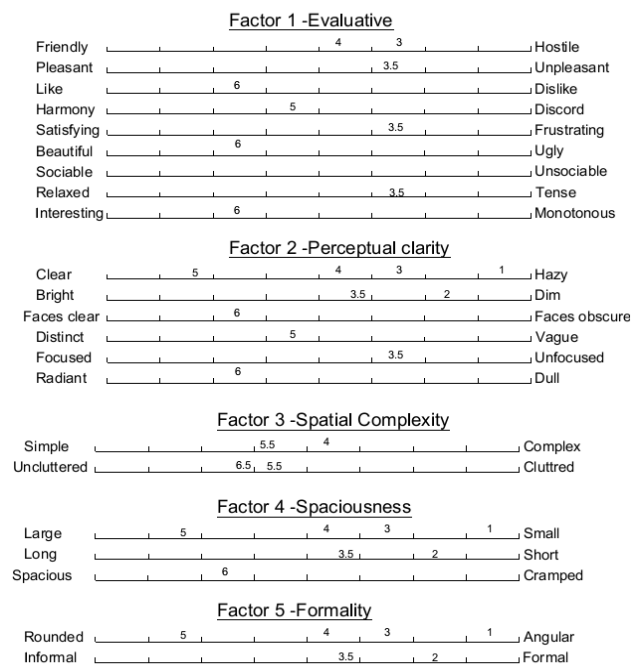


Figure 2.11 : Echelle différentielle et le facteur correspondant utilisés par Flynn (Source : 1973)

La deuxième partie de cette étude comprend, 46 différents sujets (n=46) qui ont été appelés à faire des évaluations de l'espace avec les six différentes configurations et après avoir terminé leur évaluation, un regroupement par 'critère de similitude' d'évaluation des six conditions d'éclairage a été réalisé. Ces évaluations 'regroupées' analysées avec la méthode de comparaison par paires, avec la possibilité des sujets de visualisation des paires de conditions. Une note de "0" pour la deuxième condition dans une paire ne signifiait « Aucun changement » de l'état dans l'évaluation de l'espace et une note de «10 » pour la deuxième condition signifie «changement très important." Ces évaluations de similarité ont été analysées en utilisant, la technique du positionnement multidimensionnel (Multidimensionnels Scaling Multidimensional scaling 'MDS'), ce qui a dégagé trois dimensions. Flynn a appelé ces dimensions les « modes d'éclairage », et nommé les trois modes qui ont résulté de cette étude: A- Le mode de dessus (aérien) / périphérique. B- Le mode non uniforme / uniforme. C- Le mode clair / obscur. Les relations observées entre les variations dans les modes et l'éclairage et échelles sémantiques ont été utilisées comme référence pour des futures recherches. En analysant ces données, Flynn a utilisé des moyens graphiques représentant les environnements et les perceptions. Par exemple, (de la figure 2.12 à la figure 2.14) ci-dessous représentent des modèles de l'espace tridimensionnel défini par les résultats du positionnement multidimensionnel, avec "le plan" dans chaque espace est défini par l'un des facteurs trouvés par l'évaluation. Chaque condition de stimulus est représentée dans le modèle. Il est important aussi de signaler que Flynn a également mené des régressions multiples pour chaque facteur, en utilisant les dimensions.

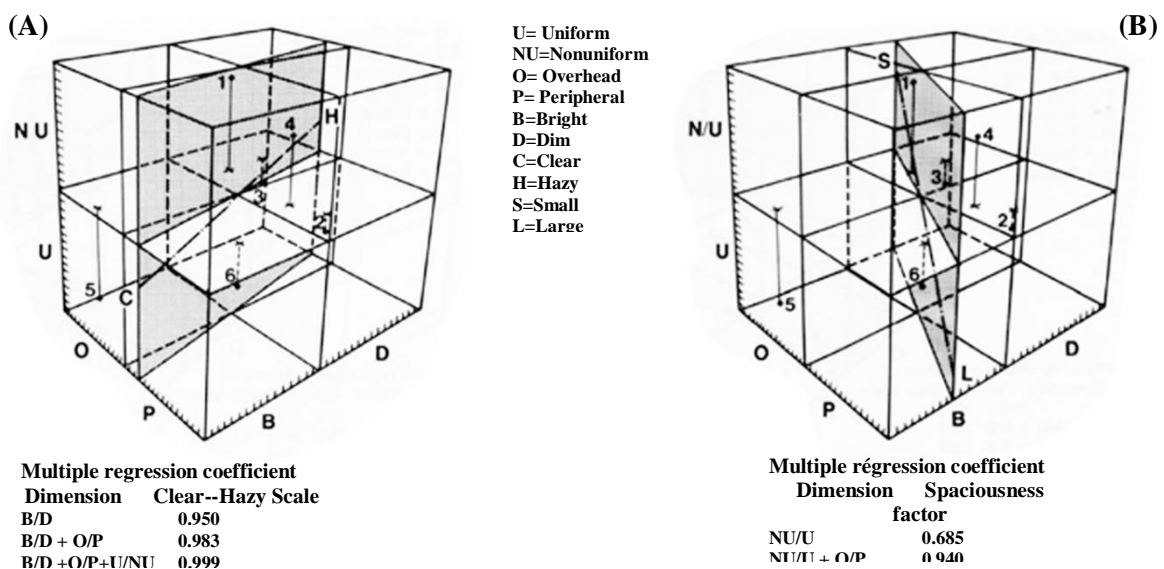


Figure 2.12 : Les échelles d'évaluation de l'espace 3D Flynn : (A) à gauche l'échelle claire flou ; (B) à droite le facteur de spéciosité (Source : 1973)

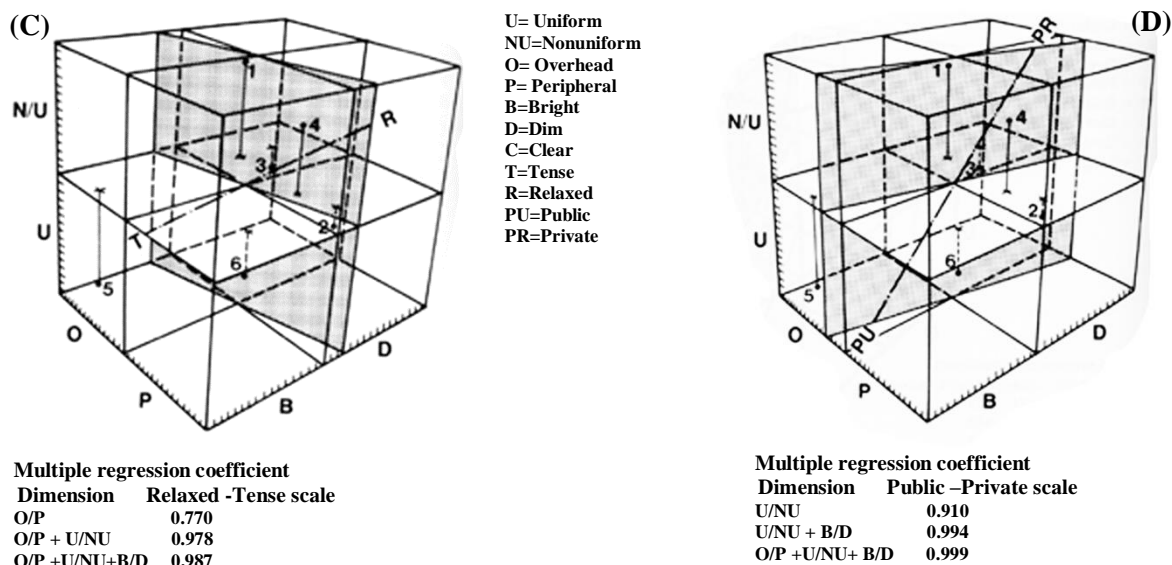


Figure 2.13 : Les échelles d'évaluation de l'espace 3D Flynn : (C) à gauche l'échelle de détente ; (D) à droite l'échelle public-privé (Source : 1973)

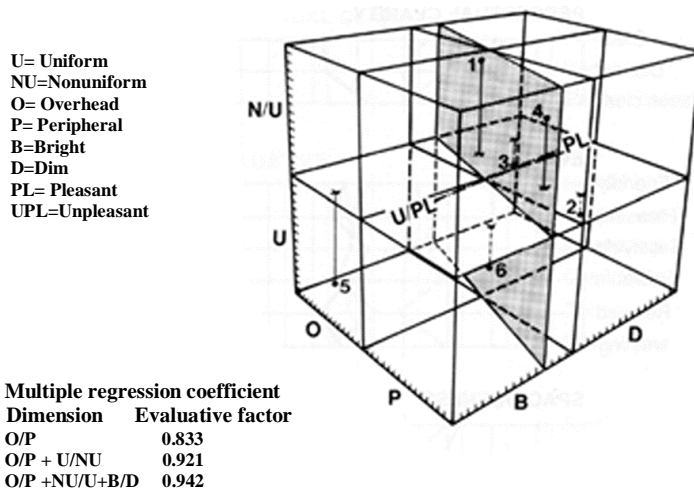


Figure 2.14 : Le facteur d'évaluation dans l'espace 3D Flynn (Source : 1973)

En plus des différentes représentations cubiques en trois dimensions des résultats obtenus, Flynn a également développé un autres moyen très simple, et toujours à l'aide d'outil graphique afin de communiquer et représenter les principales différences des résultats obtenus entre les différentes conditions d'éclairage étudiées lors de l'expérimentation. Cela afin de démontrer l'existence des liens qui peuvent être ressortis entre les évaluations subjectives des individus et des échelles sémantiques dévaluation de différentes conditions d'éclairages. Et que la comparaison entre ses variations des conditions d'éclairage et les évaluations donne des résultats très intéressants, (de la figure 2.15 à la figure 2.17) ci-dessous représente l'application de ses représentations graphiques. Ceux-ci montrent clairement que la variation des conditions

lumineuse de la salle produit d'importantes différences dans les évaluations subjectives des usagers de l'espace.

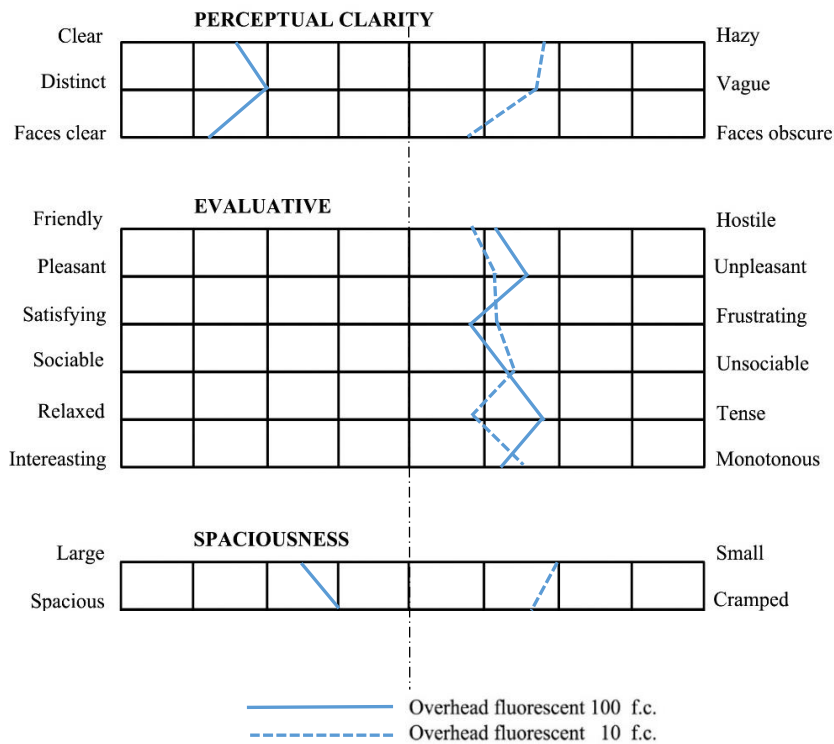


Figure 2.15 : Les évaluations (notes moyennes) des différentes intensités de luminances (Source : 1973)

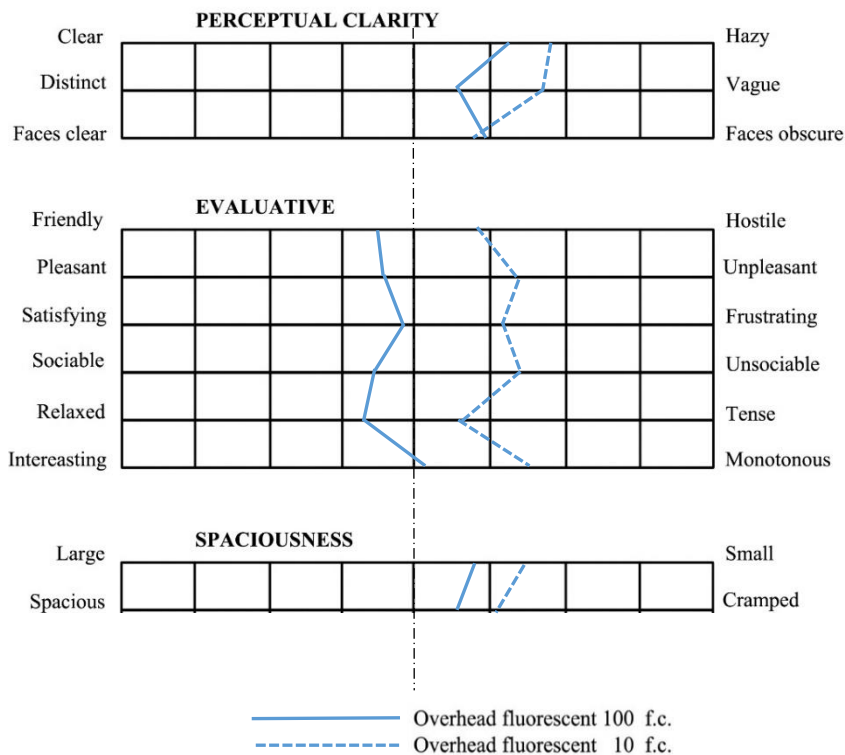


Figure 2.16 : Les évaluations (notes moyennes) pour une ambiance chaude, directionnelle et une ambiance froide ( Source : 1973)

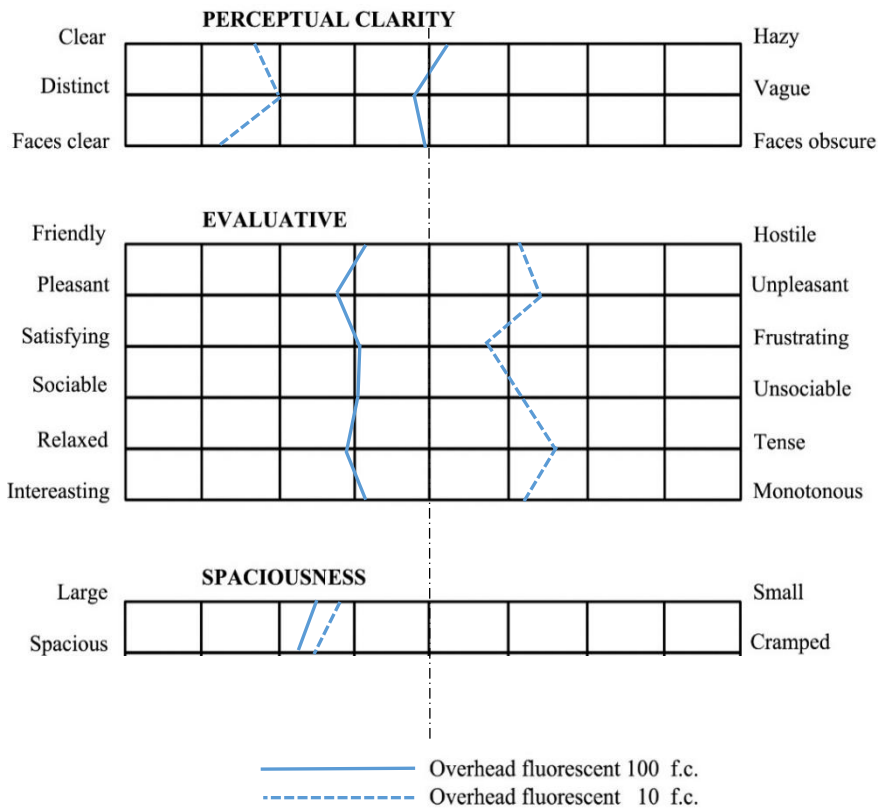


Figure 2.17 : Les évaluations (notes moyennes) pour un éclairage périphérique / éclairage zénithale (Source : 1973)

Dans son étude, Flynn a eu aussi recours à une troisième technique graphique. Cette dernière consiste à l'établissement d'un système basé sur quatre évaluations subjectives dans un motif sous forme radial, des diagrammes radar construits autour d'une origine, et a ensuite montré un tracé de la réponse subjective moyenne, sur ces quatre notes 'évaluations subjectives des sujet interrogés', sous des différentes conditions d'éclairage de la salle. une partie de ces schémas est représentée dans la figure 2.18 ci-dessous. Les quatre échelles d'évaluations subjectives choisies sont : (clair / sombre), (ambiance détendue / Ambiance tendue), (espace privé / Espace public), et (espace spacieux / espace restreint).

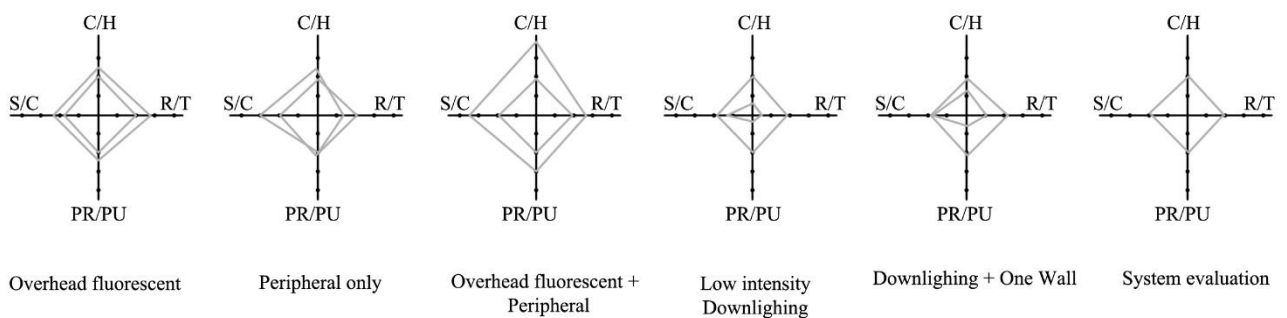


Figure 2.18 : Les diagrammes radar de tracés d'évaluations subjectives (par notes) (Source : 1973)

### 2.7.2. Deuxième cas d'étude, plusieurs espaces multi espace

Flynn a étendu sa première étude de la salle de réunion, pour voir si les résultats étaient applicables aux différentes tailles et configurations d'espaces (Flynn J. , 1974; Flynn J. , Spencer, Martyniuk, & Hendrick, 1975). Pour cette nouvelle étude, trois salles ont été utilisées: la première est celle de l'état original de la salle de réunion, qui était de forme rectangulaire, la deuxième est une autre grande salle de réunion, qui était également rectangulaire, et la dernière une salle de conférence de forme irrégulière d'une taille similaire à celle d'origine. Pour les trois salles, cinq conditions d'éclairage ont été utilisées avec: un système de lampes fluorescentes blanches qui produisent une luminance égale à 40 candelas (fc) sur la table, un système sans éclairage dans le plafond, mais avec un éclairage sur les quatre murs (latérales). Un second système qui combine des lampes fluorescentes avec éclairage mural sur les quatre murs, ce système produit une luminance de 8 (fc) sur la table, et le troisième mode d'éclairage se compose d'un système qui combine un système d'éclairage de plafond avec un éclairage mural. Pour l'étude des résultats obtenus Flynn, n'a pas eu recours à la technique (multidimensionnels scaling MDS) utilisée lors de la première étude de la salle de réunion, mais il a utilisé dans un premier temps une analyse de composantes principales des évaluations subjectives des différentes configurations lumineuses et cette dernière a ressorti six facteurs : 1. clarté visuelle, 2. notion l'espace, 3. agrément, 4. spatial, 5. la complexité, 6. la prééminence personnelle et détente dans l'espace. Cette fois aussi Flynn a exprimé les résultats et les conclusions obtenus sous forme graphique (voir figure 2.19 et 2.20), la représentation graphique démontre clairement que les changements des conditions d'éclairage dans différentes configurations de salles affectent directement et de manière très importante les évaluations subjectives des sujets dans la salle.

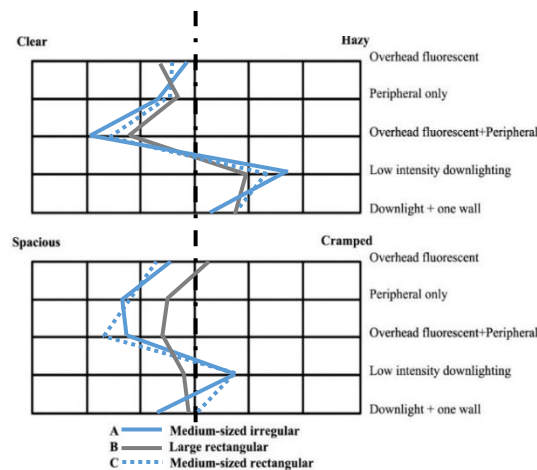


Figure 2.19 : Représentations évaluations subjectives (Clear /Hazy , Spacious /Cramped) obtenus sous les différentes conditions d'éclairages (Source : 1975)



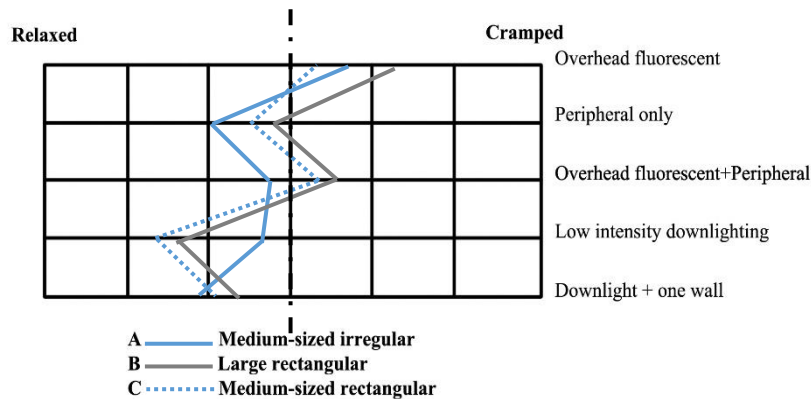


Figure 2.20 : Représentations évaluations subjectives (Relaxed /Cramped) obtenus sous les différentes conditions d'éclairages (Source : 1975)

Ensuite Flynn a comparé ces facteurs à ceux rapportés par Kuller pour l'évaluation des impressions et l'évaluation de l'espace architecturale (Acking & Kuler, 1972; Flynn J. , Spencer, Martyniuk, & Hendrick, 1975) et il a conclu que quatre de ces facteurs étaient identiques et qui sont : la notion de l'espace, l'agrément, la complexité spatiale et la détente. Kuller trouvé quatre autres facteurs : l'unité 'le style', le statut social, moderne vs traditionnel et l'originalité ou la nouveauté. D'après ces résultats de similitude de facteurs, Flynn croit que l'éclairage peut influencer les impressions du style et de la nouveauté.

### 2.7.3. Troisième cas d'étude Auditorium

Afin d'étudier les évaluations subjectives des conditions lumineuses, dans l'Auditorium, Flynn a eu recours aux techniques expérimentales des deux précédentes études, mais cette fois ils ont été appliqué dans un contexte complètement différent. Pour cela deux études ont été proposées et ont été menées dans un grand auditorium de l'Université Kent State 1973 et 1974. Dans la première étude, les sujets ont utilisé 13 échelles sémantiques pour évaluer (07) configurations différentes d'éclairage ensuite des jugements de similarité ont également été réalisés. Dans la seconde étude, 13 systèmes d'éclairage ont été notés sur 15 échelles, et une similitude de jugements a également été réalisée. Une analyse (multidimensionnels Scaling MDS), de ces deux cas d'études a dégagé trois dimensions, avec les mêmes descriptions d'application. Cependant, Flynn a noté que la dimension uniforme / non uniforme pourrait être alternativement décrite aussi comme la dimension spéculaires / non spéculaires, (Flynn J. , Spencer, Martyniuk, & Hendrick, 1975).

#### **2.7.4. Quatrième cas d'étude : étude d'un laboratoire**

Pour ce quatrième cas d'étude, Flynn a mené deux études au sein du laboratoire d'étude d'éclairage à l'université (Penn State University). Dans la première étude, huit groupes de 10 sujets (n=80) chacun évaluent huit conditions d'éclairage, qui offrent différentes dimensions, qui ont été déjà ressorties dans les études précédentes. Ces systèmes ont été évalués en utilisant les deux échelles sémantiques et les jugements de similarité. Dans la deuxième étude, huit groupes de 10 sujets (n=80), chacun a évalué sept conditions d'éclairage ; en utilisant des échelles sémantiques qui ont été utilisées dans l'étude précédente (Flynn & Spencer, 1977). Afin de résumer les différents résultats obtenus de ces études, Flynn les a regroupé en trois grandes catégories d'impressions visuelles, ces dernières ont été le fruit de l'analyse factorielle qui sont: perceptive, comportement, et préférence. La catégorie perceptive, comprend les impressions de la clarté spatiale, la complexité spatiale, et les deux facteurs de couleur: le ton et l'éblouissement, mais pour ces deux derniers facteurs, Flynn n'a pas clairement déterminé si ces deux étaient des facteurs distincts que Flynn regroupe dans une seule catégorie, ou s'ils étaient sous un seul facteur. On peut regrouper le reste des résultats obtenus de cette étude en trois grandes parties, qui définissent chacune une dualité dans chaque dimension :

La première : l'analyse (multidimensionnels scaling MDS) a donné les trois mêmes dimensions que nous avons citées précédemment, Flynn donne quelques définitions et des explications par rapports à ces résultats. La dimension (aérienne / périphérique) a été définie comme un détail de la perception, les surfaces verticales (périphériques) par rapport à la surface horizontale (centrale).

La deuxième : la dimension (uniforme / non uniforme) a été définie comme faisant référence à la modélisation des surfaces de l'espace en se focalisant sur la modélisation des objets qui composent ce dernier, dans une pièce la dimension (lumineuse / sombre) a été définie par l'intensité lumineuse perçue sur le plan de l'activité horizontale.

La troisième : la dernière dimension de cette étude que Flynn a appelé la dimension visuelle (chaude / froide). Cette dimension vise une composante très importante, celle de la tonalité de couleur de l'éclairage, cette dimension varie beaucoup dans cette étude, plus que dans les études antérieures. Cette dimension était confirmée par l'analyse MDS. Comme conclusion très importante réalisée lors de cette étude dans le domaine des évaluations lumineuses, Flynn a noté que certaines dimensions d'éclairage pourraient être submergées dans l'analyse si la variabilité des conditions externes d'éclairage n'était pas forte, d'où il recommande pour toutes études qui visent à évaluer les ambiances lumineuses il est important de faire varier les acteurs

conditions lumineuse de l'étude de manière très confédérale, afin de mesurer son impact sur l'utilisateur de l'espace.

### 2.8. Etudes de Groupe de recherche de l'école d'architecture Bartlett London

Après les recherches menées par Flynn, un groupe de chercheurs de l'école d'architecture de Londres a mené un travail similaire à celui déjà réalisé des années auparavant par Flynn on peut citer les travaux de (Hawkes, Loe, & Rowlands, 1979; Loe, Mansfield, & Rowlands, 1994); Dans leurs études initiales, 18 conditions d'éclairage ont été testées dans un espace bureau à usage pour deux personnes. Les systèmes d'éclairage produisent tous à peu près le même éclairage sur le plan du bureau, les sujets évaluent les systèmes utilisant une échelle sémantique et en utilisant aussi des jugements de similarité. Les résultats obtenus de l'analyse factorielle ont montré qu'il existe deux facteurs indépendants, qui sont la « Luminosité de l'espace » et « L'intérêt de l'espace ». Les échelles sémantiques utilisées dans cette étude ne comprenaient pas ceux que Flynn avait déjà classés comme (évaluative), et le facteur de « Luminosité » inclue l'échelle liée à la clarté visuelle et d'espace. Les différents systèmes d'éclairage ont été associés aux deux facteurs dégagés dans cette l'étude sont représenté sous forme de schéma (voir La figure 2.21), avec des lignes de préférences. Les chiffres permettent de faire une lecture de la dépendance entre les deux éléments (Luminosité/ intérêt).

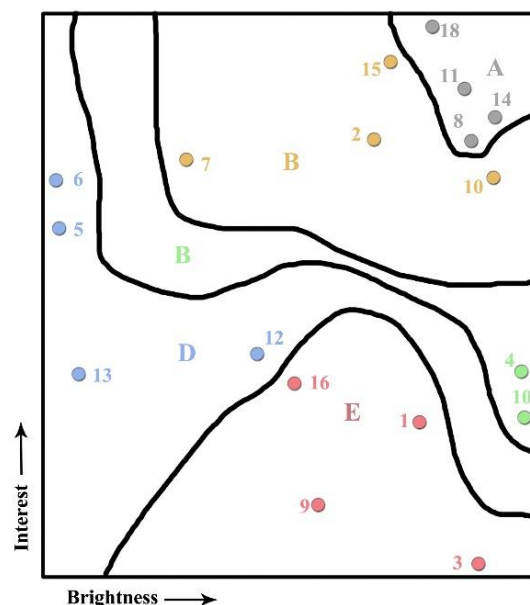


Figure 2.21 : Représentation des résultats de l'analyse factorielle (Luminosité/ intérêt) (Hawkes, Loe, & Rowlands, 1979)

Pour l'analyse des corrélations des variables d'éclairage, le groupe de chercheurs de l'école d'architecture de Londres, a utilisé des techniques (Multidimensionnelles Scaling MDS), la même technique utilisée déjà dans les études précédentes par Flynn afin d'interpréter les

résultats de cette étude, mais d'après les résultats obtenus par la technique d'analyse (MDS) ne sont pas très fiables et interprétables. Car lors de l'analyse (MDS) cette dernière, compare presque un même éclairage du plan de travail, et un éclairage presque identique, avec des évaluations différentes. Ce qui rend des comparaisons détaillées entre configurations difficiles et voir même impossibles, et pour finaliser cette équipe de recherche recommande la même chose que celle recommandée par Flynn, concernant l'importance des variations du climat lumineux lors des études d'éclairage et leurs impacts très considérables sur la pertinences et la généralisation des résultats expérimentaux obtenus à travers ces études.

### **2.9. L'études de Veitch Newsham**

Quelque années après les recherches menées par le groupe de recherche de l'école d'architecture de Londres, d'autre recherches on vu le jour dans le domaine de l'évaluation subjective de l'environnement lumineux ont été réalisées par, Jennifer Veitch dans la cellule, (National Conseil de recherches du Canada), (Veitch & Newsham, 1998); (Veitch, 2001). Lors de la recherche dans les travaux antérieurs de Flynn et des chercheurs de Bartlett, Veitch a supposé que la taille des échantillons étaient trop petite pour une analyse approfondie des facteurs, et que les échelles utilisées ne sont pas très claires dans certains cas, et surtout que les résultats n'avaient jamais été indépendamment vérifiés. Pour remédier au problème soulevé, Veitch et Newsham ont proposé une étude, cette dernière a été réalisée dans un espace de bureau ouvert. L'étude a été sous forme d'inter-sujets, avec 292 sujets au total (140 hommes et 152 femmes). Les sujets évaluant les configurations, avec une échelle sémantique, composée de 27 échelles sémantiques, qui ont été sélectionnées sur la base de travaux antérieurs de Flynn et Hawkes. Mais dans cette étude, les sujets ont travaillé dans l'espace pendant plusieurs heures avant d'effectuer leur évaluation. L'échelle sémantique a été évaluée sur une échelle continue de 0 à 100. Aucune similitude de jugements n'a été utilisée dans cette étude. Les sujets ont été exposés à neuf conditions d'éclairage différentes, ensuite ces conditions ont été évaluées, puis traitées sur la base de deux mesures : une de qualité d'éclairage et l'autre de puissance d'éclairage.

Les données ont été analysées par une analyse de composantes principales (ACP), qui a abouti à trois facteurs représentés (Voir tableau 2.2 ). Dans cette étude, Veitch à utilisé, les neuf échelles sémantiques, mais n'a pas surchargé les facteurs avec des indicateurs pour la vérification (pour indicateurs déjà vérifier par Flynn), qui étaient déjà ressortis comme très importants dans l'étude de Flynn et qui sont : chaud-froid, généraux-périphérique, grands-petits, public-privé, clair, brumeux (sombre). Le premier facteur "attraction visuelle" comprenait 13 échelles, dont certaines sont similaires à ceux que Flynn a appelé la

«préférence». Le deuxième facteur a été la « complexité » qui était composé de quatre échelles y compris une échelle d'uniformité. Le troisième facteur a été la «luminosité" qui est inclus dans l'échelle (lumineuse-Dim). Cette solution à trois composants a représenté 46% de la variante, conduisant Veitch à conclure que les résultats ne sont pas compatibles avec les résultats des études de Flynn ou Hawkes.

Tableau 2.2 : Les trois facteurs ressortis par analyse de composantes principales (Source : Veitch, 2001)

	Unrotated Component Loadings		
	Visual attraction	Complexity	Brightness
Like - dislike	0.837		
Pleasant - unpleasant	0.836		
Beautiful - ugly	0.825		
Attractive - Unattractive	0.820		
Interesting - monotonous	0.767		
Colorful -Colorless	0.724		
Comfortable - Uncomfortable	0.718		
Subdued - stimulating	- 0.673		
Gloomy - radiant	- 0.611		
Spacious - Cramped	0.610		
Somber - Cheerful	- 0.608		
Tense - relaxing	-0.540		
Cluttered - uncluttered		- 0.610	
Nonuniform - uniform		- 0.589	
Constant - flickering		0.569	
Complex - Simple		- 0.515	
Bright - dim			0.655
Glaring - not glaring			-0.462
Warm - cool			0.655
Overhead - peripheral			
Large - small			
Dramatic - diffuse			
Faces clear - faces obscure			
Public -private			
Formal - casual			
Clear - hazy			
Percent Vaiance Explained	28.77	9.27	6.18
Cronbach's		0.92	0.51
			N/A

Dans l'étude menée par Veitch, il a également gardé l'échelle « éblouissement », et il a ajouté aux trois autres variables citées précédemment. L'ensemble des quatre mesures 'variables' ont ensuite été utilisées comme variables dépendantes pour les tests de signification 'corrélations'. Les résultats obtenus ont démontré que : la variable attraction visuelle n'a produit aucune corrélation significative avec les conditions d'éclairage ; par contre les trois autres variables ont montré des différences significatives entre les conditions d'éclairage. Parce qu'elles avaient répondu à certaines disfonctionnements 'faiblesses' apparentes dans les recherches antérieures, Veitch a exprimé son explication au sujet des incohérences dans les résultats par rapport à celles des recherches antérieures par :

« Les résultats soulèvent des questions importantes que la recherche à l'avenir doit répondre, déterminer l'apparence de la pièce n'est pas résolue dans un seul modèle typique

de la recherche de composants, dans ce domaine, malgré plus de sujets (plus de personnes) est adéquats : les rapports des articles est une sélection de balances différentielles sémantiques choisies dans la littérature. La faiblesse de ces mesures a rendu plus difficile à détecter les effets significatifs. Après avoir tenté d'utiliser seulement des mesures qui se sont révélées utiles dans la recherche précédente, nous a conduits à la conclusion que sur ce côté-là (mesures), notre meilleur résultat n'est pas encore assez bon » (Veitch & Newsham, 1998), p. 124.

A propos de l'incohérences des résultats obtenus par (Veitch et Newsham), ces derniers justifient en partie l'incohérence découverte dans les recherches antérieures, et ils ont déduit qu'ils peuvent être causés par les conditions choisies de l'éclairage par les chercheurs, et aussi par les deux variables indépendantes choisies par le concepteur pour évaluer la densité et la qualité de la puissance d'éclairage des espaces, qui ne se rapportent pas aux dimensions que Flynn a rapporté à son analyse (MDS). En effet, les neuf conditions testées semblaient avoir peu de variation (ou presque pas de variations) dans l'éclairage de bureau. La cohérence de l'ensemble de la distribution spatiale réelle de la lumière peut expliquer pourquoi les résultats ne valident pas les études Flynn. Cela est dû au fait que l'éclairage a été plus délibérément varié pas les études Flynn, et aussi au fait qu'il y a une différence très importante dans la population étudiée dans les deux études, dans l'étude (Veitch et Newsham), les groupes faisant l'objet d'environ 30 sujets, chacun a évalué chacune des neuf conditions d'éclairage ; les différences individuelles probablement l'augmentation de la variabilité globale, ce qui rend plus difficile la production significative de chaque condition.

## **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons fait une revue de littérature des différentes recherches antérieures qui ont été réalisées dans le domaine des études des interactions d'utilisateur avec son environnement de travail. Parmi ces travaux, celui de Flynn, son étude s'est déroulée dans une salle de conférence en deux phases, dans la première phase Flynn a utilisé six différents modes d'éclairage, avec une population de quatre-vingt-seize sujets subdivisés en sous douze groupes, chaque groupe a procédé à une notation par système, après avoir visité l'espace, l'analyse de contenus et des facteurs des résultats a donné cinq facteurs. Flynn a fait référence à ces facteurs nommés (les catégories d'impressions visuelles), qui sont : evaluative, perceptual, clarity, spacial complexity, spaciousness, formality. Et d'après les résultats obtenus par Flynn, il a conclu aussi que les mesures répétées apportent beaucoup d'informations sur l'environnement lumineux et que cette méthode a des résultats très fiables, et qu'elle offre aussi l'avantage de limiter l'impact individuel sur les résultats de l'expérience lumineuse vécue. La deuxième phase de l'étude a consisté elle aussi en des évaluations de l'espace avec les six différentes configurations, mais avec un nombre restreint de sujets, qui est égal à 46 sujets, et les évaluations ont été analysées par la suite avec la méthode de comparaison par paires, avec la possibilité des sujets de visualisation des paires de conditions. Cette analyse a dégagé trois dimensions. Flynn a appelé ces dimensions les « modes d'éclairage », et nommé les trois modes qui ont résulté de cette étude : A- Le mode de dessus (aérien) / périphérique. B- Le mode non uniforme / uniforme. C- Le mode clair / obscur. Pour la seconde étude de Flynn, il eut recours à cinq configurations d'éclairage, testées dans trois salles différentes 'salle de réunion', pour l'analyse des résultats obtenus Flynn a utilisé la technique (multidimensionnels scaling MDS) déjà utilisée lors de la première étude de la salle de réunion, mais il a aussi utilisé une analyse de composantes principales. Les deux analyses ont ressorti six facteurs qui sont : la clarté visuelle, la notion de l'espace, l'agrément, la spatialité, la complexité et la prééminence personnelle. Pour une meilleure visibilité, les résultats ont été représentés sous forme de schémas et graphes pour faciliter la comparaison des résultats obtenus sous chaque configuration lumineuse testée auparavant. Dans le but de tester la pertinence des résultats obtenus précédemment Flynn, a choisi de faire une étude dans un espace totalement différent des deux premiers. Pour cela il a choisi un auditorium, où les sujets ont utilisé 13 échelles sémantiques pour évaluer (07) configurations différentes d'éclairages. Après cela une similitude de jugements a également été réalisée, elle a révélé des dimensions, avec les mêmes descriptions qui sont : la dimension (uniforme / non uniforme) et la dimension (spéculaires / non spéculaires). Dans la dernière étude de Flynn, l'expérimentation a eu lieu dans un



laboratoire, ou il a développé sept conditions lumineuses, et avec une population composée de huit groupes de 10 sujets chacun, qui devait évaluer l'espace en utilisant des échelles sémantiques qui ont été déjà utilisées dans l'étude précédente. L'analyse des résultats a mis en lumière l'existence de trois grandes catégories d'impressions qui sont : visuel, perceptive, comportement et préférence. Dernière chacune des catégories existe une multitude de dimensions visuelles. Le groupe de recherche de Londres a mené des recherches similaires à celle de Flynn, où 18 conditions d'éclairage ont été testées, dans un espace de bureaux, lors de cette étude le groupe de recherche a veillé à garder le même niveau d'éclairage sur le plan de travail. Les sujets ont été appelés à évaluer les systèmes en utilisant une échelle sémantiques et en utilisant aussi des jugements de similarité. Les résultats de l'analyse factorielle ont montré qu'il existe deux facteurs indépendants, qui sont la « luminosité de l'espace » et « l'intérêt de l'espace ». Les échelles sémantiques utilisées dans cette étude ne comprenaient pas celles que Flynn avait déjà classées comme (évaluative), et le facteur de « Luminosité » inclut les échelles liées à la clarté visuelle et d'espace. Dans cette étude l'analyse factorielle n'a pas donné de bons résultats car les variations dans les niveaux d'éclairage sur le plan de travail étaient minimes ou presque non existantes. Dans la dernière étude, celle menée par Veitch, ce dernier a mis en cause le nombre limité des sujets qui ont participé à l'évaluation des différentes configurations lumineuse dans les études précédentes, à supposer que la taille des échantillons était trop petite pour une analyse approfondie des facteurs. C'est pour cela que dans ses études Veitch a choisi un échantillonnage composé de 292 sujets au total (140 hommes et 152 femmes). Les sujets évaluant les configurations, avec une échelle sémantique, composée de 27 échelles, Les données ont été analysées par une analyse de composantes principales (ACP), qui a abouti à trois facteurs qui sont : Visuel attraction, complexity, brightness. Pour cette étude aussi, l'étude d'analyse des factoriels n'a pas donné de bons résultats car les variations dans les niveaux d'éclairage n'ont pas été aussi significatifs.

## Référence

- Acking, B. C., & Kuler, H. (1972). The perception of an interior as a function of its colour. *Ergonomics*, 15(6), 645-654.
- Boyce. (2003). Lighting for the elderly. *Technology and Disability*, 15(3), 165-180.
- Elder, p. J., & Tibbott, R. L. (1981). Les bureaux conçus pour économiser énergie sont-ils appréciés? *Taylor & Francis*.
- Elton, O. (1920). *A Survey of English Literature 1780-1880* (Vol. 2). Macmillan.
- Farrenkopf, T., & Roth, V. (1980). The university faculty office as an environment. *Environment and Behavior*, 12(4), 467-477.
- Flynn, J. (1974). Lighting design decisions as intervention in human visual space (The role of CIE'Study Group A'). *Symposium—1974/CIE'Study Group A'*, . Montreal, Canada: 1974.
- Flynn, J. E. (1988). Lighting-design decisions as interventions in human visual space. *Environment Aesthetic: Theory, Research, and Applications*, 156-170.
- Flynn, J. E., & Spencer, T. J. (1977). The effects of light source color on user impression and satisfaction. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 6(3), 167-179.
- Flynn, J. E., Spencer, T. J., Martyniuk, O., & Hendrick, C. (1973). Interim study of procedures for investigating the effect of light on impression and behavior. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 3(1), 87-94.
- Flynn, J., Spencer, T., Martyniuk, O., & Hendrick, C. (1975). *The influence of spatial light on human judgment*. CIE Congress London, England.
- Goodrich, R. (1982). Seven office evaluations: A review. *Environment and Behavior*, 353-378.
- Graen, G. B., Scandura, T. A., & Graen, M. R. (1986). A field experimental test of the moderating effects of growth need strength on productivity. *Journal of Applied Psychology*, 71(3), 484.
- Hackman, J. R., & Morris, C. G. (1975). Group tasks, group interaction process, and group performance effectiveness: A review and proposed integration. *Advances in experimental social psychology*, 8, 45-99.
- Hackman, J. R., & Oldham, G. R. (1976). Motivation through the design of work: Test of a theory. *Organizational behavior and human performance*, 16(2), 250-279.
- Hackman, J. R., & Oldham, G. R. (1980). Work redesign.
- Harris, L. (1978). *The Steelcase National Study of Office Environments: Do They Work?* Steelcase.
- Hawkes, R., Loe, D., & Rowlands, E. (1979). A note towards the understanding of lighting quality. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 8(2), 111-120.
- Jacques, L., & Cuny, X. (1977). *Introduction a la psychologie du travail*. Presses universitaires de France.
- Leplat, J. (2004). L'analyse psychologique du travail. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 54(2), 101--108.
- Loe, L., Mansfield, K., & Rowlands, E. (1994). Appearance of lit environment and its relevance in lighting design: Experimental study. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 26(3), 119-133.

- Manning, P. (1995). *Office Design: A Study of Environment*. ERIC.
- Ne'eman, E. a. (1984). Office worker response to lighting and daylighting issues in workspace environments: A pilot survey. *Energy and buildings*, 6(2), 159-171.
- Russell, J. A. (1978). Evidence of convergent validity on the dimensions of affect. *Journal of personality and social psychology*, 36(10), 1152.
- Russell, J. A. (1979). Affective space is bipolar. *Journal of personality and social psychology*, 37(3), 345.
- Stenzel, A. (1962). Experience with 1000 lx in a leather factory. *Lichttechnik*, 16.
- Sundstrom, E., Burt, R. E., & Kamp, D. (1980). Privacy at work: Architectural correlates of job satisfaction and job performance. *Academy of Management Journal*, 23(1), 101-117.
- Tan, T. H., & Waheed, A. (2011). Herzberg's motivation-hygiene theory and job satisfaction in the Malaysian retail sector: The mediating effect of love of money.
- Veitch, J. A. (2001). Psychological processes influencing lighting quality. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 30(1), 124-140.
- Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (1998). Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction, and comfort. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 27(1), 107-129.
- Viorel, L. a., Virgil, M. C., & Stefania, P. R. (2009). Employees motivation theories developed at an international level. *Annals of the University of Oradea, Economic Science Series*, 18(4), 324--328.
- Weston, H. C. (1922). *A study of efficiency in fine linen weaving*. Industrial Fatigue Research Board.
- Wineman, J. D. (1982). Office design and evaluation: An overview. *Environment and Behavior*, 271-298.
- Wineman, J. D. (1982). The office environment as a source of stress. *Environmental stress*, 256-285.

# Chapitre 03

## **Introduction**

L'éclairage naturel, un stimulus environnemental, qui affecte simultanément deux composantes très importantes de notre organisme, les composantes : chimique et physique. Lorsque la lumière du jour entre en contact avec notre système visuel sous différentes conditions environnementales cas du ciel clair ou couvert ..., elle provoque des changements de comportements chez les usagers et des sensations différentes selon le climat lumineux externe, en réagissant à un signal lumineux externe. Notre perception de l'environnement immédiat nous informe sur les qualités environnementales de l'espace, tel que la clarté, de l'harmonie, ou la luminosité. Les messages et les impressions, que nous recevons à partir du monde externe affectent notre appréciation affective et influe donc nos décisions et nos comportements. L'évaluation affective de l'environnement lumineux se réfère à la manière dont d'autres personnes l'évaluent, ou ils ont vécu une telle expérience, avec tel environnement externe, (Russell & Snodgrass, 1987). Cette évaluation se distingue de l'humeur, qui est plus interne et pas nécessairement dirigée vers quoi que ce soit. Bien que l'évaluation et l'humeur s'influencent mutuellement, mais elles peuvent également être tout à fait indépendantes l'une de l'autre. L'évaluation affective de tel environnement ou tel autre peut se produire, sans sentiments émotionnels internes attachés. En d'autres termes, quand un sujet est invité à évaluer une qualité affective d'un environnement lumineux externe ou interne, il peut donner une évaluation qui semble contredire son humeur. L'humeur a une influence directe sur le comportement indépendant de la perception. Une humeur positive pourrait encourager un comportement donné, alors qu'une humeur négative pourrait l'entraver. Par exemple, une ambiance agréable semble augmenter le comportement positif d'un individu, et cela affecte de manière positive son rendement. En plus de l'environnement physique, la personnalité et le contexte social certainement affectent comportement (l'évaluation), mais ces variables sont exclues de notre étude. L'objectif principal de ce chapitre est de faire un tour d'horizon sur les différents modèles préétablies et méthodes récemment développés par les recherches afin d'évaluer les interactions complexe entre l'environnement lumineux physique, et les émotions des occupants de l'espace architectural.

### 3.1. Modèles conceptuels

#### 3.1.1. Comportement humain et éclairage naturel dans le bâtiment

En se basant sur les hypothèses proposées dans la première partie de notre travail (voir chapitre introductifs), ainsi que le travail de recherche bibliographique, nous avons développé un schéma global de notre modèle conceptuel, ce dernier a été développé après la consultation de plusieurs autres modèles proposés dans les recherches précédentes. Ce modèle se base essentiellement sur les trois acteurs de l'ambiance, qui sont : l'espace, l'utilisateur et les interactions qui peuvent exister entre l'utilisateur de l'espace, son environnement physique, dans notre cas c'est la salle de dessin assisté par ordinateur. Pour le développement de notre modèle, nous nous sommes particulièrement intéressés à deux théories pertinentes citées comme référence de base dans une multitude de recherches antérieures dans le domaine, ces dernières représentent une référence dans le domaine d'évaluation de l'environnement lumineux, ce sont celle de (Boyce, 2003), et aussi celle de (Russell & Snodgrass, 1987).

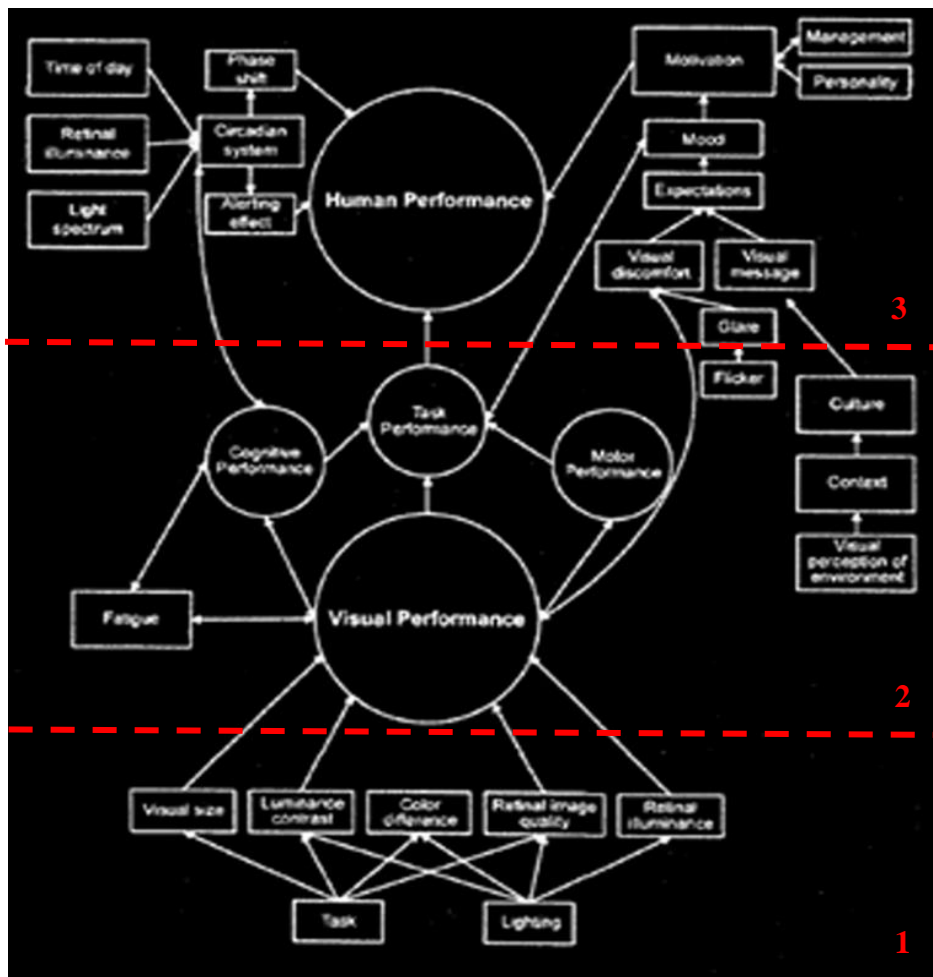


Figure 3.1: Modèle conceptuel de l'éclairage développé par Boyce (source : Boyce, 2003)

### 3.1.2. Modèle de Boyce

Dans le cadre conceptuel de l'éclairage (voir Figure 3.1) développé par Boyce, on peut constater qu'il est subdivisé en trois parties, l'utilisateur, la tâche visuelle et l'environnement lumineux et qu'il existe un espace entre les trois que Boyce qualifie d'espace très important, cet espace représente l'interaction entre l'utilisateur et son environnement lors de l'exercice de la tâche visuelle donnée. L'interaction selon la définition de Boyce est la relation de l'être humain 'utilisateur' face à l'environnement physique donné lors de l'exercice d'une tâche donnée dans un temps T. On peut dire aussi que dans ce modèle proposé par Boyce, la performance visuelle contribue à la performance des tâches visuelles, ces dernières sont classées en trois grands types qui selon leurs composantes : visuelle, cognitive et motrice. Boyce explique que :

- La composante visuelle : désigne le processus consistant à extraire les informations pertinentes pour l'exécution de la tâche à l'aide du sens de la vue.
- La composante cognitive : est le processus par lequel des stimuli sensoriels sont interprétés et les mesures appropriées déterminées.
- La composante motrice : est le processus par lequel les stimuli sont manipulés et extrait des informations, où des actions décidées sont effectuées. Bien sûr, ces trois composantes interagissent entre elles pour produire des relations complexes entre stimuli et la réponse à un environnement lumineux externe donné. (voir Figure 3.2).

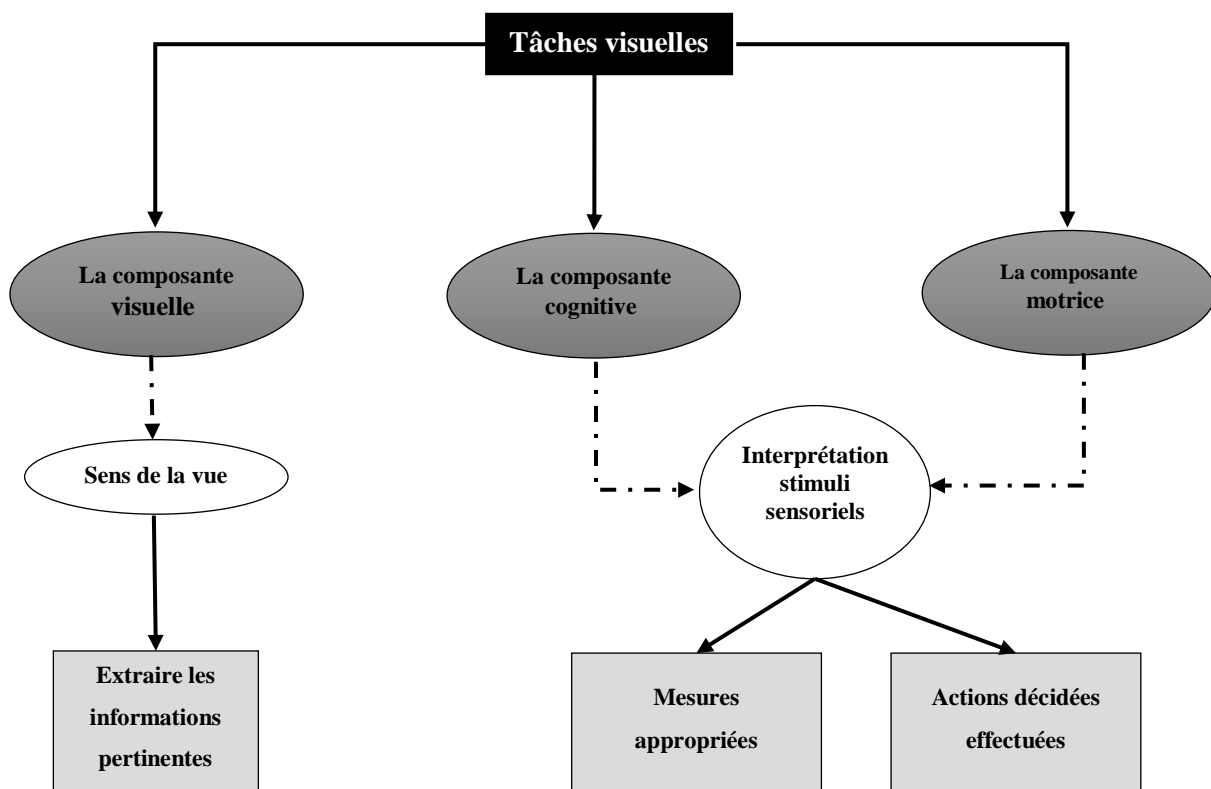


Figure 3.2: Les trois composantes des tâches visuelles (source : Auteur)



Il y a aussi une autre façon par laquelle les conditions d'éclairage peuvent affecter, de façon très significative, le travail et les tâches visuelles à accomplir, et même le système visuel en totalité, et cela grâce à notre système de perception. Car selon Boyce, le système perceptuel reprend le traitement de l'information et la compréhension dès que l'image de la rétine a été traitée par le système visuel. Toujours selon Boyce, l'évaluation la plus simple du système de perception humain est la mesure du sentiment visuel inconfort, car cet indice peut changer l'humeur et la motivation de l'observateur, en particulier dans les conditions de travail prolongé.

### 3.1.3 Modèle de Russell

La deuxième approche, c'est celle de (Russell & Snodgrass, 1987) dans cette approche, il a introduit la séquence appelée l'approche « Plan-Voyage-Exécute » afin de comprendre comment l'utilisateur organise les tâches à faire dans un espace donné, et à partir de cela, il analyse leur comportement dans l'espace et le temps. Normalement, dans le cas où une personne 'l'utilisateur de l'espace' a un plan original dans la tête 'plan imaginé' avant de venir dans un certain environnement lumineux. En choisissant un endroit où la tâche doit être réalisée, de nombreux facteurs pourraient jouer un rôle, mais un facteur est souvent dominant plus que les autres, c'est le facteur de la qualité affective de l'endroit. Et là Russell pose la question clé, c'est comment les éléments d'un lieu sont effectivement évalués et liés à l'humeur préalable de la personne dans l'espace, le niveau de l'adaptation, et les attentes de cette personne. (Voir Figure 3.3) illustre le cadre théorique de Russell : l'interaction entre personnes et l'environnement par l'intermédiaire de l'humeur.

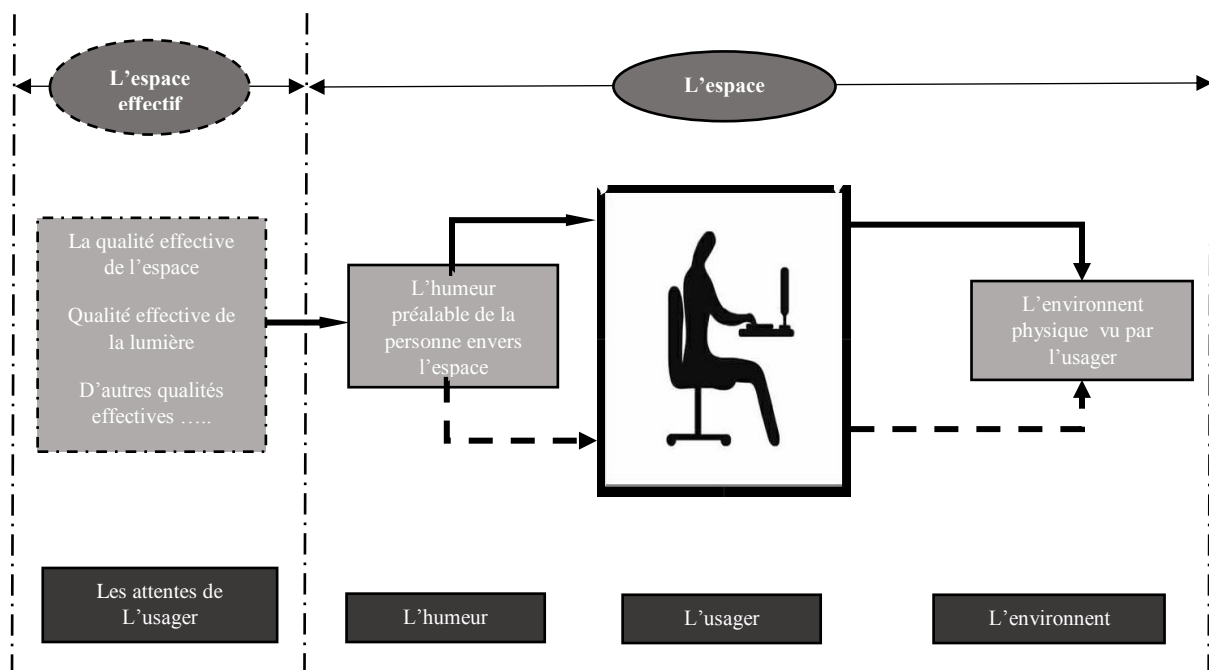


Figure 3.3: Modèle de Russell de l'humeur préalable (source : Auteur)

Russell explique sa théorie sur le comportement des usagers dans l'espace et le temps comme tel : avant que l'utilisateur n'arrive dans un endroit, ce dernier a une image dans sa tête de cet endroit, avec un plan original et (une ambiance préalable). Cette personne fait face à deux possibilités : ce plan peut être soit bloqué ou facilité par la configuration des lieux ou de l'environnement. Dans le même temps, il peut être affecté de manière émotionnelle, même s'il peut ne pas être au courant du changement de l'humeur. Avec le nouvel état d'esprit, la personne peut créer un nouveau plan et entreprendre des activités correspondantes.

### 3.1.4. Modèle de Bay

Le modèle de Bay est une évolution logique de celle de Russell, Bay suppose que l'environnement physique est un élément prédateur très important de variables comportementales, et que les activités humaines affectent à leur tour la création d'environnements. Il avance aussi que les espaces qui sont conçus pour être compatibles avec les activités de leurs occupants ont généralement des effets positifs. Ces espaces doivent normalement être bien entretenus et mis à jour, pour tirer davantage de rendement, des personnes et d'activités, ainsi de manière presque automatique la création d'un cycle de rétroaction positive entre les occupants de l'espace et leur environnement physique (Bay, 2004).

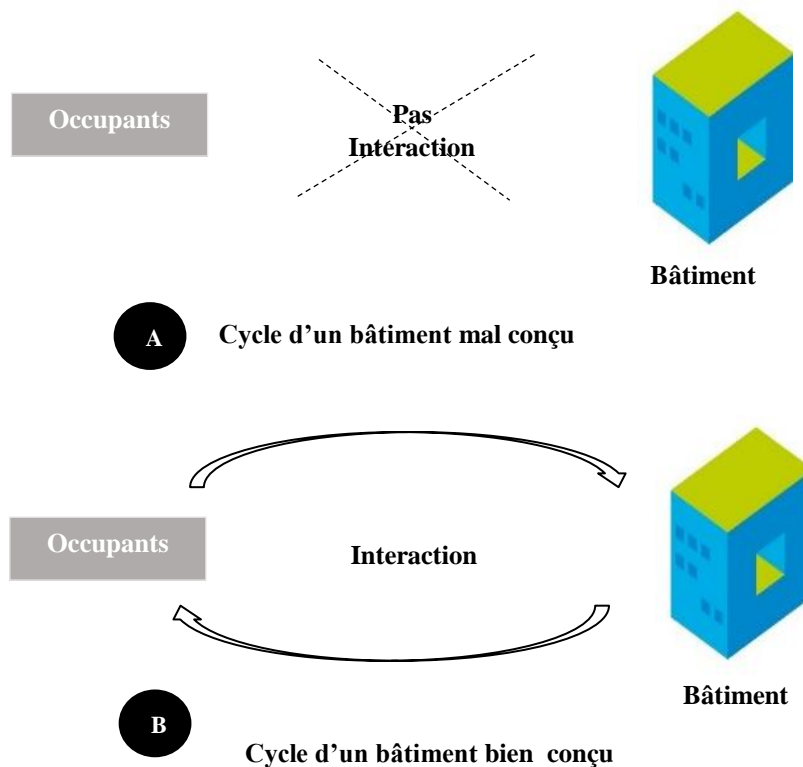


Figure 3.4: Le cycle de rétroaction positive occupants-Bâtiment selon Bay (source : Auteur)

Selon Bay, (2004) au contraire, les espaces mal conçus bloquent l'interaction (voir Figure 3.4). Par exemple, des études ont montré que les gens ferment les stores pour éviter l'éblouissement mais il est très rare qu'ils les ouvrent après que l'éblouissement ait disparu de leur fenêtre. (Rea, Ouellette, & Tiller, 1990; Reinhart, 2002; Lindsay & Littlefair, 1993; Leslie, Raghavan, Howlett, & Eaton, 2005). Dans ces cas, tous les avantages de l'énergie de la fenêtre sont annulés tandis que les inconvénients d'une mauvaise performance thermique de la fenêtre sont encore présents. Donc d'après les recherches de Bay, on peut déduire que, l'environnement lumineux nous influence d'une manière très profonde, car notre corps aperçoit la lumière en premier et ensuite cette lumière est reçue par notre perception visuelle, et notre humeur est affectée en conséquence.

### **3.2. Développement du schéma conceptuel du modèle proposé**

Le fait que le bâtiment et ses occupants sont liés entre eux ne peut pas être négligé dans la conception. Une pleine compréhension de cette relation dynamique permet aux architectes de concevoir des espaces intérieurs qui sont compatibles avec le comportement des occupants. D'une part, un résultat positif de l'interaction améliore la performance environnementale d'un bâtiment. D'autre part, il contribue également à améliorer le bien-être des occupants et de maintenir un bon niveau de rendement et de confort visuel. Basés sur les théories et les modèles précédents, nous allons développer un modèle conceptuel qui a comme objectif de nous aider à étudier la réponse comportementale des occupants dans la salle de conception assisté par ordinateur. Notre approche va se baser sur la réponse et les actions des utilisateurs réagissant à l'environnement intérieur dans lequel ils se trouvent (salle CAO). Car d'après la recherche théorique il a été prouvé que le comportement est la réponse d'un être humain à son environnement externe et aux besoins internes (Porteous, 1977). En termes généraux, le comportement humain se réfère à des actions manifestes effectuées par des personnes en réponse à des stimuli environnementaux ou auto-générés, à base de la personnalité culturelle, sociale, et environnementale des sous-systèmes (Parsons, 1966). Donc dans notre modèle, nous allons définir des réponses comportementales en termes spécifiques, en mettant l'accent sur les réactions des sujets au stimulus environnementaux immédiats et en relation directe avec leur état psychophysique. On souligne que le comportement des usagers de la salle est lié de manière conditionnelle avec le type d'éclairage de cette dernière, et qu'eux aussi à leur tour sont affectés par l'organisation et l'interprétation des conditions de leur environnement. Le modèle développé nous permettra d'étudier et de comprendre les interactions qui existent entre les usagers et leur environnement lumineux, cela à travers les évaluations ainsi que leurs comportements et performances sous les différents environnements lumineux. (Voir Figure 3.5)

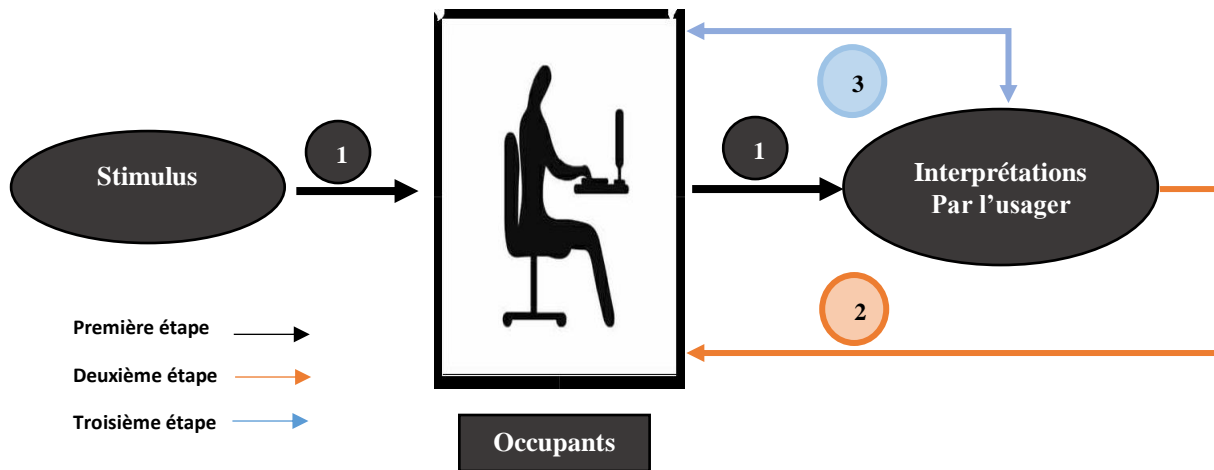


Figure 3.5: Etapes d'interaction occupant/ stimulus (source : Auteur)

C'est pourquoi dans la méthodologie proposée, nous avons opté pour le test du cas d'étude avec quatre configurations lumineuses différentes qui inclut à la fois l'éclairage naturel, artificiel est mixte, par la suite nous examinons les réponses visuelles des utilisateurs de l'espace selon deux méthodes, la première vise à évaluer la perception de l'espace par les sujets, cela sera évalué grâce à des questionnaires administrés aux usagers de la salle. La seconde méthode est faite par la prise des mesures, une campagne de mesures in situ dans la salle, on a aussi eu recours à des images numériques comme support à la prise des grandeurs photométriques. En plus de l'environnement physique, la personnalité et le contexte social affectent certainement le comportement (l'évaluation), mais ces variables sont exclues de notre étude.

### 3.2.1. Présentation du modèle de conceptuel

D'après notre revue de littérature on constate l'existence d'une grande convergence entre notre manière de prise en considération des aspects physique lumineux extérieurs et les modèles développés par Boyce, notre cadre conceptuel tient aussi compte des facteurs comportementaux et d'autres facteurs liés à l'évaluation de la performance visuelle et humaine, d'où nous nous sommes inspirés pour enrichir notre modèle par les travaux de Russell. Qui ont eu comme but de comprendre comment le comportement humain de l'utilisateur est organisé dans l'espace et le temps. Notre modèle conceptuel se divise en deux grandes parties, l'une est complémentaire par rapport à l'autres et ces deux dernières sont liées par l'activité (la performance de l'activité) (voir Figure 3.6) :

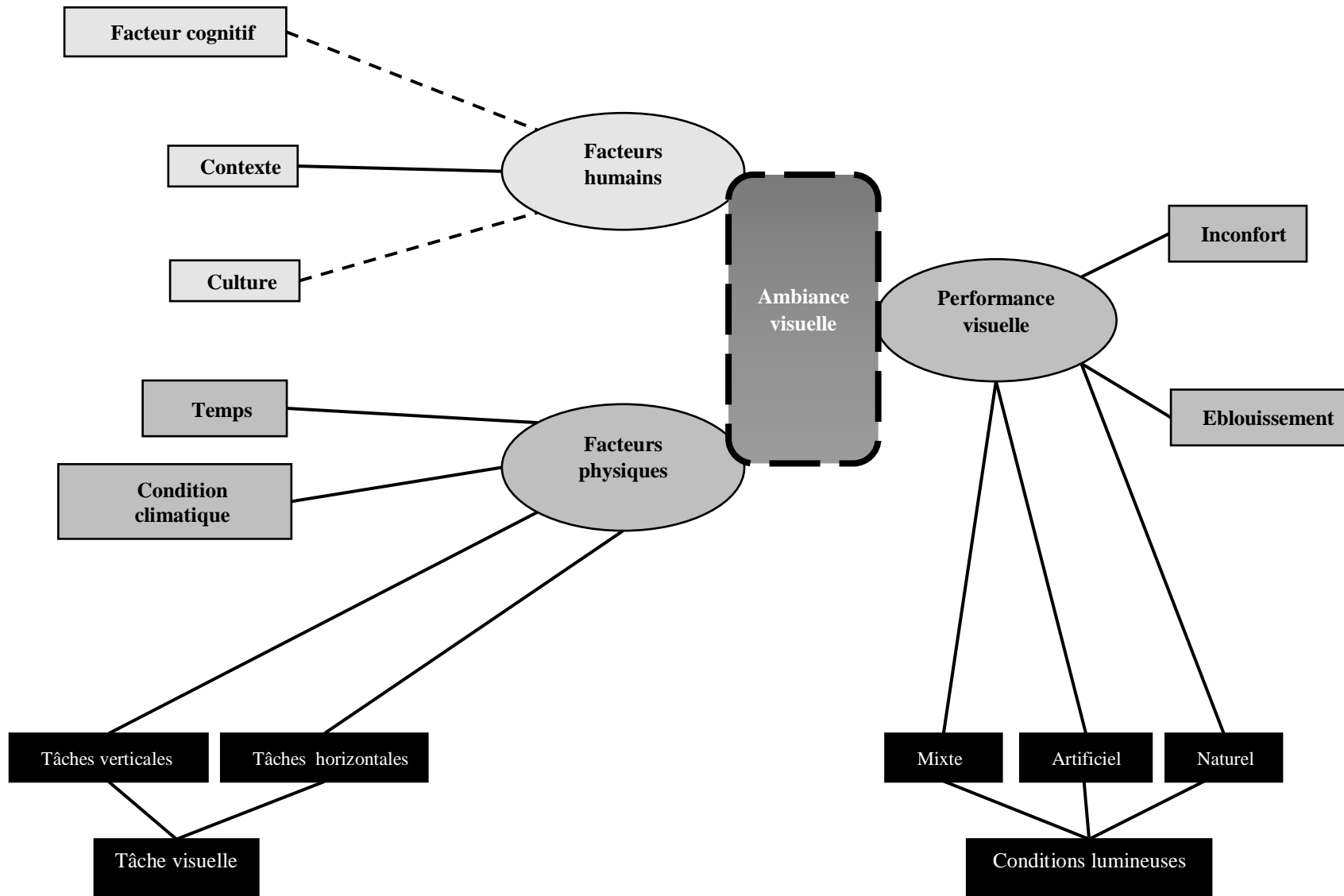


Figure 3.6: Schéma du modèle conceptuel proposé (source : Auteur)

La première partie c'est la performance humaine, elle dépend de deux facteurs, le moment de la journée, qui a une influence direct sur notre horloge interne et notre bien-être, car le fonctionnement de cette dernière est régi par la quantité de lumières externe (stimulus externe), et comme la quantité de lumière change de manière cyclique dans la journée, notre horloge interne suit aussi et elle se réfère au changement. Le second facteur de la performance humaine c'est (l'ambiance lumineuse), il existe plusieurs sous-facteurs qui ont une influence direct sur cette dernière, mais nous nous sommes limités à deux facteurs, le premier c'est le facteur physique (éblouissement et inconfort visuel), le second est le message visuel (le contexte, culture, composante du champ visuel ...). Notre travail de recherche a comme objectif d'étudier les interactions entre l'utilisateur de l'espace et son environnement lumineux, donc les autres variables (culture, subjectifs ...) sont exclues de notre étude (voir Figure 3.6). On peut aussi distinguer clairement sur le schéma la partie mesurée, cette dernière est liée aux indicateurs de l'environnement physique, éblouissement..., lors des activités visuelles à accomplir et qui aussi à leur tour dépendent de plusieurs sous facteurs (variables) qui sont :

- La taille du champ visuel, qui varie selon deux paramètres, l'activité exercée par l'utilisateur, et de l'emplacement de l'utilisateur dans l'espace.
- L'éclairage et la luminance au niveau de la rétine, ces deux facteurs sont décisifs au bon accomplissement des tâches visuelles et ils sont déterminants pour l'évaluation du confort visuel par rapport à ces deux facteurs. Dans le but de déterminer avec exactitude leur valeurs optimales, nous avons fait varier ces deux valeurs et de déterminer quelles seront les échelles optimales à l'accomplissement des tâches visuelles.
- La composition lumineuse du champ visuel, il s'agit de déterminer quelles sont les différentes composantes de la lumière qui arrivent au niveau des yeux de l'utilisateur : lumière directe, diffuse ou les deux, réfléchi, etc. Surtout le plus important et de savoir leur origine, l'environnement lumineux externe, écrans, tables, etc.

### **3.4. Méthodologie**

D'après le modèle conceptuel développé, on peut constater qu'il est fondé sur deux types d'indicateurs : des d'indicateurs subjectifs 'sujets' et d'autres objectifs 'environnement'. Ce qui est traduit systématiquement par une approche méthodologique combinée des deux approches, dans laquelle on utilise deux méthodologies différentes mais complémentaires : la première est une expérimentation simulée afin d'évaluer l'environnement physique, sur la base des critères purement objectifs et mesurables de l'ambiance lumineuse. La seconde est une enquête par questionnaire, cette dernière a comme objectifs de mesurer des indicateurs subjectifs de l'ambiance lumineuse visuelle.

### 3.4.1. Les mesures photométriques

#### 3.4.1.a. Méthodes basées sur l'éclairage

Cette méthode est la plus largement utilisée dans les investigations d'éclairage dans le bâtiment vu sa facilité d'utilisation et de son faible coût. L'éclairage horizontal est le plus répandu, la recherche bibliographique a démontré que cet indice peut être utilisé indépendamment de la source d'éclairage car il a été mesuré avec des sources : naturelle, mixte et même uniquement artificielle (Van Den Wymelenberg, Inanici, & Johnson, The effect of luminance distribution patterns on occupant preference in a daylight office environment, 2010). La recherche bibliographique a démontré aussi que les préférences des usagers par rapport à la quantité de lumière horizontale varient de manière très importante de 100 à 900 lux ( Boyce, et al., 2006; Newsham & Veitch, Lighting quality recommendations for VDT offices: a new method of derivation, 2001; Veitch & Newsham, 2000), avec une valeur harmonisée comprise entre 400 et 500 lux. Une très grande majorité des recherches suggère que les utilisateurs choisissent un niveau d'éclairage horizontal moins important à mesure que la lumière du jour augmente durant la journée, toutefois s'ils ont accès aux commandes ( Bulow-Hube, 2000; Escuyer & Fontoynt, Lighting controls: a field study of office workers' reactions, 2001; Halonen & Lehtovaara, Need of individual control to improve daylight utilization and user's satisfaction in integrated lighting systems, 1995; Newsham, Aries, & Mancini, 2008), le tableau ci-dessous (Tableau 3.1) résume les résultats obtenus de la recherche menée sur les niveaux d'éclairage horizontaux :

**Tableau 3.1: Récapitulatif des niveaux d'éclairage horizontaux (source : Van Den Wymelenberg, 2012)**

<i>Eclairage horizontal</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Source</i>
230-1000 lux	510 lux	(Halonen & Lehtovaara, 1995)
790-2146 lux	/	(Vine, Lee, Clear, DiBartolomeo, & Selkowitz, 1998)
/	En hiver 287 lux	
/	En printemps 343 lux	(Moore, Carter, & Slater, A field study of occupant controlled lighting in offices, 2002)
/	En été 419 lux	
91-770 lux	288 lux	(Moore, Carter, & Slater, 2003)
100-600 lux	/	(Escuyer & Fontoynt, 2001)
100-300 lux usage de PC	/	
/	550 lux	(Newsham G. R., Aries, Mancini, & Faye, 1998)



**3.4.1.b. Méthodes basées sur la luminance et contraste**

Vu la complexité des mesures de la luminance, en raison de la variabilité avec l'heure du jour, la période de l'année, l'état du ciel, la direction de vue, les études menées dans ce domaine sont assez récentes, la première, d'après (Osterhaus W. , 2006), Luckiesh, (1944) est l'un des premiers chercheurs qui a proposé l'utilisation de rapports de luminance comme base pour assurer la qualité de l'éclairage. D'après les résultats de la recherche bibliographique nous avons dressé le tableau 3.2, qui regroupe un récapitulatif des résultats obtenus :

**Tableau 3.2: Récapitulatif des Rapports des luminances (source : Osterhaus, 2006)**

<b>Rapport de luminance / Recommandions ' Tâche visuelle '</b>		<b>Source</b>
	2 /1 Différence de luminosité perceptible pour la mise au point. 3 /1 Entre la tâche et l'environnement plus sombre adjacent. 10/1 Entre la tâche et les surfaces sombres à distance. 20/ 1Entre source d'éclairage et les surfaces adjacentes. 40 /1 Ne doit être dépassé nulle part dans un champ de vision	(Egan, 1983)
	1/3 Entre la tâche et la lumière adjacente entoure 3/1 Entre la tâche et les environnements sombres adjacents 1/10 Entre la tâche et les surfaces lumineuses à distance 10/1 Entre la tâche et les surfaces sombres à distance 20/1 Entre les milieux adjacents à la lumière du jour et les surfaces adjacentes à la lumière du jour	(Rea M. S., The IESNA lighting handbook: reference & application, 2000) (Craig, Brownson, Cragg, & Dunn, 2002)
<b>Cas de lumière du jour</b>	1/1 Tâche visuelle 1/6 Tâche visuelle et surface adjacente 1/20 Tâche visuelle et surface distante	(Sutter, Dumortier, & Fontoynt, 2006)
	1/1 Tâche visuelle 1/3 Tâche visuelle et surface adjacente 1/10 Tâche visuelle et surface distante	(IESNA, 2006)

Le tableau 3.2 ne représente pas toutes les études qui ont été consultées lors de la recherche bibliographique, car les autres études fournissent des rapports de luminance recommandée dans une gamme similaire à celle dans Le tableau 3.2. D'après le tableau, on constate aussi que les

recommandations de (Sutter) sont deux fois supérieures à celles de (IESNA), mais ils sont conformes à la nouvelle recommandation pour les médias de lumière du jour de Maximale de 1/20, Les auteurs (Sutter, Dumortier, & Fontoynt, 2006) ont également constaté que les utilisateurs toléraient jusqu'à 1:50 aussi longtemps qu'il a été limité à des zones relativement petites, comprenant moins de 5% du champ de vision.

### 3.4.1.c. Méthodes basées sur l'indice d'éblouissement

L'éblouissement a été défini par la (C.I.E) en 1957 comme «condition de vision dans laquelle il y a de l'inconfort ou une réduction dans la capacité de voir des objets significatifs, ou les deux ». Il existe aussi une autre définition celle de (IESNA), où il explique que l'éblouissement est «la sensation produite par la luminance dans le champ visuel qui est suffisamment supérieur à la luminance à laquelle les yeux sont adaptés pour causer de l'ennui, de l'inconfort ou de la perte en performance visuelle et visibilité ». Les revues de littérature récentes fournissent d'excellents aperçus historiques de la multitude d'indices d'éblouissement (Eble-Hankins & Waters, 2004) et (Osterhaus W. K., 2005). Les recherches sur les effets de l'éblouissement sur les humains peuvent être classées soit physiologiques ou bien psychophysique. La recherche de l'éblouissement physiologique se réfère à la mesure de la réponse physique de l'être humain, à savoir l'œil, pour celle psychophysique elles sont liées aux paramètres extérieurs mesurables, les indices d'éblouissement font partie de ces outils de mesure. Parmi les indices de confort visuel développés dans le but d'évaluer les phénomènes d'éblouissement d'inconfort on peut citer :

**3.4.1. c.1. Le Visual Comfort Probability (VCP) :** méthode élaborée par (Guth, 1963), utilisée généralement en Amérique du nord, correspond au pourcentage d'observateurs qui jugeraient acceptable l'environnement lumineux considéré. Les valeurs prises par le (VCP) sont comprises entre 85 et 18 le (VCP) est calculé selon la formule :

$$VCP = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{6.347-1.3227\ln(DGR)} e^{-t^2/2} dt$$

$$DGR = (\sum_{i=1}^n M_i)^{n-0.0914}$$

$$M_i = \frac{L_i Q_i}{2P_i L_m^{0.44}}$$

$L_m$  = Luminance moyenne pour tout le champ de vision (incluant les murs, le plafond, le sol et les **sources**),

$L_i$  = Luminance moyenne du luminaire  $i$ ,

$Q_i = 20.4 \omega_i + 1.52 \omega_i^{0.2} - 0.075$ ,

$\omega_i$  = Angle solide sous lequel est vu le luminaire  $i$  (sr),

$P_i$  = Indice de position de Guth du luminaire  $i$ ,

$n$  = Nombre de luminaires.

Ou

**3.4.1.c.2. L'Unified Glare Rating (UGR) :** développé par ((CIE), 1995); (Sorensen, 1987), les valeurs de UGR sont comprises entre 10 et 30. Des différences d'UGR inférieures à une unité ne sont pas détectables. Dans le cas de plafonds lumineux ou d'éclairage indirect, la méthode n'a pas été validée. La validité de l'UGR n'est pas non plus assurée pour les sources de très petite taille. Ce dernier peut être calculé à partir de la formule suivante :

$$UGR=8 \times \log \left( \frac{0.25}{L_b} \times \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2 \times \omega_i}{P_i^2} \right)$$

Ou

$L_b$  = Luminance de fond (calculée **sans les sources**),  
 $L_i$  = Luminance moyenne du luminaire  $i$ ,  
 $\omega_i$  = Angle solide sous lequel est vu le luminaire  $i$  (sr),  
 $P_i$  = Indice de position de Guth du luminaire  $i$ ,  
 $n$  = Nombre de luminaires.

**4.3.1.c.3. Le CIE Glare Index (CGI) :** il a été développé à partir d'une formule proposée par (Einhorn, 1969). Les coefficients utilisés dans cette formule ont été ajustés suite à la 19<sup>ème</sup> session de la (CIE), qui s'est tenue à Kyoto en 1979, afin de rendre son échelle de valeurs comparable à celle du (VCP). Les valeurs prises par le (CGI) ont alors été ramenées à un intervalle compris entre 10 et 30. Le (CIE) Glare Index peut être calculé à l'aide de la formule :

$$CGI=10 \log_{10} \left( 0.1 \frac{1+E_d/500}{E_e} \sum_{i=1}^n \frac{L_i^2 \omega_i}{P_i^2} \right)$$

Ou

$E_d$  = Eclairage direct sur le plan vertical de l'œil dû à toutes les sources (Lux),  
 $E_e$  = Eclairage sur le plan vertical de l'œil incluant la composante indirecte (Lux),  
 $\omega_i$  = Angle solide sous lequel est vu le luminaire  $i$  (sr),  
 $P_i$  = Indice de position de Guth du luminaire  $i$ ,  
 $n$  = Nombre de luminaires.

**4.1.c.4. Le Daylight Glare Index (DGI) :** ce dernier a été développé par Hopkinson dans les années 1950-1970 ( (Hopkinson & Collins, 1963; Hopkinson R. G., 1972), et il a été mis à jour par (Chauvel, Collins, Dogniaux, & Longmore, 1982), puis son échelle et l'algorithme ont été revus par (Osterhaus W. K., 2005) en 2005, dans le but de rendre les évaluations d'éblouissement plus fiable, l'échelle d'évaluation du (DGI) est présentée en quatre paliers (voir Tableau 3.3) ces derniers sont représentés ci-dessous:

Tableau 3.3: Echelle du Daylight Glare Index (Source :Chauvel, Collins, Dogniaux, & Longmore, 1982)

Caractérisation d'éblouissement	Valeurs du (DGI)
<b>juste perceptible</b>	16
<b>juste acceptable</b>	20
<b>juste inconfortable</b>	26
<b>juste intolérable</b>	28

**3.4.1.c.5. Le Daylight Glare Index (DGP) :** Il a été développé par (Wienold & Christoffersen, 2006) afin d'améliorer les limites des indices précédents. Cette méthode tente de définir la probabilité qu'une personne soit dérangée au lieu de la magnitude de l'éblouissement.

### 3.4.2. Les images numériques comme outil d'acquisition des luminances

Les appareils photo numériques capturent les scènes en capturant la lumière grâce à l'ouverture de leurs objectifs. Le capteur de rayons lumineux dans une caméra numérique est une puce électronique. Cette dernière transforme l'énergie lumineuse qui frappe le capteur en signaux électriques. Il existe deux techniques de captage et de traitement de l'énergie lumineuse ; le (CCD) (Charged Couple Device): qui est une technique de captage de lumière qui vise à recueillir la lumière sur ses champs de photo-sites. Chacun d'entre eux accumule la lumière et détermine la couleur en fonction de la tension relevée, grâce à un filtre de Bayer. La seconde technique est le (CMOS) ( Complementary Metal Oxyde Conductor) qui est une autre technique qui équipe de nos jours nombre de réflex pros. Un champ de photodiodes est à l'origine du fonctionnement du capteur (CMOS), ces photodiodes sont sensibles à une seule des couleurs primaires (RGB). Selon qu'elles sont sensibles à la couleur en question, on obtient des 0 et des 1 qui deviennent des couleurs. C'est un signal digital.

#### 3.4.2.a. Image à grande plage dynamique (HDR)

La mesure précise de la lumière est fondamentale pour l'évaluation et le contrôle de la qualité de l'éclairage dans l'espace architectural. Ces dernières années, plusieurs recherches ont été menées afin de développer des méthodes rapides et pratiques et efficaces pour la mesure des luminances d'une scène d'éclairage non-uniforme, en plus des luminances-mètre couramment utilisés dans le domaine de l'éclairage. L'imagerie haute dynamique (HDR) est l'une de ces méthodes, les images (HDR) sont un type d'image numérique traitée qui contient des informations de gamme dynamique beaucoup plus élevées dans des aspects tels que la luminance et la couleur au-delà de la capacité d'image ordinaire. Ce type d'image a été utilisé la première fois, pour la mesure des luminances par (Rea & Jeffrey, 1990b). De nombreux

chercheurs ont employé après lui les appareils (CCD) (Charged Couple Device), ou les (CMOS) ( Complementary Metal Oxyde Conductor ), et les techniques de fusion d'images pour des applications liées au bâtiment pour l'acquisition des luminances, (Mardaljevic, Heschong, & Lee, Daylight metrics and energy savings, 2009), sur des surfaces non lumineuses, des sources lumineuses, des fenêtres et le ciel. Parmi les sept types de techniques d'imagerie (HDR) connues (Nayar & Branzoi, 2003). La technique de changement d'exposition séquentielle 'the sequential exposure' est probablement la plus abordable et la plus utilisée dans le domaine de l'architecture, ( Reinhard & Devlin, 2005)). Cette technique utilise des moyens numériques peu coûteux, car cette technique exige juste qu'un appareil photo numérique équipé d'un objectif grand angle pour prendre des photos à faible dynamique (LDR) avec des valeurs d'exposition séquentielles (EV) pour couvrir la gamme dynamique. Puis le calcul de la luminance se fait par la formule proposée par (Jacobs, 2007) car selon lui, l'exposition est déterminée par la sensibilité (ISO) de l'appareil photo, le temps d'exposition, la taille de l'ouverture.

$$\text{Exposition} = \log_2 (\text{Aperture}^2 * (1 / \text{vitesse d'obturation}) * (\text{sensibilité ISO} / 100)) \text{ (source : Jacobs, 2007)}$$

Le Tableau 3.4, ci-dessous résume des recherches récentes utilisant l'image (HDR), avec les paramètres de l'appareil photo correspondant :

Tableau 3.4: Résumé de la revue de littérature de recherches récente utilisant l'image HDR (source : Auteur)

Auteurs	Cas d'étude	Appareil photo	Ouverture	Exposition
(Martins Mogo de Nadal, 2005)	-Espace intérieur -Lumière naturel	Nikon Coolpix 5400 objectif Fish-eye	/	/
(Inanici, 2006)	-Espace intérieur	Nikon Coolpix 5400, objectif Fish-eye ISO 100	f/4.0	1/4000–2s (14 EVs)
(Jacobs, 2007)	-Espace intérieur 'Eglise'	Nikon Coolpix 995, ISO 100	f/2.6	1/60–15 s (6 EVs)
(Moeck, 2007)	-Espace extérieurs	Canon EOS 350D	f/5.6	1/4000, 1/2500, 1/800, 1/400, 1/200 s
(Newsham & Arsenault, 2009)	-Espace intérieur	Canon EOS 350D, lens EF-S 10– 22 mm, f/3.5–4.5 USM, ISO 100	f/5.6, f/7.1 f/4.0	1/4000–1/25 s (10 EVs)f/4.0 1/2, 1/15)
(Cai & Chung, 2011)	-Espace intérieur -Lumière naturel 'espace bureaux '	Canon EOS 350D, Sigma 10– 20 mm lens, focal length 10 mm, ISO 100	f/8.0	9 EVs
(Mardaljevic, Painter, & Andersen, 2009b))	-Espace intérieur - Lumière naturel	A digital SLR camera, control via HDR cap OSX	/	/
( (Van Den Wymelenberg, Inanici, & Johnson, 2010))	-Espace intérieur - Lumière naturel et artificiel	Canon Eos-1Mark III Digital SLR avec Fish-eye Sigma 8 mm F3.5 DG	F5.6	1/4000 8sec
(Daich, et al., 2017)	-Model réduit -Lumière naturel	Canon 1200 d avec objectif sigma Fish- eye 4.5mm	f/10	1/4000–1/25 s (10 EVs)f/4.0 1/2, 1/15)
(Saadi et al, 2017)	-Espace intérieur - Lumière naturel et artificiel	Canon 1200 d avec objectif sigma Fish- eye 4.5mm	f/5.6, f/7.1 f/4.0 f/10	1/4000–1/25 s (10 EVs)f/4.0 1/2, 1/15)

### **3.4.3. L'enquête par questionnaire**

#### **3.4.3.a. Le questionnaire comme outil d'évaluation des ambiances lumineuses**

Les méthodes les plus couramment employées à l'écrit sont les questionnaires, où le sujet est invité à répondre à des questions, soit en choisissant une ou plusieurs réponses parmi un certain nombre proposés 'questions fermées', soit s'exprimant librement, dans un espace réservé par l'auteur du questionnaire 'question ouvertes'. Le questionnaire d'enquête est considéré aussi comme une méthode quantitative qui est couramment utilisée pour les études liées à l'évaluation de l'éclairage intérieur dans les espaces destinés à l'usage du bureau. Elle a prouvé son efficacité dans plusieurs études et projets de recherche tel que le travail de (Matterson, Ferra, Salom, & Portilla, 2013), de (Xue, Mak, & Cheung, The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey, 2014) et celui de, (Roche, Dewey, & Littlefair, 2000). De plus, (Christoffersen & Wienold, 2008) et (Page, Scartezzini, Kaempf, & Morel, 2007) avaient dû recourir à l'enquête par questionnaire pour étudier les conditions d'éclairage intérieur et la performance des systèmes d'éclairage. On outre on a pu constater à travers la recherche bibliographique (chapitre 2) que par souci de pertinence des données subjectives recueillies auprès des sujets, ces dernières peuvent être aussi combinées ou croisées avec d'autres données recueillies par une ou plusieurs autre méthodologie utilisée dans la même recherche 'cas d'étude'. Cette procédure a été appliquée dans le travail de recherche de (Gurley, et al., 2006), où il a croisé les facteurs cognitifs humains recueillis par un questionnaire avec des facteurs mesurés de l'environnement lumineux. La même méthode a été aussi utilisée par (Coutelier, 2006) et (Van Den Wymelenberg, 2012), dans les deux travaux cités précédemment, les chercheurs ont eu recours au questionnaire écrit et aux mesures grâce à différents outils, ils ont notamment eu recours aux images numériques afin de faire des mesures des grandeurs photométriques, puis ils ont combiné les données des deux méthodes. D'après ces recherches, on a pu constater que combiner la technique du questionnaire avec celle d'autres techniques de recherche notamment celle de l'expérimentation simulée a été largement utilisé dans les recherches qui portent sur les d'investigations dans le domaine des ambiances lumineuses, au sein de l'espace architectural, ce qui est notre cas d'études.

#### **3.4.3. b. La formulation du questionnaire**

La construction du formulaire de questionnaire, c'est basé essentiellement sur la problématique liée à l'évaluation des ambiances lumineuses et des préférences lumineuses des usagers de la salle de conception assistée par ordinateur, sous le climat lumineux local de la ville de Biskra. A la différence des salles ordinaires universitaires, la salle de (CAO), se distingue à la fois par la spécificité des tâches visuelles qui se déroulent à l'intérieur et aussi par le nombre de ces



tâches, car les étudiants sont appelés à travailler sur les écrans de pc, à schématiser des dessins sur papier, ou visionner des projections de Data show, visionner des textes ou des schémas sur tableaux blanc, et d'autres activités, le tout sous différentes conditions lumineuses. Afin d'enrichir plus le formulaire de questions, nous nous sommes aussi basés sur d'autres recherches antérieures, comme celle de (Van Den Wymelenberg, 2012) ou de (Arsenault, 2012)

### **3.4.3.c. La population d'enquête et l'échelle de notation**

Par rapport à la population d'enquête, le choix de l'échantillon a résulté principalement de la revue de la littérature de plusieurs études qui ont eu comme objectifs d'évaluer l'environnement lumineux et les ambiances lumineuses dans les espaces architecturaux à usage de bureaux avec un travail sur écrans ou salle de classe. Parmi les travaux qui nous ont servi de support pour le choix de population d'enquête et au développement de l'échelle de notations on peut citer le travail de (Gou & Lau, 2014) le chercheur a eu recours au questionnaire, dans son travail expérimental qui s'est déroulé dans une salle de classe universitaire sous conditions climatiques contrôlées, l'objet de recherche était l'évaluation du confort thermique et lumineux dans les établissements universitaires. Le nombre de sujets a été de 69 sujets composés d'étudiants universitaires qui avaient le même bagage scientifique et le même niveau interculturel, l'âge des sujets était compris entre 18 à 22 ans, le questionnaire proposé par Zhonghua, se compose de deux parties, la première vise à évaluer les tâches visuelles, la seconde la perception visuelle. Afin d'évaluer les tâches visuelles, l'auteur a utilisé une échelle de sept paires d'antonymes : (Difficult vs Easy)-(Dim vs Bright)-(Frustrating vs Satisfying)-(Hazy vs Distinct)-(Non-uniform vs Uniform)-(Tiring vs Relaxing)-(Unfocused vs focuse). Pour la perception visuelle, il a utilisé cinq questions pour l'évaluation des : sensations, acceptations, préférences, confort et l'éblouissement. Le travail de (Akashi & Boyce, 2006) a été aussi utilisé pour le développement de notre questionnaire, l'objectif de leur travail consiste à étudier l'impact de la réduction de l'intensité lumineuse, ce qui conduit automatiquement à une réduction de la consommation électrique du bâtiment sur le confort de ces usagers. Afin de réaliser cette étude, une expérimentation et un questionnaire ont été réalisés dans un bâtiment à usage de bureaux, le nombre de sujets a été de 30 usagers. Les auteurs ont utilisé deux types de questionnaires, le premier sous forme de questionnaire court 'Short-form' qui a été utilisé comme pré-test, le second est un questionnaire détaillé. Ce dernier se compose de douze questions, neuf questions avec une échelle graduelle de cinq valeurs : (Dislike very much vs Like very much), (Very uncomfortable vs very comfortable), (Very poorly vs Very well), (Very gloomy vs Very bright), (Too dark vs Too bright), (Too dim vs Too bright),( Very inappropriately vs Very

appropriately), (Too cool vs too warm), (Much worse vs Much better), pour l'échelle de notation, les chercheurs ont eu recours à une échelle graduelle de cinq pour la notation, avec des valeurs comprise entre (-2) et (+2). Pour le choix de la population et l'échelle de notation utilisée dans de notre questionnaire nous nous sommes aussi basés sur le travail de (Arsenault, 2012) qui consiste à étudier les impacts des types et des couleurs des vitrages utilisés dans les bâtiments, sur la qualité de l'ambiance lumineuse et le bien-être des usagers. Pour cela le questionnaire a été administré à 36 occupants de bureaux, la moyenne d'âge de la population est de 23.8 ans. Le questionnaire développé vise à évaluer le confort visuel et l'ambiance lumineuse auprès des usagers des bureaux sous trois configurations lumineuses diverses, en mesurant quatre indicateurs : le confort visuel, les niveaux d'éclairage, la précision, l'acceptation, durant l'exercice des différentes tâches demandées aux usagers qui sont : la lecture de texte, évaluation de la qualité de l'ambiance lumineuse, évaluation de la qualité de l'ambiance générale, l'évaluation de l'environnement externe. Lors de notre recherche bibliographique nous avons aussi consulté le travail de (Hirning, Isoardi, Coyne, Hansen, & Cowling, Post occupancy evaluations relating to discomfort glare: A study of green buildings in Brisbane, 2013), qui est une étude de présence d'éblouissement et d'inconfort dans un bâtiment ouvert, leurs travail s'inscrit dans un cadre d'évaluation post occupation, Dans cette étude les auteurs ont soumis un questionnaire à 64 sujets, tous des employés de bureaux ouverts 'paysager', âgés de 30 à 50ans. Le questionnaire administré utilisé se divise en trois parties : Une partie pour l'évaluation des conditions lumineuses, une seconde partie pour l'évaluation de l'inconfort et l'éblouissement, la dernière partie les informations générales. Il est très important de souligner que dans ce travail les chercheurs ont utilisé des images numériques afin d'évaluer l'éblouissement et l'inconfort dans les bureaux. Nous nous sommes aussi référenciés au travail de (Xue, Mak, & Cheung, 2014), où ils ont utilisé un questionnaire afin d'évaluer la qualité de l'ambiance lumineuse et thermique dans les bâtiments résidentiels en chine. Le questionnaire a été envoyé par mail à 1782 sujets, 464 personnes ont répondu positivement au mail, la tranche d'âge visée par ce questionnaire était comprise entre 30 et 55 ans, ce dernier est subdivisés en cinq parties : informations générales, environnements physiques, sensations approuvées, sensations humaines et confort lumineux, une échelle de notation composée de cinq valeurs a été utilisée pour l'ensemble du questionnaire. Sur la base des différentes recherches (voir Tableau 3.5), nous avons choisi une population d'enquête par un échantillonnage par quotas composé de 30 étudiants du département d'architecture, les étudiants avaient tous la formations d'architectes'.

Tableau 3.5: Différentes recherche utilisé pour le développement du questionnaire (source : Auteur)

Etude	Objectifs	Espace	Population	Age	Procédure
(Akashi & Boyce, 2006)	Etude de l'impact l'intensité lumineuse sur le confort lumineux	Espace bureaux	n= 30 sujets	/	-Utilisation deux type de questionnaires le premier sous forme de questionnaire cour 'Short-form 'le second est un questionnaire détailler. -Le questionnaire détailler se compose de douze questions, neuf questions avec une échelle graduelle de Cinq valeurs (-2) à (+2).
(Arsenault, 2012)	Impacts des types et des couleurs des vitrages confort lumineux	Espace bureaux	n= 36 sujets	Moy =23.8	-Utilisation trois configurations lumineuses diverses du bureau. -Indicateurs : le confort visuel, niveaux d'éclairement, précision, l'acceptation. -Des différentes tâches ont été demande aux usagers.
(Hirning, Isoardi, Coyne, Hansen, & Cowling, 2013)	Etude de présence d'éblouissent et d'inconfort dans un bâtiment vert.	Espace bureaux bureaux ouvert 'paysager'	n= 64 sujets	30- 50	- Le questionnaire compose de trois parties : Une partie pour l'évaluation des conditions lumineuse, une seconde partie pour l'évaluation de l'inconfort et l'éblouissement, la dernière partie les informations générales.
(Xue, Mak, & Cheung, 2014)	Etudes des ambiances lumineuse et thermique	Les bâtiments résidentiels	n= 464 sujets	30-55	- Le questionnaire se compose de Cinq parties : informations générales, environnements physique, sensations approuvé, sensations humaine. -Utilisation une échelle de notation composer de Cinq valeurs
(Gou & Lau, 2014)	Evaluation du confort thermique et lumineux	Salle de classe universitaire avec conditions climatique contrôlé	n= 69 sujets	18- 22	-Questionnaire de divise on deux partie la première viser à évaluer les taches visuels, la seconde la perception visuel. -Utilisation d'une échelle de sept paires d'antonyme

Ils maîtrisent l'outil informatique (CAD), car ils ont eu une formation sur le logiciel au préalable. L'âge des personnes interrogées était situé entre 23 et 33 ans. La majorité des participants, qui représente 72%, avait 24 à 23 ans. L'échantillonnage était composé de 75,4% de femmes et 23,7% d'hommes, car selon les données fournies par la scolarité du département d'architecture de Biskra, le pourcentage enregistré entre 2010 et 2016 des étudiants inscrits, est égale à 30 % d'hommes et 70 % de femmes. La majorité des sujets qui ont participé à l'enquête n'avait aucune correction visuelle 98%. Les autres portaient des verres de correction 2%.

### 3.4.3.d. Organisation du questionnaire

Le schéma suivant (Voir la figure 3.7) représente l'organisation générale du questionnaire développé.

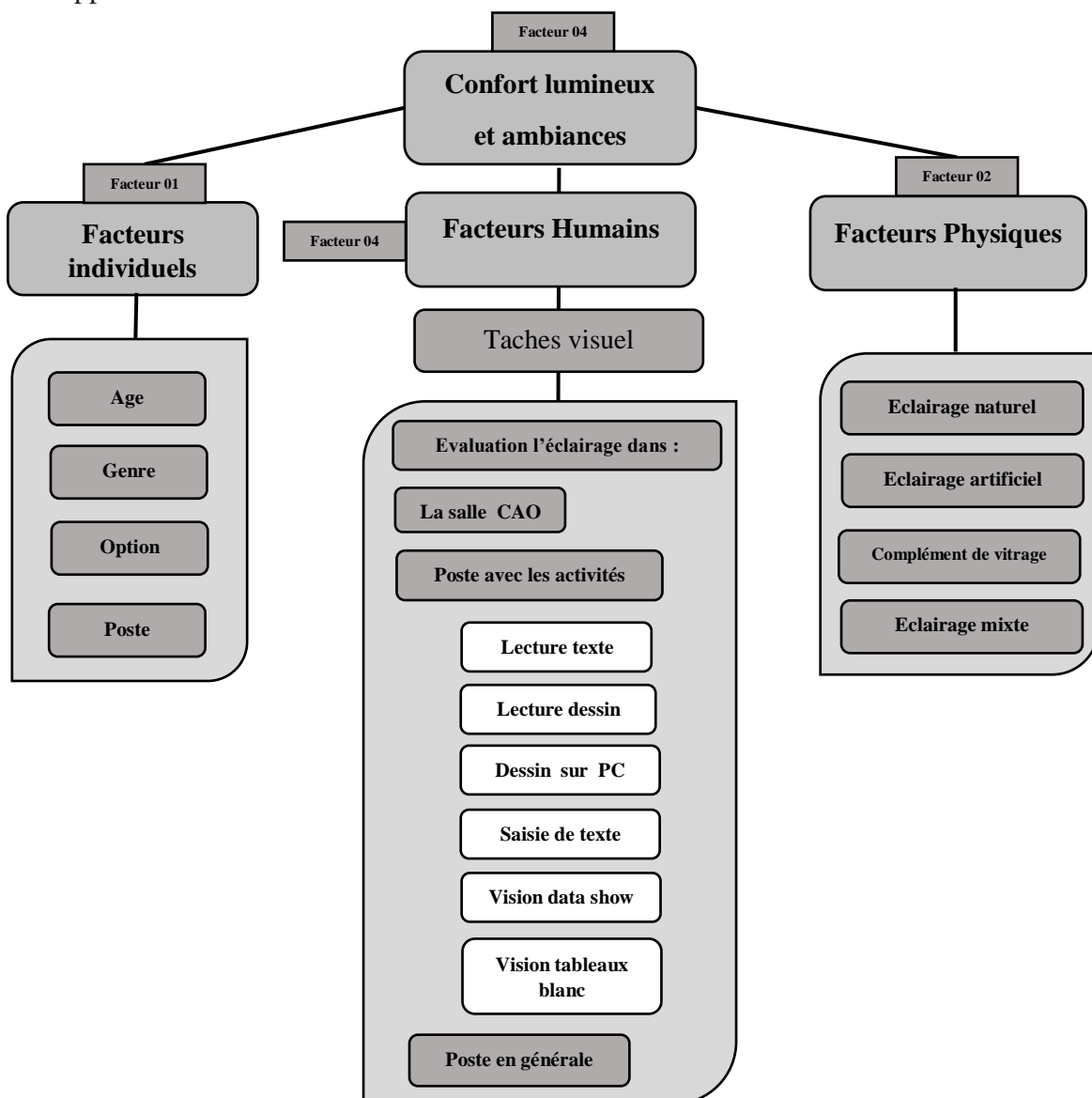


Figure 3.7 : Organisation générale du questionnaire proposé (source : Auteur)

Le schéma 3.7 a été développé afin d'étudier les ambiances lumineuses dans la salle de conception assistée par ordinateur, il représente aussi les facteurs lumineux qui ont été utilisés afin de concevoir le formulaire et déterminer les questions en fonction des objectifs de l'enquête. En nous basant sur le schéma de l'organisation générale du questionnaire avec ses différentes parties présentes (voir figure 3.7) et les travaux de recherches citées précédemment dans (le tableau 3.5), nous avons développé notre propre formulaire de questionnaire (voir figures 3.8 et 3.9), mais ce formulaire est une version préliminaire, car il doit être testé et évalué auparavant avec une population test. Afin de déceler d'éventuelles anomalies dans les questions ; des questions qui ont été mal formulées ou mal interprétées par les usagers. Pour cela une étude pilote est nécessaire avant la rédaction et la validation définitive du questionnaire proposé.

### 3.4.3.e. La version test du formulaire du questionnaire

Comme nous l'avons évoqué précédemment, une étude pilote était proposée afin d'évaluer la compréhension et la cohérence globale du questionnaire, ainsi que la faisabilité des techniques statistiques choisies pour l'analyse des données obtenues. Pour cela une étude test a été menée dans la salle (CAO), avec une population 'test' composée de 20 étudiants. Chacun des étudiants avait reçu une copie du questionnaire (voir figures 3.8 et 3.9), avec une feuille blanche où nous leurs avons demandé de consigner le constat et remarques à propos des questions. Après la séance test nous avons récupéré les vingt questionnaires et remarques et avons aussi discuté avec les étudiants sur de possible amélioration à faire pour une bonne compréhension du questionnaire (voir annexe I).

**Questionnaire pour les usagers de la Salle CAO.**

**Département d'architecture Biskra**

Date : ..... Heure : ..... Poste Num : .... Séance N° ..... Codes : .....

**Renseignements personnels :**

F  H  Age : ....

Etudiant de L3  M1  M2  - Autre année ..... Option .....

Êté vous externe  Oui  Non -Vous été de quelle ville .....

Porter vous des verres correcteurs ou des lentilles de contact : Oui  Non

**I-Question sur la salle CAO**

**I-1-Est-ce que la lumière naturelle vous cause de l'éblouissement au point d'être gêné ?**

Oui  Non

**I-2-Si oui, de quelle direction vient-elle ?**

Du ciel  Du soleil

**I-3-Est-ce que la lumière artificielle vous gêne au niveau des yeux (c'est à dire vous aveugle) ?**

Oui  Non

-Si oui où ?

Poste de travail      La salle en général

**I-4-Est-ce que l'éclairage (du plafond, lampe de la salle, fenêtres) cause des réflexions sur votre poste de travail :**

Oui  Non

**I-5- Comment qualifier vous l'ambiance général créé par la lumière dans la salle informatique est telle :**

Brillante	-2	-1	0	+1	+2	Sombre
Ennuyeuse	-2	-1	0	+1	+2	Stimulante
Artificiel	-2	-1	0	+1	+2	Naturelle
gênante	-2	-1	0	+1	+2	Confortable

**II-A-Votre poste de travail**

**II-1-Comment qualifier vous l'ambiance général créé par la lumière dans votre poste de travail :**

Brillante	-2	-1	0	+1	+2	Sombre
Ennuyeuse	-2	-1	0	+1	+2	Stimulante
Artificiel	-2	-1	0	+1	+2	Naturelle
gênante	-2	-1	0	+1	+2	Confortable

**II-B-Votre poste de travail**

**II-2-Comment trouver vous l'éclairage de votre poste de travail**

Artificiel	-2	-1	0	+1	+2	Naturel
Monotone	-2	-1	0	+1	+2	Attirant

**II-3- Comment trouver vous l'éclairage pour : Activité lecture du texte sur la table**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie
Sombre	-2	-1	0	+1	+2	Brillante

**II-4- Comment trouver vous l'éclairage pour : Activité lecture des dessins (schémas) sur la table**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie
Sombre	-2	-1	0	+1	+2	Brillante

**II-5- Comment trouver vous l'éclairage pour : Activité écriture du texte sur Pc (écran)**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

**II-6- Comment trouver vous éclairage pour : Activité dessin assisté par ordinateur (écran)**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

Figure 3.8 : Le questionnaire du prétest Page 1 (gauche) et Page 2 (droite) (source : Auteur)

II-7- Comment trouver vous éclairage pour : Activité vision des projections de data show						
Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie
II-8- Comment trouver vous éclairage pour : Activité vision du tableaux blanc						
Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

Page 3

Figure 3.9 : Partie du questionnaire du prétest Page 03 (source : Auteur)

### 3.4.3. f. La version finale du formulaire du questionnaire

Après la collectes des données de la phase test, une étude des remarques écrites et orales de la population test a été menée, cette dernière révèle que :

- Il existe une certaine nuance lors de la lecture des questions, cela est dû à l'ordre de disposition des questions car les répondants n'ont pas pu déterminer le début et la fin de chaque partie du questionnaire, ils nous ont recommandé de délimiter chaque partie du questionnaire.

- Selon la population du pré-test, il y avait une certaine rigidité dans le questionnaire, ils ont recommandé des espaces où ils peuvent schématiser et dessiner ou même positionner 'situer' des sources de déblaiement ou d'inconfort par exemple dans l'espace, cela est dû au fait de la spécificité de la population 'des étudiants en architecture'

- Ils nous avaient aussi demandé des explications sur des phénomènes d'éblouissement des grandeurs photométriques, nous avons déduit qu'un petit rappel serait le bienvenu lors du questionnaire final. De manière générale, les données de la phase test ont été acceptables et la plupart des objectifs des questions posées ont été atteints, on a constaté qu'il y avait certaines questions qui n'ont pas été très claires aux yeux des répondants lors du test ou mal interprétées par ces derniers et qu'il fallait aussi ajouter des champs pour des dessins ou schémas sur le questionnaire. Il est donc nécessaire de mettre à jour ce dernier et apporter des changements, afin d'atteindre les objectifs voulus par le formulaire du questionnaire. D'autre part, nous avons codé les données du pré-test sous forme d'une base de données, cette dernière a été introduite dans un logiciel statistique (SPSS 24.0) afin de vérifier la cohérence et l'homogénéité des réponses, les résultats obtenus indiquent une bonne cohésion des réponses. Ci-dessous la version finale du questionnaire obtenu après les modifications (voir annexe II) avec une explication détaillée de chaque partie:



(a)

**A** Date : ..... Heure : ..... Poste Num : .... Séance N° ..... Codes : .....

**B** Renseignements personnels :  
 F  H  Age : ....  
 Etudiant de L3  M1  M2  - Autre année ..... Option : .....

Eté vous externe  Oui  Non -Vous été de quelle ville .....

Porter vous des verres correcteurs ou des lentilles de contact : Oui  Non

(b)

**C1** I-Question sur la salle CAO

I-1-Est-ce que la lumière naturelle vous cause de l'éblouissement au point d'être gêné ?  
 Oui  Non

I-2-Si oui, de quelle direction vient-elle ?  
 Du ciel  Du soleil

I-3-Est-ce que la lumière artificielle vous gêne au niveau des yeux (c'est à dire vous aveugle) ?  
 Oui  Non

-Si oui où ?  
 Poste de travail  La salle en général

I-4-Est-ce que l'éclairage (du plafond, lampe de la salle, fenêtres) cause des réflexions sur votre poste de travail :  
 Oui  Non


**C2** I-5- Comment qualifier vous l'ambiance général créé par la lumière dans la salle informatique est telle :

Brillante	-2	-1	0	+1	+2	Sombre
Ennuyeuse	-2	-1	0	+1	+2	Stimulante
Artificiel	-2	-1	0	+1	+2	Naturelle
gênante	-2	-1	0	+1	+2	Confortable

**C3** I-6-Existe-t-il une gêne du a la présence lumière dans la salle informatique sur (vôtres champs visuels)  
 - Si oui veuillez définir :  Oui  Non

A) Sa source d'après vous  Source naturel  Artificiel  Les deux  Autres .....

B) Sa direction veuillez (schématiser) la direction du gêne par rapport à votre poste



Plan du poste de travail

C) Sa position ou se veuillez, indiquez sont emplacement, sur : (Vous pouvez cochez plusieurs)  
 Sol  Plafond  Mur  Autre préciser .....

Parties ajoutées

Chapitre 02 : Modèles conceptuels (c)

**D1** II-A-Votre poste de travail

II-1-Comment qualifier vous l'ambiance général créé par la lumière dans votre poste de travail :

Brillante	-2	-1	0	+1	+2	Sombre
Ennuyeuse	-2	-1	0	+1	+2	Stimulante
Artificiel	-2	-1	0	+1	+2	Naturelle
gênante	-2	-1	0	+1	+2	Confortable

II-2-Comment trouver vous l'éclairage de votre poste de travail

Artificiel	-2	-1	0	+1	+2	Naturel
Monotone	-2	-1	0	+1	+2	Attirent

**D2a** II-3- Comment trouver vous l'éclairage pour : Activité lecture du texte sur la table

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie
Sombre	-2	-1	0	+1	+2	Brillante

**D2b** II-4- Comment trouver vous l'éclairage pour : Activité lecture du des dessins (schémas) sur la table

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie
Sombre	-2	-1	0	+1	+2	Brillante

**D2c** II-5- Comment trouver vous l'éclairage pour : Activité écriture du texte sur Pc (écran)

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

**D2d** II-6- Comment trouver vous éclairage pour : Activité dessin assister par ordinateur (écran)

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

**D2e** II-7- Comment trouver vous éclairage pour : Activité vision des projections de data show

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

**D2f** II-8- Comment trouver vous éclairage pour : Activité vision du tableaux blanc


Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

**D3** II-B-Votre poste de travail

II-B-Existe-t-il une gêne du a la présence de lumière sur votre poste de travail :  
 Oui  Non

A) Sa source d'après vous  Source naturel  Artificiel  Les deux  Autres .....

B) Sa direction veuillez (schématiser) la direction du gêne par rapport à votre poste



Plan du poste de travail

C) Sa position ou se veuillez, indiquez sont emplacement, sur : (Vous pouvez cochez plusieurs)  
 Ecrans  Table  Papier  Autre préciser .....

Figure 3.10 : La version finale du questionnaire : a (la première partie) ; b (la deuxième partie) ; c (La troisième partie) (Source : Auteur)



La version finale du questionnaire est constituée de quatre grandes parties :

**3.4.3. f.1. La partie A :** l'objectif de cette première partie est de collecter les informations générales sur l'environnement physique du formulaire du questionnaire ; types de configurations utilisées, heure...etc. (voir figure 3.10)

**3.4.3. f.2. La partie B :** cette deuxième partie du formulaire est destinée à la collecte des informations générales, celle de l'utilisateur, le but est de collecter les données des facteurs individuels : Age, genre, spécialité, .....etc. (voir figure 3.10)

**3.4.3. f.3. La partie C :** à travers les questions posées dans cette partie du questionnaire on vise à évaluer deux facteurs, qui sont : le confort lumineux et l'ambiance lumineuse dans l'ensemble de la salle de conception assistée par ordinateur de manière globale, cette partie est subdivisée en trois sous parties :

La première partie C1 : cette partie comprend des questions directes, des questions 'fermées' à choix unique et 'ou' multiples, l'objectif des questions posées est de collecter des informations sur l'existence ou pas d'un éblouissement dans la salle, ses sources, son origine.

La seconde sous partie C2 : elle se compose uniquement d'une seule question fermée à choix multiple, qui vise à recueillir les évaluations de l'ambiance générale ressentie, à l'aide des critères suivant 'Niveaux d'éclairage', 'Degré de satisfaction', 'Naturalité'. En utilisant une échelle de notation de cinq pour chaque critère (voir figure 3.11)

La troisième partie C3 : cette partie a été rajoutée au questionnaire après la phase de test, son but est d'évaluer le niveau d'inconfort ressenti par l'utilisateur dans la salle de manière globale, pour cela nous avons posé quatre questions. Dont deux questions pièges ; des questions qui ont été reformulées et déjà posées au préalable dans la partie « C1 », le but est de vérifier le niveau de compréhension des questions par le répondant. Sur la base des recommandations des usagers lors de la phase test, nous avons inclus dans cette partie des schémas, afin de faciliter la représentation de l'éblouissement sur le plan d'éblouissement si toutefois il existe, son degré, ses sources, sa direction.

**3.4.3. f.4. La partie D :** elle traite principalement les questions liées aux postes de travail et aux différentes activités qui se déroulent au niveau de ce dernier, cette partie est subdivisée en trois sous parties :

La première est la partie D1 : cette partie a comme objectif, la collecte des données subjectives ressenties par les usagers au sein de leurs postes de travail de manière globale sans l'exercice d'aucune tâche visuelle. Cette dernière est constituée de deux questions directes fermées à choix unique ; la première vise à évaluer la sensation d'ambiance lumineuse générée dans le poste, par une évaluation de trois facteurs, qui sont : 'Niveaux d'éclairage', 'Degré de satisfaction',

‘Naturalité’. (Voir figure 3.11). Le but de la seconde question est l'évaluation de l'éclairage du poste de travail, cela par une évaluation des deux facteurs qui sont ‘Naturalité’ et ‘Stimulant’. Une échelle de notation de cinq a été adoptée pour les deux questions.

La deuxième partie D2 : l'objet principal de cette partie du formulaire du questionnaire est la collecte des données subjectives liées au confort et l'ambiance lumineuse ressentie par l'utilisateur dans le poste en exerçant différentes tâches, pour chacune des six tâches (voir figure 3.11) demandées à l'utilisateur. Nous avons posé une question directe fermée à choix unique, afin d'évaluer les quatre facteurs ‘Niveaux d'éclairage’, Degré de ‘satisfaction’, ‘Naturalité’, ‘Stimulant’.

La deuxième partie D3 : cette dernière partie a été rajoutée au formulaire, après la phase test dont l'objectif de cette partie est de collecter les informations en relation avec l'existence de l'inconfort visuel dans le poste. Cette partie comprend un schéma qui a comme but d'aider les répondants à représenter la gêne visuelle, sa direction, de manière plus simple ‘graphique’ sur le plan du poste qui est fourni sur le formulaire du questionnaire. (Voir figure 3.11)

#### **3.4.3. g. Le mode d'administration du questionnaire**

Pour notre étude et en vue d'obtention des réponses précises, on a eu recours au type auto-administration, celui où l'enquêté répond seul au questionnaire.

#### **3.4.3. h. Le codage et l'analyse des résultats**

Les données résultantes de l'enquête ont été saisies et codées avec précision et analysées à l'aide du logiciel (SPSS 24.0). Nous avons entamé le traitement des données en adoptant la méthode de l'analyse descriptive, cette dernière a été largement utilisée dans les investigations du domaine d'éclairage et des ambiances lumineuses (Van Den Wymelenberg, 2012; Gou & Lau, 2014). Selon les recherches citées précédemment, on a constaté qu'il est nécessaire de vérifier quelques conditions statistiques avant l'application des analyses descriptives, (Xue, Mak, & Cheung, 2014). Il s'agit des tests de vérification de la fiabilité de test de ‘Cronbach’ et celui de la normalité, le test de Shapiro-Wilk (S.W). Le premier test vise à déterminer la fiabilité (pour les variables qualitatives), le second test et celui de la normalité fiabilité (pour les variables quantitatives). Afin d'étudier les relations entre les variables de type qualitatif, On a eu recours à l'analyse des correspondances multiples (ACM) et au test de Spearman, car on a constaté, que les chercheurs (Xue, Mak, & Cheung, 2014; Boyce, et al., 2006) ont recours très souvent à cette analyse dans l'étude des variables de type qualitatif. Par contre l'étude des variables qualitatives sera étudiée à l'aide des tests ‘ANOVA one-way’ et Pearson (Boyce, et al., 2006). Et à la fin, pour l'étude des corrélations des deux types de variables qualitatives et quantitatives ensemble on utilisera plusieurs représentations et techniques parmi elles Box-plot les histogrammes, le

diagramme (nuage de points), ces techniques de représentation ont été largement utilisées dans des travaux ultérieurs (Galasiu & Reinhart, 2008; Xue, Mak, & Cheung, 2014; Akashi & Boyce, 2006).

### **Conclusion**

Le travail proposé dans ce chapitre se compose de deux volets, le premier a comme objectif d'analyser les différentes méthodologies proposées par les chercheurs afin de quantifier l'environnement physique lumineux interne, le second objectif est l'étude des méthodologies proposées à la mesure des impacts psychophysiques de cet environnement physique sur le comportement des occupants de l'espace architectural, et sur la base de ces deux volets ont développé une méthodologie à notre travail de recherche. La méthodologie adoptée pour notre travail s'articule sur deux méthodes de recherche, la première est dite 'méthode d'expérimentation simulée' alors que la deuxième est dite 'méthode d'enquête par questionnaire'. Le choix de ces deux méthodes a été basé sur les résultats des recherches et des études précédentes. La méthode d'expérimentation simulée a été proposée dans le but de quantifier les grandeurs photométriques lumineuses dans l'espace destiné à l'étude, par des mesures in-situ de trois types d'indicateurs lumineux dégagés dans les recherches antécédentes, qui sont l'éclairage, la luminance et le contraste, les indices de blanchiment lumineux par rapport aux mesures d'éclairage. Nous allons mesurer l'éclairage sur le plan de travail au niveau des yeux... etc., cela à l'aide d'un luxmètre, Pour la luminance et le contraste nous allons mesurer les niveaux de luminances et de contraste sur les champs visuels des occupants à l'aide d'appareil photo doté d'un objectif fish-eye, pour la prise d'images sphériques qui sont traitées plus tard afin d'extraire les données lumineuses utiles à notre étude, la même technique d'image sera utilisée pour les indices d'éblouissement.

La seconde méthode utilisée dans la méthodologie est la méthode d'enquête par questionnaire car cette dernière offre l'avantage d'après les avis de différents chercheurs d'être la plus adaptée aux enquêtes qui visent à lier des facteurs lumineux (qualitatifs/ quantitatifs), dans les espaces architecturaux. Afin d'évaluer la qualité lumineuse à l'aide de l'enquête nous avons développé dans le présent chapitre un formulaire de questions qui est subdivisé en quatre parties, la première a comme objectif de collecter des informations générales sur la salle et des occupants ; la configuration, lumineuse, la position de l'utilisateur...etc. Le but de la seconde partie du formulaire est de collecter des informations sur le confort lumineux et les ambiances lumineuses dans l'ensemble de la salle de manière globale, car l'objet de la dernière partie du questionnaire est aussi évaluer le confort lumineux et l'ambiance lumineuse, mais cette partie

est plus focalisée sur le poste de travail uniquement et lors d'exercices de différentes tâches lumineuses par l'occupant. A la fin du chapitre nous avons fait une revue des méthodes statistiques couramment utilisées afin de lier les facteurs qualitatifs à ceux quantitatifs.

## **Références**

- (CIE), I. C. (1995). Discomfort glare in interior lighting. CIE Publication 117.
- Akashi, Y., & Boyce, P. (2006). A field study of illuminance reduction. *Energy and Buildings*, 38(6), 588-599.
- Arsenault, H. a.-C. (2012). Effects of glazing colour type on perception of daylight quality, arousal, and switch-on patterns of electric light in office rooms. *Building and Environment*, 56, 223-231.
- Bay, J.-H. (2004). Sustainable community and environment in tropical Singapore high-rise housing: the case of Bedok Court condominium. *Arq: Architectural Research Quarterly*, 8(3-4), 333.
- Boyce. (2003). Lighting for the elderly. *Technology and Disability*, 15(3), 165-180.
- Boyce, P. R., Veitch, J. A., Newsham, G. R., Jones, C., Heerwagen, J., Myer, M., & Hunter, C. (2006). Occupant use of switching and dimming controls in offices. *Lighting Research & Technology*, 38(4), 358-376.
- Bulow-Hube, H. (2000). Office worker preferences of exterior shading devices: a pilot study. *EuroSun 2000 Conference*, (pp. 19-22).
- C.I.E. (1957). *International Lighting Vocabulary*, Definition 20-025.
- Cai, H., & Chung, T. (2011). Improving the quality of high dynamic range images. *Lighting Research & Technology*, 43(1), 87-102.
- Chauvel, P., Collins, J., Dogniaux, R., & Longmore, J. (1982). Glare from windows: current views of the problem. *Lighting Research and Technology*, 14(1), 31-46.
- Christoffersen, J., & Wienold, J. (2008). Assessment of user reaction to glare with three solar shading systems. *International Conference on Indoor Air Quality and Climate*.
- Coutelier, B. (2006). Caractérisation de la qualité d'un environnement lumineux a l'aide d'outils de mesure vidéo-photométriques et de simulations en milieux virtuels. Thèse de doctorat, Ecole doctorale MEGA, spécialité Génie Civil, INSA de Lyon, ENTPE, 300 p.
- Craig, C. L., Brownson, R. C., Cragg, S. E., & Dunn, A. L. (2002). Exploring the effect of the environment on physical activity: a study examining walking to work. *American journal of preventive medicine*, 23(2), 36-43.
- Daich, S., Zemmouri, N., Morello, E., Piga, B. E., Saadi, M. Y., & Daiche, A. M. (2017). Assessment of Anidolic Integrated Ceiling effects in interior daylight quality under real sky conditions. *Energy Procedia*, 122, 811-816.
- Eble-Hankins, M., & Waters, C. (2004). VCP and UGR glare evaluation systems: a look back and a way forward.
- Eble-Hankins, M., & Waters, C. (2004). VCP and UGR glare evaluation systems: a look back and a way forward. *Leukos*, 2(1), 7-38.
- Egan, M. D. (1983). *Concept in architectural lighting*. Clemson University, Mc Graw-Hill Book Company, USA.
- Einhorn, H. (1969). A new method for the assessment of discomfort glare. *Lighting Research & Technology*, 1(4), 235-247.

- Escuyer, S., & Fontoynt, M. (2001). Lighting controls: a field study of office workers' reactions. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 33(2), 77-94.
- Escuyer, S., & Fontoynt, M. (2001). Lighting controls: a field study of office workers' reactions. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 33(2), 77-94.
- Galasiu, A. D., & Reinhart, C. F. (2008). Current daylighting design practice: a survey. *Building Research & Information*, 36(2), 159-174.
- Gou, Z., & Lau, S. S.-Y. (2014). Visual alliesthesia: The gap between comfortable and stimulating illuminance settings. *Building and Environment*, 82, 42-49.
- Gurley, K., Davis, J. R., Ferrera, S.-P., Burton, J., Masters, F., Reinhold, T., & Abdullah, M. (2006). Post 2004 Hurricane Field Survey--An Evaluation of the Relative Performance of the Standard Building Code and the Florida Building Code. *Structures Congress 2006: Structural Engineering and Public Safety*.
- Guth, S. K. (1963). A method for the evaluation of discomfort glare. *Illuminating Engineering*, 58(5), 351-364.
- Halonen, L., & Lehtovaara, J. (1995). Need of individual control to improve daylight utilization and user's satisfaction in integrated lighting systems. *PUBLICATIONS-COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE CIE*, 119, 200-203.
- Halonen, L., & Lehtovaara, J. (1995). Need of individual control to improve daylight utilization and user's satisfaction in integrated lighting systems. *PUBLICATIONS-COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ECLAIRAGE CIE*, 119, 200-203.
- Hirning, M., Isoardi, G., Coyne, S., Hansen, V. G., & Cowling, I. (2013). Post occupancy evaluations relating to discomfort glare: A study of green buildings in Brisbane. *Building and Environment*, 59, 349-357.
- Hirning, M., Isoardi, G., Coyne, S., Hansen, V. G., & Cowling, I. (2013). Post occupancy evaluations relating to discomfort glare: A study of green buildings in Brisbane. *Building and Environment*, 59, 349-357.
- Hopkinson, R. G. (1972). Glare from daylighting in buildings. *Applied Ergonomics*, 3(4), 206-215.
- Hopkinson, R., & Collins, W. M. (1963). An experimental study of the glare from a luminous ceiling. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 28(4\_IEStrans), 142-148.
- IESNA. (2006). *IESNA 500-Standard for Installing Indoor Commercial Lighting Systems*. National Electrical Contractors Association.
- Inanici, M. (2006). Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. *Lighting Research & Technology*, 38(2), 123-134.
- Jacobs, A. (2007). High dynamic range imaging and its application in building research. *Advances in building energy research*, 1(1), 177-202.
- Leslie, R., Raghavan, R., Howlett, O., & Eaton, C. (2005). The potential of simplified concepts for daylight harvesting. *Lighting Research & Technology*, 37(1), 21-38.
- Lindsay, C., & Littlefair, P. (1993). *Occupant use of venetian blinds in offices*. Watford, Building Research Establishment.
- Luckiesh, M. a. (1944). *Reading as a visual task*. D. Van Nostrand.
- Mardaljevic, J., Hescong, L., & Lee, E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research & Technology*, 41(3), 261-283.
- Mardaljevic, J., Painter, B., & Andersen, M. (2009). Transmission illuminance proxy HDR imaging: A new technique to quantify luminous flux. *Lighting Research & Technology*, 41(1), 27-49.
- Martins Mogo de Nadal, B. G. (2005). *An experimental setup to evaluate the daylighting performance of an advanced optical light pipe for deep-plan office building*. Texas A&M University.

- Matterson, M. L., Ferra, J. O., Salom, J., & Portilla, J. (2013). Dynamic daylight simulation and visual comfort survey in Mediterranean climate. Case study in office building. Proc. Building Simulation Conf. IBPSA.
- Moeck, M. (2007). Accuracy of luminance maps obtained from high dynamic range images. *Leukos*, 4(2), 99-112.
- Moore, T., Carter, D., & Slater, A. (2002). A field study of occupant controlled lighting in offices. *Lighting Research & Technology*, 34(3), 191-202.
- Moore, T., Carter, D., & Slater, A. (2003). Long-term patterns of use of occupant controlled office lighting. *Lighting Research & Technology*, 35(1), 43-57.
- Nayar, S. K., & Branzoi, V. (2003). Adaptive dynamic range imaging: Optical control of pixel exposures over space and time. null (p. 1168). IEEE.
- Newsham, G. R., & Veitch, J. A. (2001). Lighting quality recommendations for VDT offices: a new method of derivation. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 33(2), 97-113.
- Newsham, G. R., Aries, M., & Mancini, S. a. (2008). Individual control of electric lighting in a daylit space. *Lighting Research & Technology*, 40(1), 25-41.
- Newsham, G. R., Aries, M., Mancini, S., & Faye, G. (1998). Individual control of electric lighting in a daylit space. *Lighting Research & Technology*, 40(1), 25-41.
- Newsham, G., & Arsenaault, C. (2009). A camera as a sensor for lighting and shading control. *Lighting Research & Technology*, 41(2), 143-163.
- Osterhaus, W. (2006). Comment 2. *Lighting Research and Technology*, 38(4), 338-339.
- Osterhaus, W. K. (2005). Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments. *Solar Energy*, 79(2), 140-158.
- Page, J., Scartezzini, J.-L., Kaempf, J., & Morel, N. (2007). On-site performance of electrochromic glazings coupled to an anidolic daylighting system. *Solar Energy*, 81(9), 1166-1179.
- Parsons, T. (1966). *Societies: evolutionary and comparative perspectives*.
- Porteous, J. D. (1977). *Environment & behavior: planning and everyday urban life*.
- Rea, M. S. (2000). *The IESNA lighting handbook: reference & application*.
- Rea, M. S., & Jeffrey, I. (1990b). A new luminance and image analysis system for lighting and vision I. Equipment and calibration. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 19(1), 64-72.
- Rea, M. S., Ouellette, M., & Tiller, D. K. (1990). The effects of luminous surroundings on visual performance, pupil size, and human preference. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 19(2), 45-58.
- Reinhard, E., & Devlin, K. (2005). Dynamic range reduction inspired by photoreceptor physiology. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 11(1), 13-24.
- Reinhart, C. F. (2002). Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices. 2002 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.
- Roche, L., Dewey, E., & Littlefair, P. (2000). Occupant reactions to daylight in offices. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 32(3), 119-126.
- Russell, J. A., & Snodgrass, J. (1987). Emotion and the environment. *Handbook of environmental psychology*, 1(1), 245-81.
- Sorensen, K. (1987). A modern glare index method. Proc. CIE Venice Vols. I, II, 108-111.
- Sutter, Y., Dumortier, D., & Fontoynt, M. (2006). The use of shading systems in VDU task offices: A pilot study. *Energy and Buildings*, 38(7), 780-789.



- Van Den Wymelenberg, K. (2012). Patterns of occupant interaction with window blinds: A literature review. *Energy and Buildings*, 165-176.
- Van Den Wymelenberg, K., Inanici, M., & Johnson, P. (2010). The effect of luminance distribution patterns on occupant preference in a daylit office environment. *Leukos*, 7(2), 103--122.
- Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2000). Preferred luminous conditions in open-plan offices: Research and practice recommendations. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 32(4), 199-212.
- Vine, E., Lee, E., Clear, R., DiBartolomeo, D., & Selkowitz, S. (1998). Office worker response to an automated venetian blind and electric lighting system: a pilot study. *Energy and Buildings*, 28(2), 205-218.
- Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and buildings*, 38(7), 743-757.
- Xue, P., Mak, C., & Cheung, H. (2014). The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey. *Building and Environment*, 81, 51-59.
- Xue, P., Mak, C., & Cheung, H. (2014). The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey. *Building and Environment*, 81, 51-59.
- Yacine, S. M., Nouredine, Z., Piga, B. E., Morello, E., & Safa, D. (2017). Towards a new model of light quality assessment based on occupant satisfaction and lighting glare indices. *Energy Procedia*, 122, 805--810.

IBM Corp. Released 2016. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 24.0. Armonk, NY: IBM Corp.



**II. Partie pratique**

### II. Partie pratique

*L*a présente partie est composée de cinq chapitres pratiques, qui sont essentiellement basées sur les résultats des investigations menées lors de la recherche théorique, cette partie a comme objectif donc de mettre en pratique l'ensemble des conclusions, méthodes et concepts dégagés dans la première partie. La seconde partie a été organisée de la manière suivante : dans le quatrième chapitre nous avons exposé notre protocole expérimental, qui sera adopté pour le développement du modèle d'évaluation des ambiances lumineuses dans la salle de conception assistée par ordinateur. Le protocole expérimental est subdivisé en deux parties, l'une qui est l'évaluation de l'environnement physique lumineux, cette évaluation est basée exclusivement sur des critères objectifs mesurables : éclairements, luminances, indices d'éblouissement..., la seconde partie est l'évaluation des interactions 'Impacts' de l'environnement physique sur les usagers de l'espace, la collecte de ces données subjectives se fait à l'aide d'un questionnaire. Les chapitres cinq et six, ont été dédiés à l'exposition détaillée du procédé de mesure des grandeurs photométriques lumineuses et aux indices d'éblouissement dans la salle pour chaque activité demandée aux usagers. Dans le septième chapitre nous avons exposé les données collectées à travers le questionnaire, ainsi que le résultat d'une étude statistique qui avait comme but de ressortir les variables corrélées significativement. Le huitième chapitre a été consacré au développement de notre modèle qui est le résultat des combinaisons des évaluations objectives et subjectives pour chacune des sept tâches demandées aux usagers, pour notre modèle nous avons eu recours exclusivement aux variables corrélées significativement.

# Chapitre 04

## **Introduction**

Dans le chapitre précédent, nous avons fait une revue de littérature des différents outils et méthodes actuellement utilisés par les chercheurs afin de quantifier les ambiances lumineuses dans l'espace architectural. D'après cette recherche bibliographique, on a pu constater les points suivants : le premier est que l'investigation des phénomènes lumineux dans un espace architectural peut être réalisée au moyen de plusieurs outils et méthodes d'investigation et d'analyse. La méthode expérimentale est l'une des méthodes les plus fréquemment utilisée pour évaluer les performances d'éclairage aux seins des espaces intérieurs.

Le second point constaté lors de notre travail de recherche est l'absence d'une méthode ou d'une méthodologie commune, qui est largement acceptée et adoptée par les chercheurs dans le domaine d'éclairage des espaces architecturaux. Car d'après notre recherche, la difficulté réside dans l'évaluation de l'environnement lumineux et la mesure de l'impact subjectif de ce dernier sur l'être humain qui joue le rôle d'utilisateur de l'espace. Il y avait aussi une divergence sur la manière de lier ces deux mesures objectives et subjectives ensemble. C'est pourquoi on s'est basé sur les recherches antérieures dans le domaine lumineux du bâtiment afin de mesurer l'impact de l'environnement lumineux sur les émotions ressenties par les usagers de la salle (CAO). La compréhension et l'étude des interactions complexes qui peuvent exister entre les usagers de la salle et leur environnement est primordial. Pour cela nous avons développé une méthodologie qui est subdivisée en trois volets, le premier volet est celui des mesures photométriques qui ont été menées dans la salle grâce aux différents outils et méthodes qui seront expliqués en détail dans ce chapitre, suivi par le volet mesures psychométriques qui consiste à l'utilisation d'un questionnaire afin d'évaluer les émotions des usagers. Le dernier volet est celui de l'utilisation d'un outil statistique, car d'après notre travail d'investigation nous avons opté pour cet outil afin de lier les différentes données des deux premiers volets (physique / psychométrique), ces trois composantes principales de la méthodologie seront revues et détaillées dans ce chapitre.

#### 4.1. Présentation de l'environnement physique du cas d'étude

##### 4.1.1. Les caractéristiques climatiques de la ville de BISKRA

La ville de Biskra est une ville saharienne qui se situe au sud-est de l'Algérie ; elle occupe une superficie de 21.671 Km<sup>2</sup>. Elle est caractérisée par un climat froid en hiver, chaud et sec en été. Les caractéristiques géographiques de la ville sont : latitude = 34.48 N, longitude = 5.44 N. L'altitude est égale à 128 m au-dessus du niveau de la mer. La ville de Biskra se caractérise par une température maximale en été qui atteint dans le mois de juillet 42°C et une température minimale en hiver qui atteint 7°C pendant le mois de janvier. La moyenne annuelle de la température est de 21.5°C.

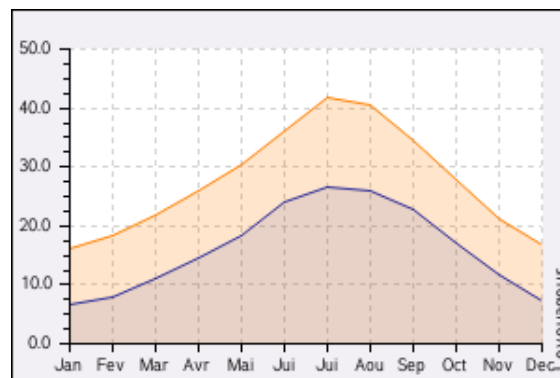


Figure 4.1 : La température minimale et maximale (source : Daich, 2011)

La précipitation moyenne annuelle est très faible, environ 8.8 mm. Elle atteint sa valeur maximale durant le mois de septembre (20 mm). Les précipitations en été sont presque nulles (2 mm durant le mois de juillet). L'humidité moyenne annuelle est de 46% (Daich, 2011)

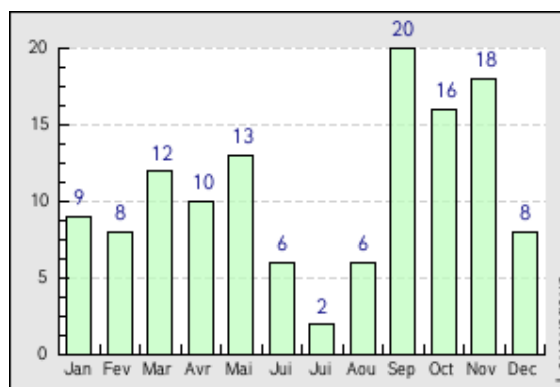


Figure 4.2 : La précipitation (mm) (source : Daich, 2011)

##### 4.1.2. Le potentiel solaire de la ville de Biskra

L'Agence spatiale allemande (DLR) et suite à une évaluation par satellites a conclu que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen. La

durée d'insolation, de l'ordre de 3500 heures/an est la plus importante au monde. Elle est toujours supérieure à 8 heures/jours. Pendant l'été, elle peut atteindre jusqu'à plus de 12 heures/jour au centre du Sahara. La carte suivante montre que l'Algérie se trouve dans une région dans laquelle l'ensoleillement direct moyen annuel excède 2000 kWh/m<sup>2</sup>/an. Ce qui nous intéresse le plus à ce stade, c'est la quantité du rayonnement solaire que reçoit la ville de Biskra au cours de toute l'année. La carte terrestre de l'ensoleillement moyen annuel indique que le potentiel reçu dans cette ville se trouve dans la fourchette de (5-6 kWh/m<sup>2</sup>/jour) et annuellement, il est compris entre 1825 et (2190 kWh/m<sup>2</sup>/an). La ville de Biskra possède ainsi un gisement solaire très important qui nécessite une exploitation rationnelle et durable. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien montre que le Sahara occupe une grande superficie du territoire et que l'ensoleillement annuel reçu est très important et atteint (2600 kWh/m<sup>2</sup>/an), ce qui le classe parmi les plus grands gisements solaires au monde (Daich, 2011)

**Tableau 4.1 : l'ensoleillement reçu annuellement en Algérie par région climatique (Daich, 2011)**

Ensoleillement reçu annuellement en Algérie par région climatique	Superficie (%)	Ensoleillement (h/an)	Energie moyenne reçue (kWh/m <sup>2</sup> /an)
Région Littoral	4	2650	1700
Hauts Plateaux	10	3000	1900
Sahara	86	3500	2650

#### **4.1.3. Le type de ciel dominant à BISKRA**

La détermination du type de ciel dominant durant toute l'année à Biskra permettra de caractériser le climat de la ville de manière générale ainsi que le gisement solaire et l'éclairement lumineux, ce qui est l'un des objectifs principaux de cette recherche. Cette détermination se fait par le calcul de la couverture nuageuse qui représente la quantité des nuages dans une région donnée pendant la journée, ce taux est exprimé en pourcentage (%). La variation de cette couverture de 0 à 100% détermine le type de ciel : 0% indique un ciel clair, 100% un ciel couvert et entre 10 et 70% le ciel est intermédiaire. Les données représentées dans les tableaux suivants sont reprises des données satellitaires de la (NASA) qui donnent le taux de la couverture nuageuse annuelle moyenne à Biskra durant toute l'année et au cours de différentes heures de la journée.

Tableau 4.2 : Le taux de la couverture nuageuse (%) (Source : Daich, 2011)

Lat 34.48 Lon 5.44	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Juil	Auo	Sep	Oct	Nov	Dec
Moyenne de 10 ans	52.5	53.6	55.9	54.3	55.0	47.1	31.3	35.0	41.4	56.3	56.0	52.2

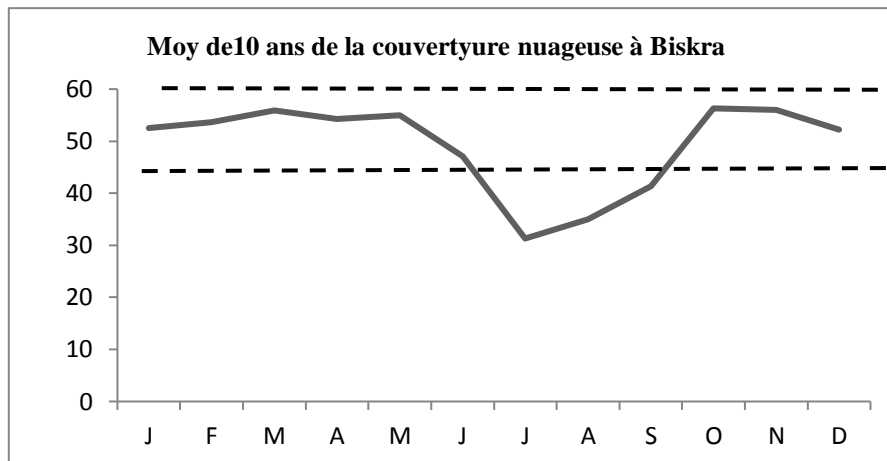


Figure 4.3 : Le taux de la couverture nuageuse (%) (Source: Daich, 2011)

D'après les résultats obtenus lors des travaux de (Daich, 2011), sur le climat lumineux et à la caractérisation du type de ciel dominant dans la ville de Biskra, les résultats ont démontré que la ville est caractérisée par un ciel mi- couvert, avec une couverture nuageuse entre 50 à 60 %, durant 10 mois dans l'année. Pour notre expérimentation, nous nous sommes basés sur ces données pour choisir une journée avec un ciel type 'représentatif', afin de mener l'expérimentation. Notre choix s'est porté sur la journée du quinze du mois de mai deux mille seize, une journée caractérisée aussi avec un ciel mi- couvert (voir la figure ci-dessous) (Figure 4.4 ) avec une distribution uniforme de luminance dans le temps, ce qui nous offrira aussi l'avantage d'avoir un éclairage extérieur plus au moins constant lors du déroulement de notre expérimentation et la prise des mesures photométriques à l'intérieur de l'espace.

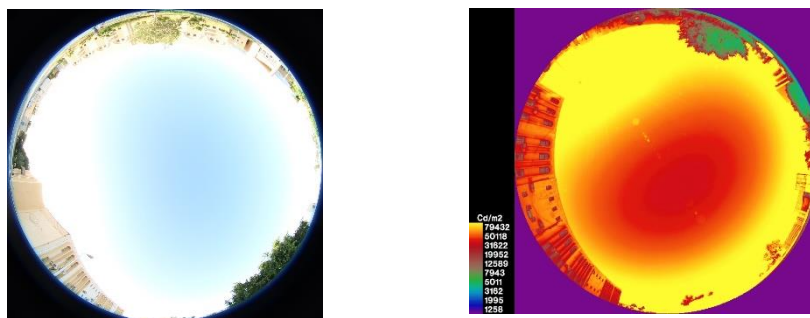


Figure 4.4 : photographie du ciel, avec distributions des luminances le jour de l'expérimentation (source : Auteur)



## 4.2. Présentation du cas d'étude

Il a été décidé de réaliser l'expérimentation dans une salle de dessin assisté par ordinateur, appelée aussi salle (CAO), cette dernière fait partie du campus universitaire de l'université de Biskra, une des salles où s'enseignent des outils informatiques : SIG, Archicad, Autocad, elle est couramment utilisée par les enseignants et les étudiants du département d'architecture. Notre choix s'est porté sur cette salle car elle offre l'avantage d'accueillir un grand nombre de tâches visuelles : vision de data show, vision du tableau blanc, vision et dessin sur papier, et aussi le travail sur écran PC. L'autre critère du choix de la salle est que la salle dispose d'une très grande surface vitrée qui donne sur la façade, et qu'il est possible de faire varier afin de créer différentes configurations lumineuses de la salle, il est aussi possible de faire modifier la disposition de l'aménagement interne de la salle pour simuler différentes positions des usagers. La salle de CAO se trouve au nord-est du département d'architecture de Biskra, et à la limite Est du campus universitaire. (Voir le plan de masse)

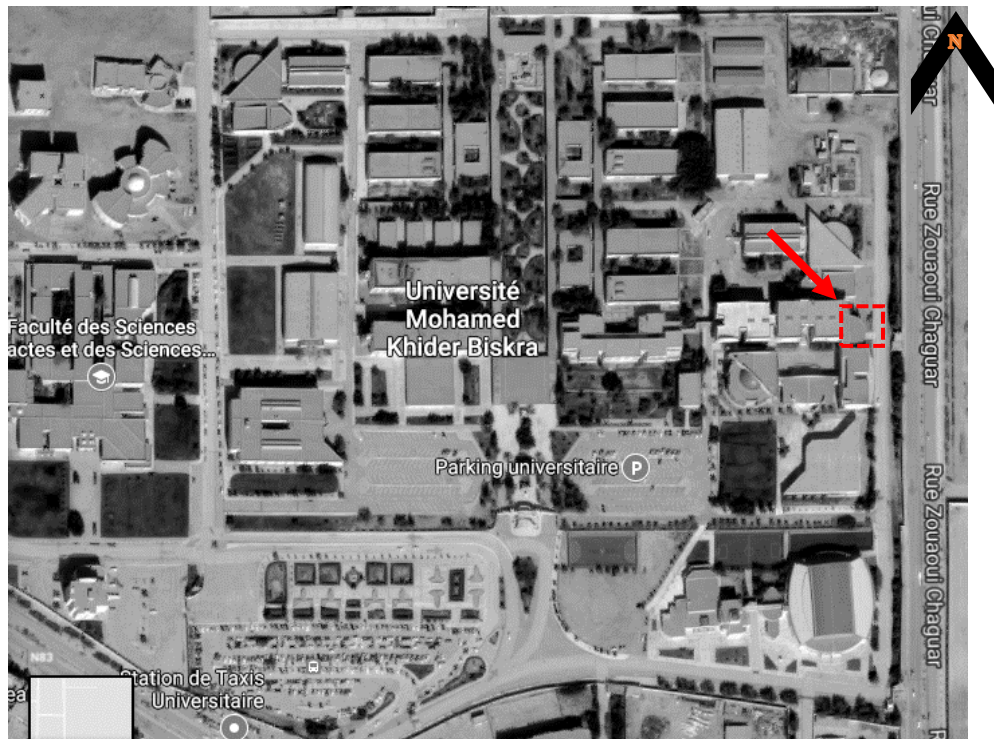


Figure 4.5 : Plan de masse du campus universitaire (source : Auteur)

### 4.2.1. Description de l'espace salle de CAO

La salle de conception assistée par ordinateur a une surface qui avoisine les 110 m<sup>2</sup>, elle fait partie de l'université de Biskra, Algérie (34° 50' 47" Nord, 5° 45' 01" Est), elle a une forme d'un quart de cercle avec un rayon de 10 m et une hauteur de 3.50 m (voir figure 4.5).

L'éclairage naturel est assuré uniquement par une ouverture sur l'extérieur par une baie vitrée qui représente 60% de la façade (figure 4.6).

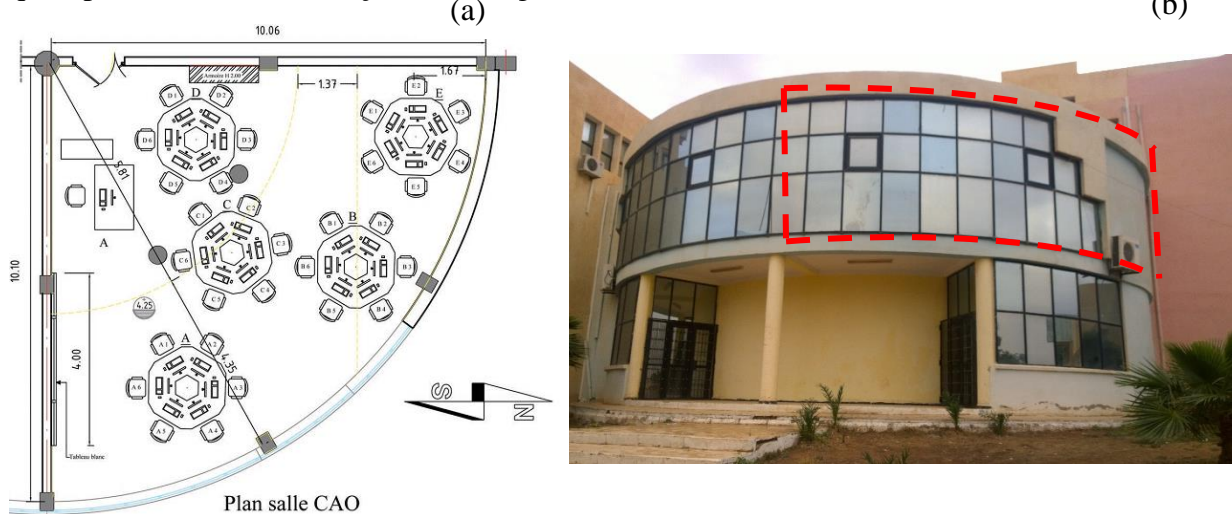


Figure 4.6 : a (Plan de la salle CAO) ; b (Vue de l'extérieur de la salle CAO) (Source : Auteur)

Les coefficients de réflexion des parois internes de la salle sont : murs (60%), plafond (80%) et sol (40%), le coefficient de transmission de vitrage est de 65 %. La salle contient six tables, chacune est équipée de six postes informatiques numérotés avec clavier, souris et écrans, tous les écrans sont de même marque. Pour les paramètres de luminances, contraste, couleur de d'écran, etc., ont été pré ajustés de manière identique dans tous les postes, l'utilisateur n'avait pas la possibilité de les changer.

#### 4.2.2. Configurations spéciales lumineuses et spéciale testée de la salle CAO

Pour l'aménagement de la salle, nous avons proposé un aménagement des tables de telle sorte à couvrir les trois zones d'éclairage naturel, classées selon l'éloignement de la fenêtre proposées selon la règle de  $(1.5 H \times 3)$ , H est la hauteur de la fenêtre, cette formule a été proposée par (Pélegrin-Genel, 1994). (Voir Figure 4.7)

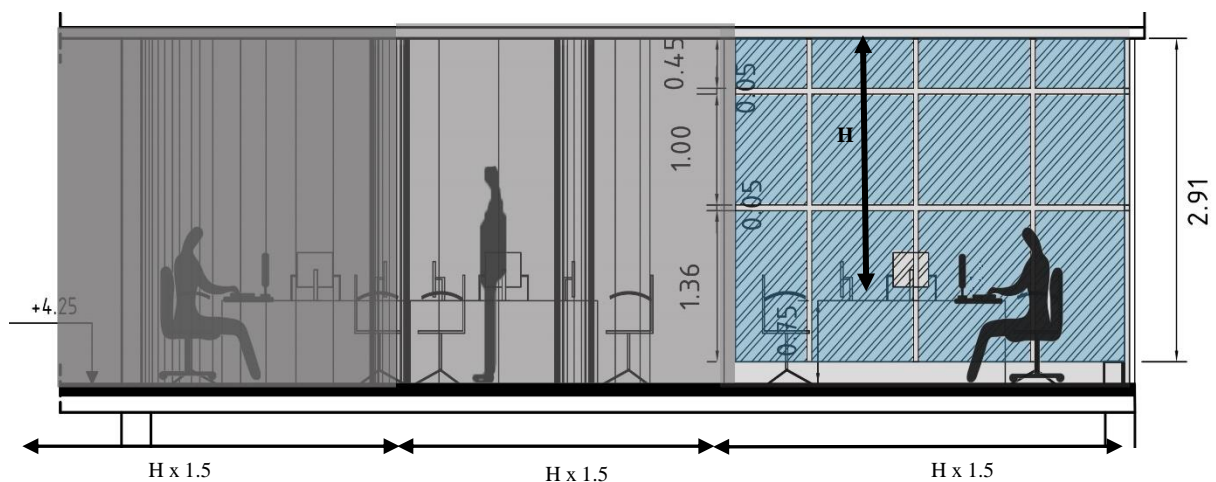


Figure 4.7 : Aménagement proposé avec les trois zones d'éclairage naturel (source : Auteur)

La disposition des postes de travail a pris en considération aussi l'éclairage artificiel, (voir la figure 4.8) montre l'implantation des lampes fluorescentes sur le plan. La salle contient un seul type de luminaires, celui-ci est de type pavé 04 lampes fluorescentes encastrées avec grille basse luminance, les lampes contenues sont de types lampe fluorescente 18W 300K IRC 85, de marque 'Osram', chaque pavé lumineux fait (63 cm par 63 cm).

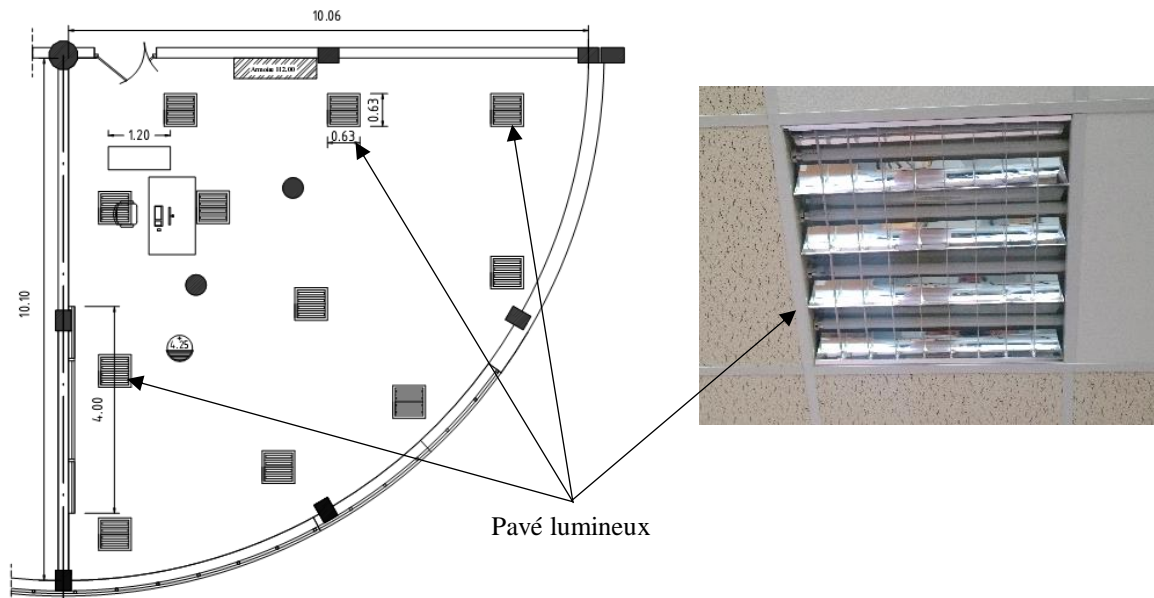


Figure 4.8 : Implantations des luminaires dans la salle CAO (source : Auteur)

Afin de créer un large éventail d'ambiances lumineuses mixtes (naturelles et artificielles) dans un but expérimental, différentes configurations lumineuses ont été testées de la salle. Elles seront développées ci-dessous dans ce chapitre, dans la partie configurations lumineuses de la salle, dans la procédure expérimentale.

### 4.3. Outils et méthodes

#### 4.3.1. Mesure des éclairagements

Lors de notre expérimentation, nous avons utilisé deux luxmètres, afin de mesurer l'éclairage horizontal et vertical dans la salle (CAO), le premier est un modèle de type (VOLTRAF.T. MS 4 IN 1 #DT 8822) Environnement Mètre et le deuxième est un Luxmètre numérique de type Chauvin Arnoux CA-811) (voir Figure 4.9). Les caractéristiques de ces deux modèles sont:

- Afficheur 3½ digits (2000 points)
- Gamme de mesure du luxmètre Chauvin Arnoux : 20 lux à 20000 lux
- Mesure des éclairagements par photodiode au silicium.
- Résolution : 0,01 lux
- Fonctions Hold/Rétro-éclairage/lux ou fc/Max

- Précision  $\pm 3\%L + 10$  points
- Correction spectrale C.I.E. et correction d'incidence
- Sonde portable pour des mesures en toutes circonstances
- Gaine de protection antichoc
- Dimensions : 173 x 60,5 x 38mm - Masse : 214 g



Figure 4.9: Luxmètres utilisé dans l'expérimentation (source : Auteur)

#### 4.3.2. Mesures de luminances

Pour les mesures de luminances dans la salle, et comme nous n'avons pas de luminances mètre à notre disposition nous avons eu recours à deux méthodes qui ont été déjà utilisées dans des recherches antérieures dans le domaine d'éclairage. La première consiste à doter le luxmètre utilisé avec une coiffe noire, (voir Figure 4.10) afin de mesurer les éclairagements reçus dans une direction donnée et avec un angle solide bien déterminé, ce qui convertit automatique la lecture des éclairagements en luminances, (Berrutto, 1996).

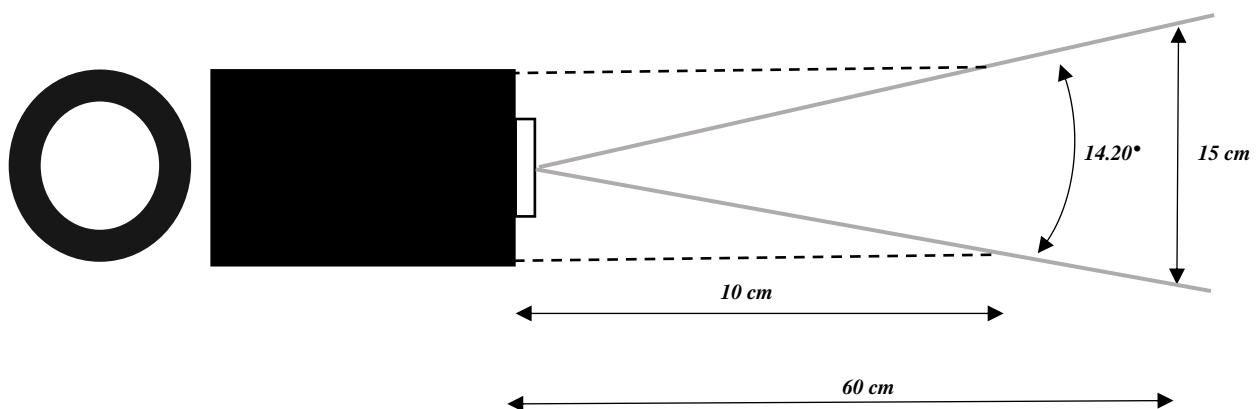
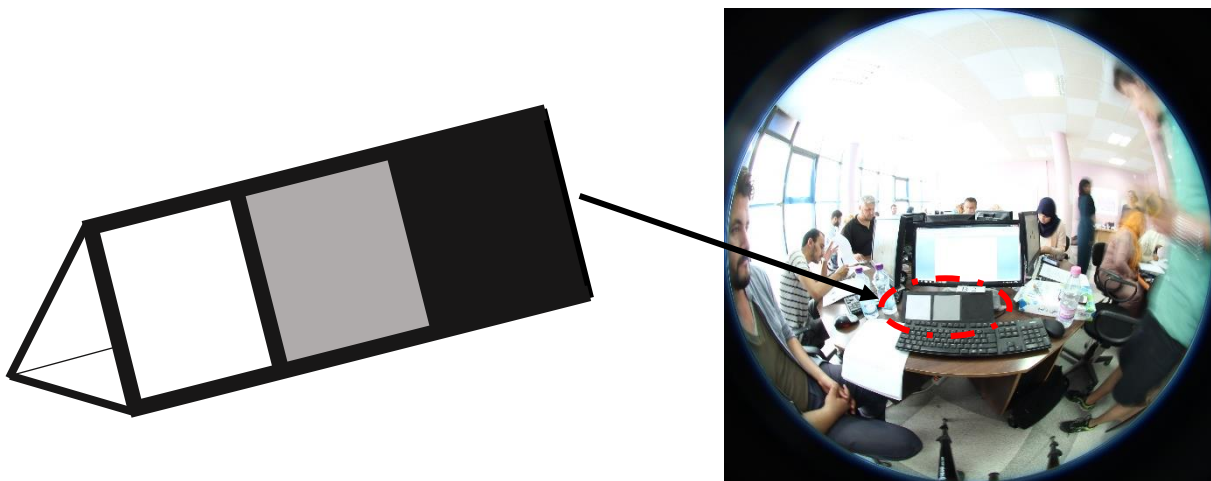


Figure 4.10 : Dispositifs pour les mesures de luminances Coiffe noire (source : vincent berrutto 1996)



L'autre méthode qui a été utilisée afin de mesurer les luminances est celle du champ visuel, elle se base principalement sur le coefficient de reflex, car selon la méthode développée par (A.F.E, 1993) qui consiste à placer un luxmètre alternativement sur la surface et face à la surface. Dans la première position, le luxmètre mesure le flux incident par unité de surface. Dans la seconde position, il mesure le flux réfléchi dans une direction donnée par cette même surface. Le rapport entre les deux fournit une estimation du coefficient de réflexion. Toutefois pour que la seconde mesure soit fiable, il faut que le luxmètre soit relativement proche de la surface, à moins de 20 cm (Berrutto, 1996). Il est donc possible de déterminer la luminance d'une surface donnée (sous certaines conditions), en faisant le rapport entre l'éclairement mesuré par le luxmètre et  $\pi$ , dans ce cas, on calculera la luminance moyenne des surfaces incluses dans l'angle solide défini par le cylindre. Pour cela il faut placer un luxmètre sur la surface dont on souhaite connaître la luminance et on calculera cette dernière par la relation ( $L=\rho.E/\pi$ ). Cette formule est valable pour les surfaces diffusantes (A.F.E, 1993),  $\rho$  est le coefficient de réflexions. Dans notre travail, nous allons recourir à cette méthode afin d'avoir une surface avec une luminance de référence sur chaque champ visuel, nous avons développé une surface avec trois dégradés de noir où les valeurs de réflexion sont données (voir Figure 4.10). Ce dispositif va être posé devant chaque utilisateur, afin de servir de référence de luminance lors de la prise de mesure de luminance grâce aux photos plus tard (voir Figure 4.11).



*Figure 4.11: Surface avec trois dégradés de noir posé devant les utilisateurs (source : Auteur)*

### **3.1. Prise de photos**

Pour la prise des photos, nous avons utilisé un appareil photo CANON EOS 1200D, avec un trépied, afin d'ajuster la hauteur à celle des utilisateurs de la salle (CAO), ci-dessous les principales caractéristiques de l'EOS 1200D (voir la figure 4.12) :

- Image fixe 18 MP
- Film 1080p Full HD
- Objectifs Canon EF et EF-S
- Capteur CMOS
- Image Processeur Digic 4
- Stockage SD / SDHC / SDXC
- Système AF 9 points Système AF
- Écran LCD de 7,7 cm (3,0 ")



Figure 4.12 : Appareil photo et Fish-Eye (source : Auteur)

La photographie est prise au niveau de l'œil à l'aide d'un objectif fish-eye, un objectif Sigma 4.5mm F2.8 ex dc circular fish-eye hsm (180°), dont la projection est équidistante. Par définition, cette propriété permet d'obtenir des photos de forme circulaire "projection équidistante" (Yin, 2011) de toutes les surfaces présentes dans les champs de l'objectif, et en fixant l'objectif verticalement à l'endroit de l'œil à l'aide d'un trépied, ce champ contient la totalité des champs visuels de l'occupant (voir la figure 4.13) ces photos seront traitées plus tard grâce à des logiciels afin d'extraire des grandeurs de luminances :

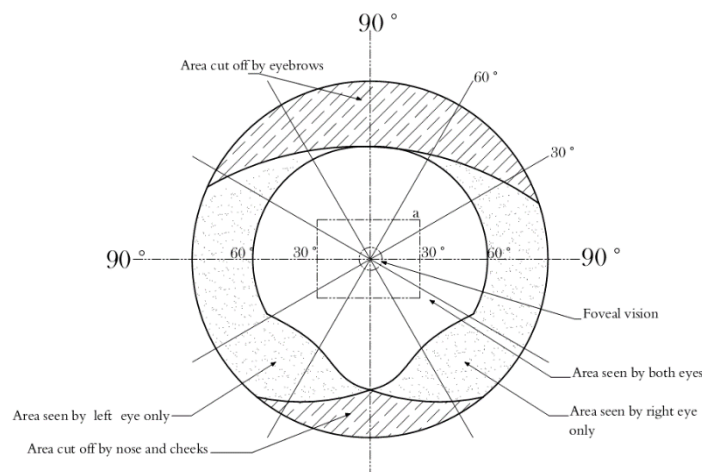


Figure 4.13 : Représentation du Champ visuel humain sur Projection équidistante à 180° (Source: Yin, 2011)

#### 4.4. Développement du modèle d'évaluation des performances visuelles

D'après les modèles étudiés dans le chapitre précédent et lors de notre revue de littérature, liés à l'évaluation de la performance visuelle et à l'optimisation du confort lumineux dans l'espace de travail, à travers ces travaux nous avons constaté que les tâches gravitent principalement sur trois grandes composantes qui sont d'ordre : visuel, cognitif et motrice. Boyce explique que la composante visuelle désigne le processus consistant à extraire les informations pertinentes pour l'exécution de la tâche à l'aide du sens de la vue. La composante cognitive est le processus par lequel des stimuli sensoriels sont interprétés et les mesures appropriées déterminées. La composante motrice est le processus par lequel les stimuli sont manipulés et extraite l'information, où des actions décidées sont effectuées. Bien sûr, ces trois composants interagissent entre eux pour produire des relations complexes entre stimulus et la réponse à un environnement lumineux externe donné.

Et toujours d'après les travaux cités dans le chapitre précédent, il existe aussi une autre façon par laquelle les conditions d'éclairage peuvent affecter de façon très significative, le travail et les tâches visuelles à accomplir, et même le système visuel en totalité, et cela par notre système de perception. Car selon Boyce, le système perceptuel reprend le traitement de l'information et la compréhension dès que l'image de la rétine a été traitée par le système visuel. Toujours selon Boyce, l'évaluation la plus simple du système de perception humain est la mesure du sentiment visuel d'inconfort, car cet indice peut changer l'humeur et la motivation de l'observateur, en particulier dans les conditions de travail prolongé (voir la figure 4.14).

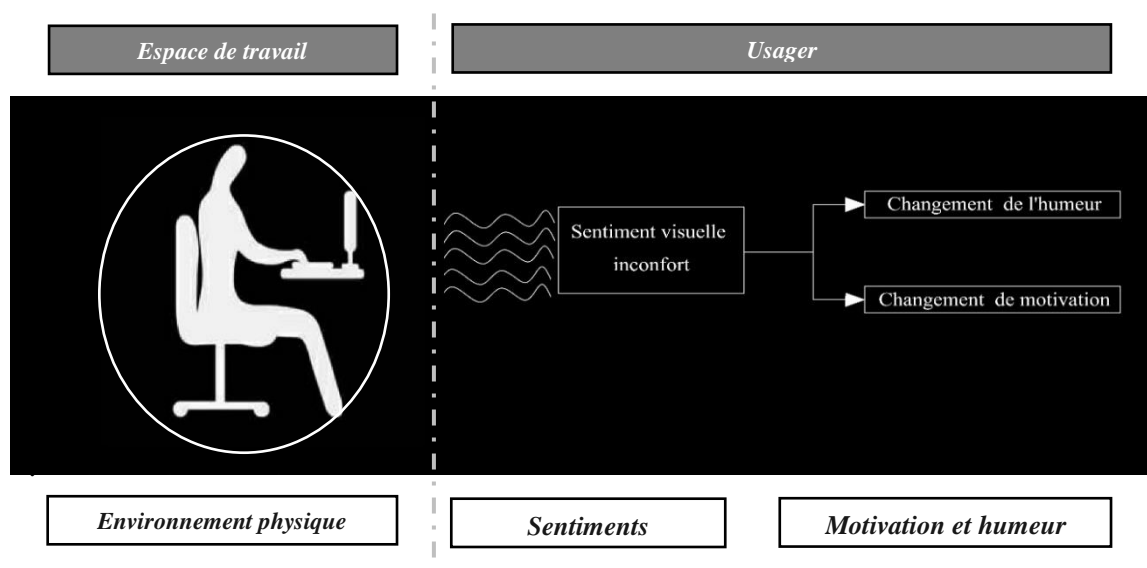


Figure 4.14 : Relation entre environnement physique et Sentiments d'inconfort (source : Auteur)

On peut donc dire que l'usager de l'espace architectural, traduit les messages envoyés par chacune des composantes de l'environnement physique lumineux extérieur qui peut être une



installation d'éclairage, cas d'éclairage artificiel ou source d'éclairage naturel, ou les deux dans le cas d'un éclairage mixte, selon le contexte dans lequel l'utilisateur de l'espace évolue. C'est pour cette raison que notre modèle conceptuel comprend plusieurs facteurs physiques lumineux qui se basent principalement sur les mesures de grandeurs photométriques précises d'ordre objectif. Et aussi d'autres facteurs humains qui sont d'ordre subjectif. On peut diviser notre approche en trois étapes bien distinctes mais complémentaires l'une complète l'autre. Ces étapes sont : la première une évaluation quantitative basée sur des mesures des grandeurs photométriques qui caractérisent l'environnement lumineux de l'utilisateur, la seconde est une évaluation qualitative, une évaluation dès l'interaction de l'utilisateur vis-à-vis de son environnement. La dernière est une corrélation entre les deux afin de développer notre modèle d'évaluation des ambiances lumineuses. Cette dernière se déroule en deux phases, la première consiste à ressortir les variables corrélées significativement, à travers une analyse statistique approfondie afin de déterminer les variables corrélées significativement, qui seront par la suite utilisées dans la seconde phase pour les représenter graphiquement sur les champs visuels des usagers. Au final pour conclure, le modèle développé sera fondé sur la compréhension des interactions internes entre elles. Cet outil utilisera donc des facteurs de satisfaction ou de d'acceptation ou aussi de confort lumineux, qui sont généralement le fruit de cette interaction (utilisateurs, environnements).

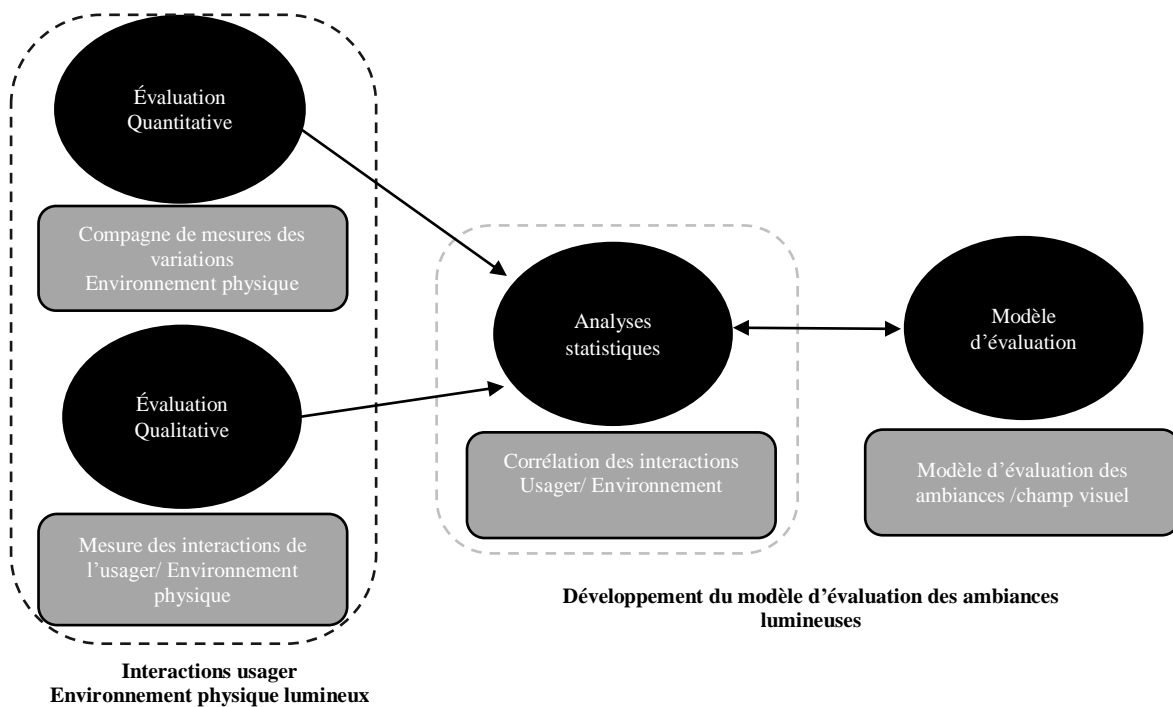


Figure 4.15 : Schéma du processus du développement du modèle d'évaluation des ambiances lumineuses (source : Auteur)

## 4.5. Procédure expérimentale

### 4.5.1. Configurations lumineuses de la salle

Dans le but de créer puis de mesurer in situ la qualité visuelle des ambiances lumineuses générées dans la salle et dans le but de créer un large éventail d'ambiances lumineuses, naturelles, artificielles et mixtes, quatre configurations lumineuses ont été développées :

La première configuration est une configuration éclairée principalement avec un éclairage artificiel, car on a utilisé un rideau qui possède une très faible transmission lumineuse qui avoisine les 5 %, afin d'obstruer le passage de la lumière naturelle le rideau a été déposé sur la totalité de la surface vitrée intérieure de la salle. Dans cette configuration, il y avait une contribution lumineuse principalement artificielle, l'éclairage artificiel (ON). Dans la seconde configuration on a déposé un film poreux (un complément de vitrage) avec un coefficient de transmission lumineuse égal à (50%), sur la totalité de la surface vitrée interne de la salle, cette configuration est éclairé avec un éclairage naturel et artificiel à la fois, pour cette configuration aussi l'éclairage artificiel a été sur (ON). (Voir les figures 4.16 et 4.17).

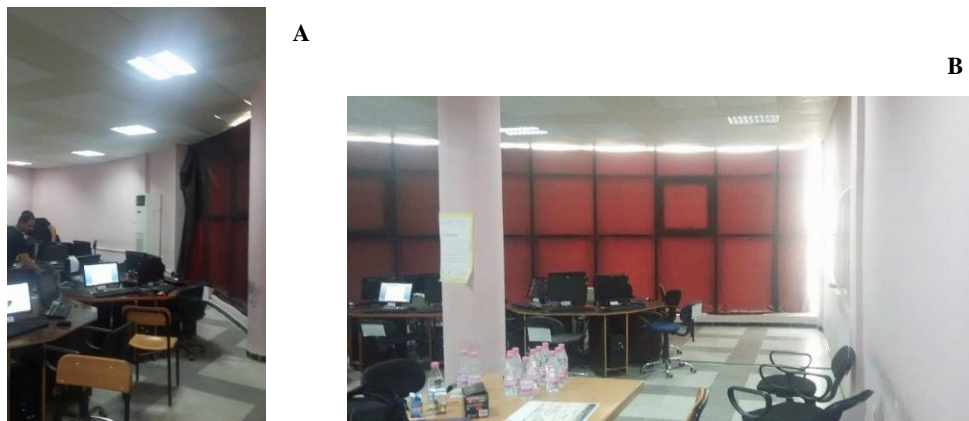


Figure 4.16 : Images prises à l'intérieur de la salle CAO, sous la configuration lumineuse -1- A (gauche) et B (droite) (source : Auteur).

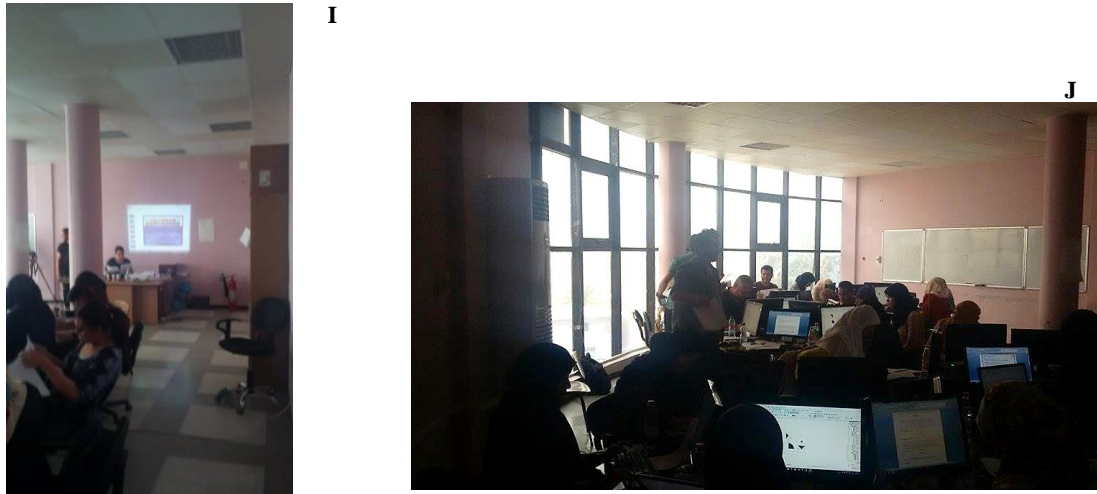


Figure 4.17 : Images prises à l'intérieur de la salle CAO, sous la configuration lumineuse -2- C (gauche) et D (droite) (source : Auteur).

La troisième configuration est la configuration par défaut sans aucun dispositif sur le vitrage, cette configuration représente la configuration utilisée quotidiennement par les usagers de la salle CAO. Elle est caractérisée par l'usage de deux types d'éclairages : naturel et artificiel en même temps. La quatrième configuration est éclairée uniquement par un éclairage naturel, sans aucune contribution de l'éclairage artificiel (l'éclairage artificiel sur OFF). Dans cette configuration aucun complément de vitrage n'a été utilisé. (Voir les figures 4.18 et 4.19).



*Figure 4.18 : Images prises à l'intérieur de la salle CAO, sous la configuration lumineuse -3- E (gauche) et F (droite) (source : Auteur).*



*Figure 4.19 : Images prises à l'intérieur de la salle CAO, sous la configuration lumineuse -4- I (gauche) et J (droite) (source : Auteur).*

#### **4.1.2 Tâches lumineuses demandées à l'utilisateur de la salle**

Dans le but de mesurer la qualité de l'environnement lumineux dans chacune des quatre configurations lumineuses citées précédemment, différentes tâches lumineuses "activités" ont été demandées aux usagers de la salle (CAO), ces activités simulent différentes activités qui sont exercées de manière quotidienne dans la salle, par la suite nous avons mesuré les grandeurs

photométriques lors de l'exercice de ces activités sous chacune des configurations, les activités demandées aux usagers sont les suivantes :

- 1- Une évaluation des impressions visuelles générales dans la salle (CAO) : il a été demandé aux usagers de la salle d'évaluer l'ambiance lumineuse globale de la salle pour chacune des quatre configurations lumineuses.
- 2- Lecture du texte sur la table : pour cette activité nous avons déposé sur chacune des tables de la salle un texte écrit avec un caractère de (12 pt) et un style "Times New Roman", puis il a été demandé aux usagers de le lire. Chaque changement de configuration lumineuse a été accompagné avec un changement de texte proposé à la lecture, mais en gardant le même caractère le même style du texte, afin que la tâche de la lecture ne devienne pas une tâche cognitive. (voir annexe III)
- 3- Lecture de dessin (schéma) sur la table, pour cette activité, sur chacune des tables nous avons déposé un schéma composé de formes géométriques, imprimé sur une feuille format A4, en noir et blanc, il a été demandé aux usagers d'évaluer le niveau de confort lors de la lecture de ce schéma. On a modifié le schéma proposé aux usagers dans chaque configuration, tout en faisant attention à garder les mêmes proportions globales du schéma "contraste et échelle", (voir annexe IV.) pour les mêmes raisons citées dans la partie lecture du texte sur la table.
- 4- Saisie du texte sur (PC), on a demandé aux usagers des postes informatiques de la salle de saisir les textes qui leur ont été administrés auparavant (voir la section 4.1.2. lecture du texte sur la table), en utilisant leurs claviers, souris et un logiciel informatique qu'ils maîtrisent (Word 2013).
- 5- Dessin assisté par ordinateur, pour cette activité aussi, il a été demandé aux usagers de redessiner les schémas qui leur ont été donnés (voir la section 4.1.2. lecture de dessin) en utilisant un outil informatique qu'ils maîtrisent (Archicad 16).
- 6- Vision des projections du data show, on a projeté sur un des murs de la salle, un ensemble de diapositives qui comprennent à la fois des images et des textes "PowerPoint" couramment utilisés pour un cours d'architecture, nous avons gardé les mêmes images et textes pour l'ensemble des quatre configurations lumineuses de la salle (Voir la figure 4.20).

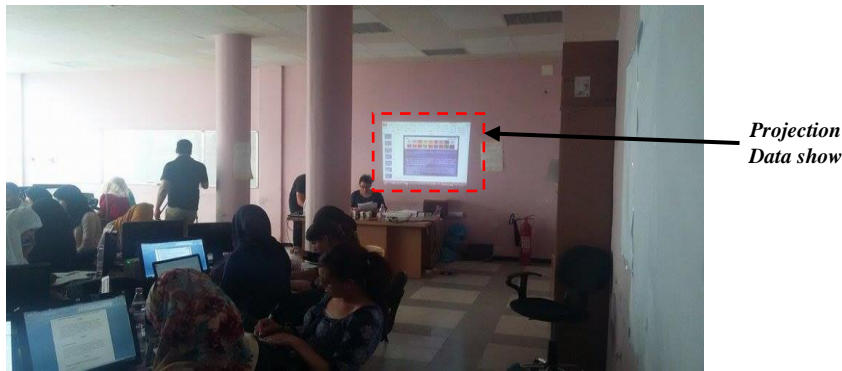


Figure 4.20 : Images qui représentent la projection avec data show (source : Auteur)

- 7- Vision du tableau blanc, pour cette dernière tâche visuelle nous avons écrit un texte de taille normale sur le tableau blanc de la salle, puis nous avons demandé aux usagers d'évaluer le degré de confort visuel lors de la vision de ce texte, nous avons gardé le même texte pour l'ensemble des configurations de la salle.

#### 4.1.3 Organisation des usagers

On tient à rappeler que la même procédure a été répétée pour chacune des quatre configurations lumineuses de la salle, on a aussi demandé aux usagers de garder le même poste de travail utilisé pour chaque configuration. Un temps de pose de 15 à 20 min a été exigé entre chaque expérience lumineuse, afin de effacer les effets émotionnels ressentis lors la première expérience lumineuse ( (Davis, 2006; Van Den Wymelenberg, 2012). Il a été demandé à l'utilisateur de remplir toutes les évaluations dans le questionnaire administré avant le début de chaque expérience. On tient aussi à rappeler que l'échantillonnage des sujets lors de l'enquête est composé de 30 étudiants, un échantillonnage par quotas. L'âge des personnes interrogées était situé entre 23 ans et 33 ans. La majorité des participants, qui représente 72%, avait 24 à 23 ans. L'échantillonnage était composé de 75,4% de femmes et 23,7% des hommes, pour plus d'informations sur l'échantillonnage (voir chapitre 7.2).

#### 4.5.3. Partie Mesures

##### 4.5.3. a. Mesures quantitatives

Afin de quantifier les mesures in situ de la qualité visuelle des ambiances lumineuses générée dans chacune des configurations testées, ainsi que les grandeurs photométriques perçues par les usagers sur leurs champs visuels ainsi que celles reçues sur leurs le plan de travail tout au long de l'exercice des différentes tâches visuelles demandées. Nous avons choisi de mesurer à l'aide des outils (voir la section 4.3. Outils et méthodes), selon l'outil d'acquisition des données, on peut diviser les grandeurs photométriques en deux parties complémentaires :



**A- Mesures des éclairagements :** Ces mesures ont été prises en utilisant des luxmètres ou à l'aide de luxmètres plus coiffe (voir la section 4.3.2. mesures de luminances) afin de mesurer l'éclairage (Voir la figure 4.21) :

- 1) Reçu sur clavier.
- 2) Reçu sur papier.
- 3) Reçu sur surface colorée.
- 4) Reçu verticalement sur écran.
- 5) Reçu verticalement au niveau des yeux des utilisateurs. "Eclairage total".
- 6) Reçu verticalement au niveau des yeux des utilisateurs. "Direct".

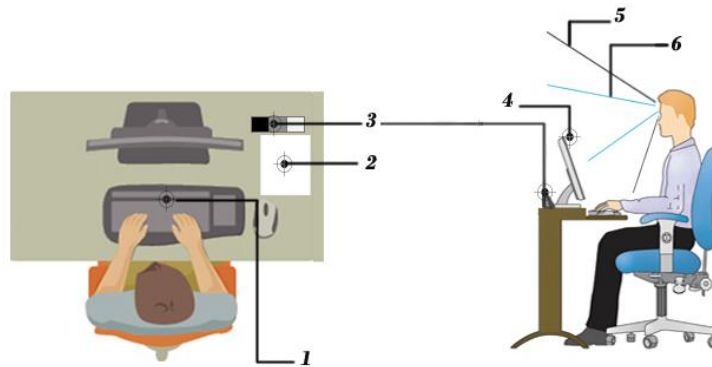


Figure 4.21 : Schéma qui représente les différents points de mesures d'éclairage (source : Auteur)

**B- Mesures des luminances et d'indices d'éblouissement :** Pour ces mesures nous avons eu recours au logiciel (Aftab Alpha 2.1.0). Ce logiciel est utilisé avec une licence gratuite de 45 jours. Ce dernier est écrit avec le Python avec des commandes (C++), il utilise aussi les modules radiance et Evalglare, le principe de fonctionnement se base sur :

- l'introduction de trois images prises avec un objectif fish-eye avec différentes expositions de l'image.
- Fusion des images en une seule image (HDR) par le logiciel dans le but de couvrir une grande gamme de luminance visible.
- Etalonnage des luminances sur le logiciel par rapport à une valeur de luminance réelle mesurée sur champ visuel réel.
- Développement de la carte de distribution de luminances sur les champs visuels en image fausses couleurs et calcul des valeurs de : luminances sur l'ergorama, luminances sur panorama luminances moyennes et maximales.
- Calcul des indices d'éblouissement : (CGI, UGR, le DGI\_P et DGI) à l'aide de son module interne Evalglare

- Le schéma ci-dessous représente graphiquement un résumé du protocole de traitement d'images afin de calculer les luminances

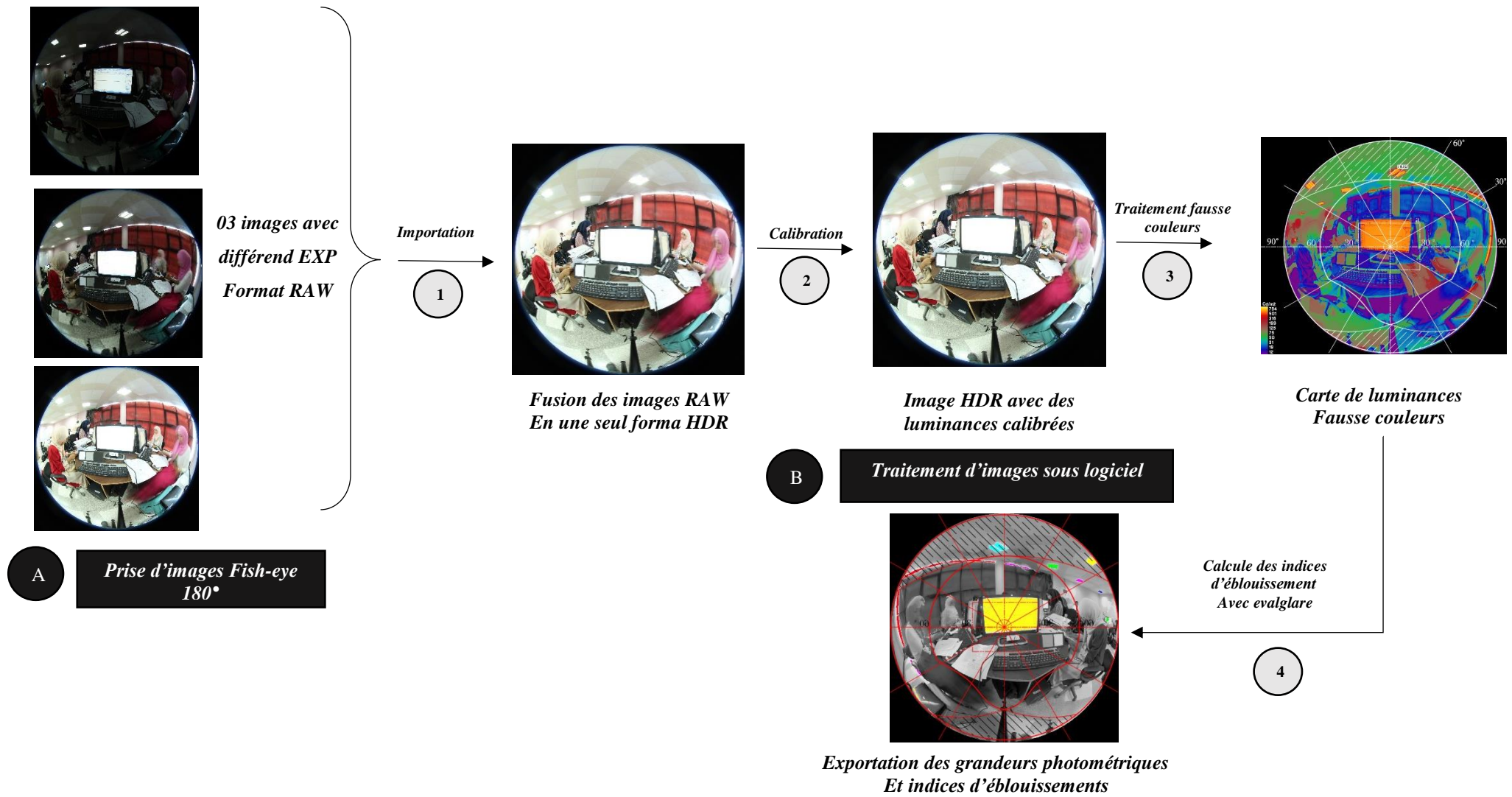


Figure 4.22 : Procédure d'acquisition et de traitement d'images (source : Auteur)



#### **4.5.3. b. Mesures qualitatives**

La performance visuelle a été définie par la commission internationale de l'éclairage (C.I.E) comme « le degré d'efficacité du système visuel, tel qu'il est mesuré par exemple par vitesse et la précision avec laquelle une tâche visuelle est accomplie » (CIE 2007). Dans cette partie nous allons exposer les différentes étapes proposées afin de mesurer qualitativement l'impact des variations de l'environnement lumineux dans les quatre configurations lumineuses de la salle CAO, sur les sensations des usagers lors de l'exercice de différentes tâches lumineuses qui leurs ont été demandées. Afin de mener à bien ces mesures qualitatives de la lumière, nous avons eu recours à un questionnaire (voir annexe II questionnaire.). Ce dernier a été développé d'après une profonde revue de littérature et des recherches antécédentes, dans le domaine de l'évaluation subjective de l'environnement lumineux intérieur. (Voir chapitre modèle conceptuel). L'objectif de cet outil est d'une part, d'évaluer l'aspect qualitatif et d'autre part, de mettre en lumière les interactions qui existent entre l'utilisateur /environnement lumineux de la salle. Le questionnaire proposé est composé d'une vingtaine de questions, qui visent à évaluer 65 indicateurs d'éclairage afin d'évaluer la satisfaction des usagers. On peut subdiviser le questionnaire en quatre parties :

- a) - Informations sur l'utilisateur
- b) - Evaluation de l'environnement lumineux global de la salle par l'utilisateur
- c) - Evaluation l'environnement lumineux du poste de travail par l'utilisateur
- d) - Evaluation l'environnement lumineux lors de l'exercice des différentes tâches

Le questionnaire a été administré à chacun des trente usagers, de la salle au début des expérimentations. Il a été demandé de le remplir de manière manuelle et individuelle (un questionnaire par poste), il a été ramassé à la fin de chaque séance et un autre nouveau questionnaire a été remis aux usagers afin d'évaluer la configuration suivante. Cette opération a été répétée pour les quatre configurations proposées, avec un temps de pose imposé aux usagers entre chaque séance.

#### **4.5.4. Corrélations des mesures**

Afin de relier les mesures quantitatives recueillies lors de la campagne de mesures in situ, sous les différentes configurations lumineuses de la salle avec les évaluations subjectives des usagers recueillies grâce aux questionnaires. Nous avons eu recours à une analyse statistique à l'aide du logiciel spécialisé (SPSS 24.0), plusieurs analyses statistiques ont été menées par ce dernier dont : Une analyse de fiabilité des questions posées, ainsi que l'échelle utilisée, etc. La procédure détaillée a été expliquée dans le chapitre 8 (voir chapitre 8.4. Procédure de l'analyse des données).

## **Conclusion**

Comme nous l'avons évoqué précédemment dans ce chapitre, afin de mesurer la qualité visuelle d'une ambiance lumineuse donnée, qu'il est impératif dans un premier temps de quantifier les grandeurs lumineuses physiques de l'environnement visuel présent sur le champ visuel, avant d'étudier l'influence physiologique et psychologique sur les usagers de l'espace architectural et d'une manière plus spécifique dans la salle de dessin assisté par ordinateur, car elle est caractérisée par l'exercice de plusieurs tâches lumineuses à l'intérieur. Dans la majorité de ces activités sont conditionnées par des écrans numériques auto-enlumines. Dans ce chapitre nous avons exposé la méthodologie adoptée à notre travail de recherche étape par étape, qui commencent par la campagne de mesure in situ, jusqu'aux corrélations des variables quantitatives avec celle qualitatives.

En montrant d'une part les enjeux de l'éclairage à l'intérieur des espaces et d'autre part le rôle que peut jouer la méthodologie dans l'évaluation qualitative de la lumière à l'intérieur de l'espace architectural, nous avons répondu à la problématique qui se pose au début : Sur quelle méthodologie adaptée à notre travail de recherche afin de mesurer les interactions entre l'homme, 'usagers de l'espace' et l'environnement lumineux physique qui l'entoure ?. Une fois que nous avons choisi quelle méthodologie adopter, nous allons répondre à la seconde question qui est liée aux critères, quelles sont les critères objectifs mesurables ? Là aussi comme on la mentionnée plus haut dans ce chapitre, il n'existe pas de méthode commune ou de critères, qui sont largement acceptés et adoptés par les chercheurs dans le domaine d'éclairage des espaces architecturaux. Il nous appartiendra donc de faire une analyse critique des critères mesurables de l'ambiance lumineuse et des critères subjectifs 'émotions des usagers', afin de sélectionner ceux dont la mesure nous semble pertinente. Et que l'analyse statistique proposé dans la dernière partie de la méthodologie de notre travail va infirmer ou confirmer. Une fois les critères pertinents sélectionnés, on fait appel une second fois à l'outil statistique afin de corréler les deux critères ensemble, c'est à dire corréler des grandeurs photométriques avec les évaluations qualitatives et donner à chaque émotion qualitative une échelle numérique correspondante. Si toutefois il existe une corrélation significative entre les deux critères et à la fin nous procéderont à la représentation des émotions avec une échelle numérique correspondante sur un schéma synthétique qui représente le champ visuel humain, ce dernier représentera une synthèse globale de notre travail de recherche sous forme de modèle, qui représente à la fois le type de l'ambiance lumineuse, avec des échelles des grandeurs photométriques qui caractérisent cette ambiance lumineuse.

## **Références**

- (CIE), I. C. (1995). Discomfort glare in interior lighting. *CIE Publication 117*.
- A.F.E. (1993). *Recommandations relatives a l'eclairage intérieur des lieux de travail*. Paris: Soc.éd.
- Berrutto, V. (1996). *Méetrologie de la qualité visuelle des ambiances lumineuses- Application al'eclairage des bureaux*.
- Daich, s. (2011). *Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra*. Biskra: Université Mohamed Khider Biskra.
- Davis, R. G. (2006). *Cognitive and perceptual factors in lighted architectural environments*. Colorado: University of Colorado at Boulder.
- Pélegrin-Genel, E. (1994). *L'Angoisse de la plante verte sur le coin du bureau*. ESF éd.
- Van Den Wymelenberg, K. (2012). Patterns of occupant interaction with window blinds: A literature review. *Energy and Buildings*, 165-176.
- Yin, H. (2011). *Glare studies: Comparison of three glare indices, HDR imaging and measured values*. California: University of Southern California.
- IBM Corp. Released 2016. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 24.0. Armonk, NY: IBM Corp.

# Chapitre 05

## **Introduction**

Les occupants des salles de classes des établissements universitaires contemporains, salles informatiques, salle de dessin assisté par ordinateur, passent beaucoup de temps à travailler sur des tâches verticales (moniteurs d'ordinateur - vision de data show) plutôt que sur des tâches horizontales sur papier (salles de classes classiques). Par conséquent, il est beaucoup plus raisonnable et plus intéressant, d'orienter les investigations vers les différents paramètres lumineux présents sur le champ visuel vertical qu'horizontal de l'utilisateur de la salle de classe, il est aussi important, de penser que les préférences des occupants sont mieux prédites par les schémas de luminance dans le champ visuel vertical que par l'illumination horizontale. Par conséquent, des mesures précises d'éclairage et de restitutions lumineuses, sur les deux champs visuels (vertical et horizontal), on mettra l'accent sur le champ vertical, (comme on l'a expliqué plus haut), couplé en même temps avec des mesures de la répartition de l'éclairage dans l'ensemble de la salle. Pouvons-nous fournir des informations très intéressantes et très précises sur la répartition des paramètres physiques lumineux, dans la salle, ces dernières vont être exploitées plus tard (chapitre 07) pour être conjugués à la sensation de l'utilisateur dans l'espace, dans les différentes positions (postes), cette conjugaison des deux facteurs, nous aidera à mieux comprendre la relation qui existe et l'interaction entre l'utilisateur de la salle de classe et son environnement lumineux. Et à partir de cela, on peut améliorer la satisfaction des utilisateurs. L'objectif de ce chapitre est dans un premier temps, de faire ressortir les normes recommandées par les différents organismes d'éclairage, standards internationaux, ou aussi des recherches précédentes menées sur l'éclairage des postes informatiques et les tâches visuelles sur écran. Ensuite nous allons mesurer les paramètres physiques ressortis dans le travail (Enrech Xena, 1999) Méthodologie des ambiances lumineuses, qui sont : 1) Le niveau d'éclairage : sur papier, sur clavier et l'éclairage mesuré au niveau des yeux des usagers. 2) Le contraste et le rapport de luminance entre : l'écran, papier et le tableau, contraste entre les deux champs visuels (Ergorama / Panorama). Ces paramètres ont été mesurés sur les 30 postes de travail, pour les quatre configurations ; la configuration 01, c'est la configuration avec rideaux, la configuration 02, c'est la configuration avec film protecteur, la configuration 03, c'est la configuration sans aucune protection, la configuration 04, c'est celle sans aucune protection et sans éclairage artificiel. On tient à rappeler que dans les trois configurations précédentes, c'est des configurations avec éclairage artificiel (ON). Ce qui nous donne un total de 120 positions sous différentes conditions d'éclairage, la simulation s'est déroulée sous les conditions de ciel spécifique de Biskra (DAICH, 2011), pour plus d'informations (voir chapitre 03).

### **5.1. Présentations des résultats**

Notre travail pratique sur l'étude des paramètres physiques de la lumière naturelle sous les conditions d'un ciel spécifique (DAICH, 2011), de la ville de Biskra, est divisé en deux grandes parties, dans ce chapitre, nous allons exposer et discuter les résultats obtenus dans la première partie, cette dernière est divisée en deux parties aussi, dans un premier lieu nous allons nous intéresser aux expérimentations menées dans la salle, nous avons respecté le protocole expérimental décrit dans le chapitre précédent, pour chacune des configurations, la configuration 1, c'est la configuration avec rideaux, la configuration 2, c'est la configuration avec film protecteur, la configuration 3, c'est la configuration sans aucune protection, la configuration 4, c'est celle sans aucune protection et sans éclairage artificiel, on tient à rappeler que dans les trois configurations précédentes c'est des configurations avec éclairage artificiel (ON). Dans chacune des configurations il y avait entre 27 à 30 sujets (étudiants) qui sont assis à différentes tables dans la salle et qui sont à différentes positions par rapport à la fenêtre (voir chapitre 03).

Un des objectifs de notre travail est de mesurer les paramètres physiques lumineux à l'intérieur de la salle sous les conditions de ciel de la ville de Biskra, avec ces différentes configurations avec et sans éclairage artificiel, sans et avec protection, pour comprendre l'impact lumineux de chaque variable manipulée sur la distribution des éclairagements et luminances à l'intérieur de la salle d'une manière générale et pour cela nous avons mesuré pour chacune des configurations : l'éclairage de différentes hauteurs de fenêtre, éclairage sur tableaux blancs, éclairage sur data show, éclairage à différentes profondeurs de la salle, éclairage horizontal au niveau des yeux des usagers et les luminances max, moy, et la luminance du fond, ...). Le principe de calcul des paramètres a été détaillé (voir chapitre 03 : Modèles conceptuels). Dans un second lieu nous avons mesuré les valeurs de quatre indicateurs du confort visuel, destinées à évaluer l'éblouissement d'inconfort : le CGI, l'UGR, le DGI\_P et DGI-I, et cela grâce aux images prises dans chaque poste de travail et dans chacune des configurations décrites précédemment (voir chapitre 03). Le but de ces mesures est de déterminer quels sont les indicateurs qui sont les plus pertinents et qui sont les plus représentatifs de l'évaluation d'inconfort lumineux, dans le climat lumineux de la ville de Biskra, et quelles sont les valeurs d'éclairage et de luminance dans le poste qui correspond à ces paramètres, on a commencé par une étude dans la salle puis par poste dans chacune des configurations, les résultats sont représentés ci-dessous.

## **5.2. Les paramètres physiques et configuration de l'espace**

Lors de la recherche bibliographique dans les travaux précédents sur la détermination des facteurs objectifs, mesurables des ambiances lumineuses, le travail de (Berrutto, 1996) Méthodologie des ambiances lumineuses, et de (Enrech Xena, 1999) et celui de (Van Den Wymelenberg, 2014) nous ont permis de dégager 08 critères communs entre les travaux permettant d'évaluer objectivement le confort visuel à l'intérieur d'un espace ; il s'agit du niveau d'éclairage, de l'uniformité des éclairages du rendu de couleurs, contrastes des indices d'éblouissement (confort visuel) , rapports de luminances et les indices de sources artificielles dans les champs visuels de l'utilisateur, éclairages reçus au niveau des yeux. Dans notre première étude nous allons nous focaliser sur l'étude des éclairages (sur papier, écrans avec éclairage horizontal reçu au niveau des yeux)

### **5.2.1 Niveaux d'éclairage**

Le tableau ci-dessous résume les normes et recommandations des travaux ultérieurs (voir chapitre 4) dans l'espace bureaux avec poste informatique et qui vont servir de support pour notre étude qualitative de l'espace salle informatique.

**Tableaux 5.1 : Résumé des valeurs d'éclairage recommandées pour l'action de bureaux avec poste informatique (Source : Auteur)**

Surfaces	Eclairage recommandé	Source
Papier	500 lux	(A.F.E, 2003, 2009)
	De 1000 à 2000 lux	(Floru, 1991)
	De 300 lux à 500 lux	(Neufert, 2012)
	550 lux	(Aries, 2010)
	500 lux	(Newsham, 2008)
Clavier	200 lux minimaux	(Floru, 1991)
	De 200 lux a 300 lux	(Veitch, 2007)
	De 100 lux a 300 lux	(Escuyer, 2001)
Eclairage au niveau des yeux	Minimum de 10 foot-candle (108 lux) and maximum de 250 foot-candles (2700 lux)	(USGBC, 2009) Leadership in Energy and Environmental Design(2014) (Hua, 2011))



Pour notre étude et interprétation des résultats, et après une comparaison entre les différentes valeurs d'éclairages, de travaux ultérieurs nous avons retenu les valeurs suivantes : pour l'éclairage papier une valeur de référence comprise entre 300 lux à 500 lux, l'éclairage référence pour le clavier est de 200 à 300 lux, et pour la valeur d'éclairage horizontal au niveau des yeux de l'utilisateur une valeur maximale de 2700 lux.

**5.2.2. Contraste et valeurs de luminances**

Dans le tableau ci-dessous, on a résumé quelques travaux antérieurs qui ont traité de ratio de luminance, ces derniers ont été exposés et discutés dans le chapitre 4.

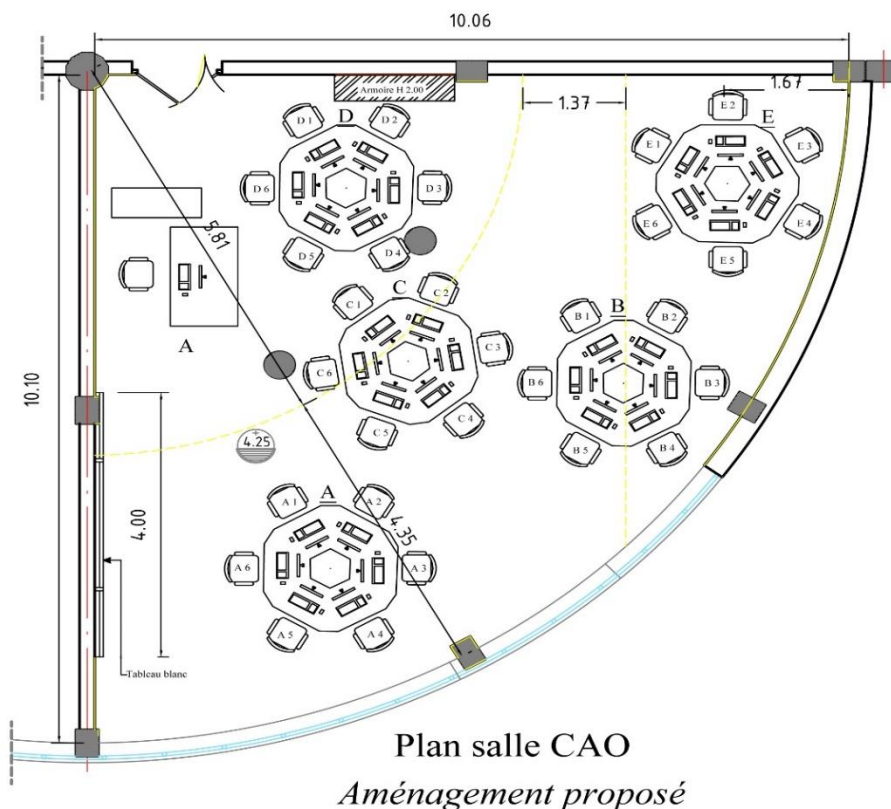
**Tableaux 5.2 : Résumé des rapports de luminances (contraste) recommandés pour un poste informatique (Source : Auteur)**

Valeur recommandée (effets)	Source
Des rapports de luminosité inférieurs à <b>1/5</b> sont souhaitables. Les rapports de luminosité supérieurs à <b>1/10</b> doivent être évités si cela est raisonnablement possible. Les rapports de luminosité supérieurs à <b>1/100</b> ne doivent pas être tolérés. "	(Luckiesh, 1944)
<b>2/1</b> : Différence de luminosité perceptible pour la vision <b>3/1</b> : Entre la tâche et les environs plus sombres adjacents. <b>10/1</b> : Entre la tâche et les surfaces plus foncées; Netteté nettement perceptible ou transition entre les espaces contigus <b>20/1</b> : Entre les systèmes d'éclairage (ou les fenêtres) et les surfaces adjacentes. <b>40/1</b> : Ne devrait pas être dépassé n'importe où dans le champ visuel humain (les exceptions Comprennent des lustres en cristal). <b>50/1</b> : Mettra en évidence les objets à l'exclusion de tout le reste dans le champ visuel humain.	(Osterhaus, 1992)  Handbook (Rea, 2000)  (DiLaura, 2011)
<b>1/3</b> : Entre la tâche et la lumière adjacente entoure <b>3/1</b> : Entre tâche et entourage sombre adjacent <b>1/10</b> : Entre la tâche et les surfaces lumineuses éloignées <b>10/ 1</b> : Entre tâches et surfaces sombres distantes <b>20/1</b> : Entre la lumière du jour et la lumière du jour, les surfaces adjacentes aux médias.	(Rea, 2000)   (DiLaura, 2011)
Des rapports de luminance de <b>1: 6: 20</b> (tâche: adjacente à distance)	(Sutter, 2006)
Des rapports de luminance de <b>1: 3: 10</b> , (tâche: adjacente à distance) cas de l'éclairage naturel.	(Lighting handbook: reference, 2000)

Pour l'évaluation quantitative, et l'interprétation des résultats obtenus lors de l'expérimentation dans la salle informatique nous avons retenu les valeurs suivantes :

- Un contraste de **3/1** : est souhaitable, entre la tâche (écrans, papiers, tableaux) et les environs plus sombres adjacents. (Contraste souhaitable Ergorama)
- Un contraste de **10/1** : La limite pour un bon contraste, entre la tâche et les surfaces plus foncées, du champ visuel. (Contraste maximum Ergorama ou Panorama)
- Un contraste de **20/1** : entre la lumière du jour et une source lumineuse artificielle et les surfaces adjacentes. (Contraste souhaitable Panorama ou Panorama)
- Un contraste de **40/1** : comme une limite maximale tolérée pour un contraste gênant dans le champ visuel au-dessus de laquelle il y a un très grand inconfort visuel. (Contraste maximum Panorama ou Panorama)

### 5.2.3. Configuration de l'espace et affectation des postes



*Figure 5.1 : Plan de la salle informatique avec l'affectation des différents postes (Source : Auteur)*

La figure 01 représente le plan de la salle informatique, aménagée avec les 05 tables, et la désignation des différents postes de 01 à 06. On a gardé la même disposition pour toutes les configurations testées

5.3. Présentation des résultats de la configuration 01

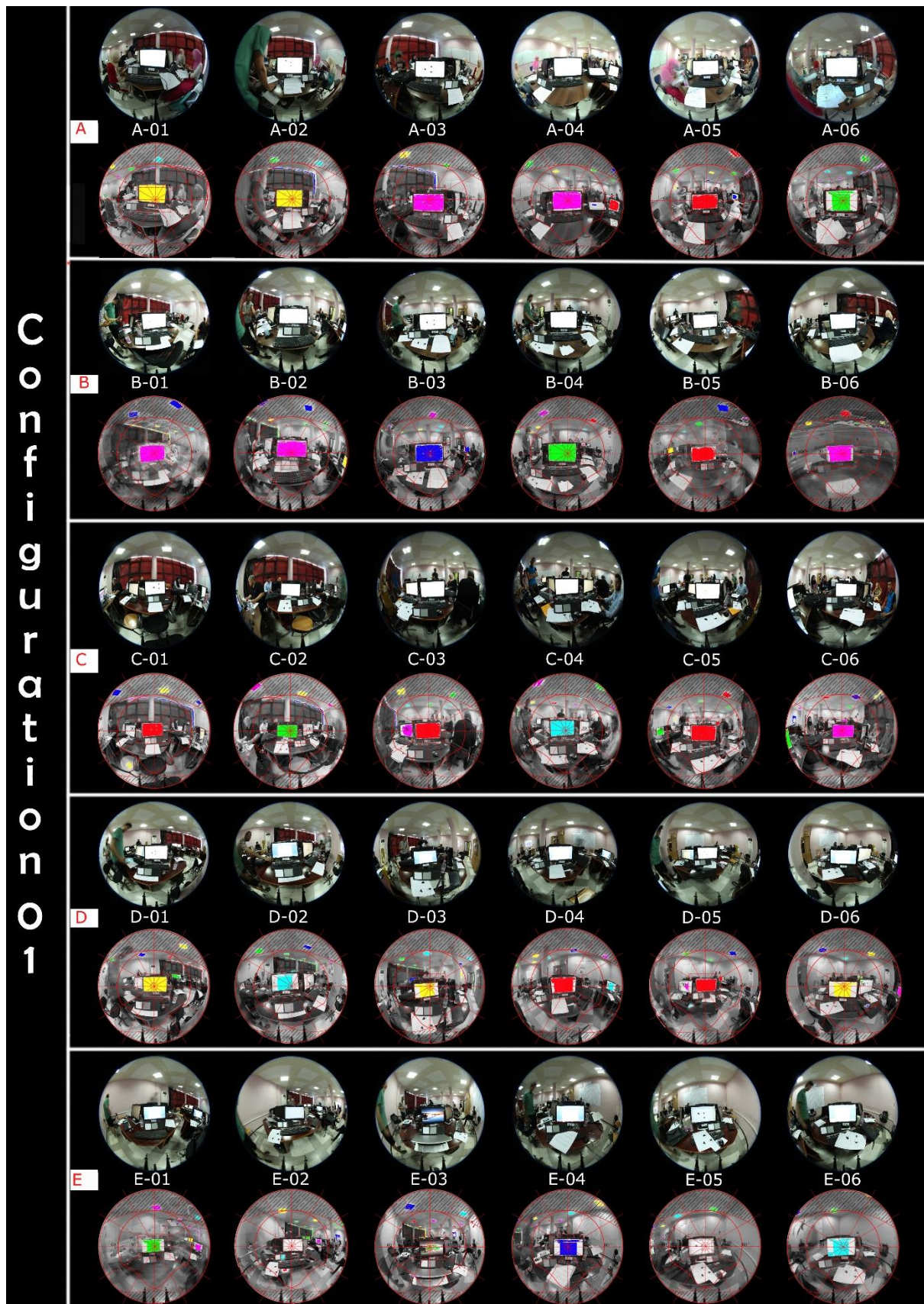


Figure 02 : Image Fisheye des 30 postes, de la configuration 01, avec une superposition des champs visuels de l'utilisateur et Glare Analysis (EvalGlare-Radiance) (Source : Auteur)



## Chapitre 5 : Paramètres physiques et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

La figure 01 présentent dans la première colonne les résultats des images Fisheye 180 °, obtenus dans les 30 postes de travail de la figuration 1, la deuxième colonne représente les images Fisheye avec la superposition du champ visuel humain (Kim, 2009) et l'application du Evalglare - Radiance ) sur le champ visuel afin de déterminer la source et la taille de l'éblouissement. Le tableau ci-dessous représente les valeurs des paramètres physiques lumineux et les différents postes de la configuration 01.

	CONF-1-A01	CONF-1-A02	CONF-1-A03	CONF-1-A04	CONF-1-A05	CONF-1-A06
Illum_HOZ_CLAVIER	40	138	153	145	35	27
Illum_HOZ_PAPIER	40	140	142	172	36,5	30
Illum_VER_ECRAN	39	80	133	170	60	60
Vert_Eey_Illum	333,50	155,20	126,05	140,13	112,49	123,32
AVR_Lum_PANORAMA	120	30	40	85	80	70
AVR_Lum_ERGORAMA	680	400	350	350	360	350
Background_Lum	42,85	10,28	9,91	15,17	14,70	14,64
AVR_Lum	85,33	31,97	28,160	32,710	27,460	26,390
Lum_MAX	720	600	420	450	390	720
	CONF-1-B01	CONF-1-B02	CONF-1-B03	CONF-1-B04	CONF-1-B05	CONF-1-B06
Illum_HOZ_CLAVIER	120	100	147	193,5	136,5	180,5
Illum_HOZ_PAPIER	133	105	95,3	177,5	141,2	190
Illum_VER_ECRAN	120	173	147,4	302,5	420,3	105
Vert_Eey_Illum	134,23	135,19	144,42	133,22	132,59	126,35
AVR_Lum_PANORAMA	50	40	75	40	60	45
AVR_Lum_ERGORAMA	316	300	320	300	350	400
Background_Lum	15,91	14,68	16,73	13,74	20,70	17,63
AVR_Lum	32,54	31,57	31,32	30,06	34,16	30,74
Lum_MAX	400	780	400	350	720	420
	CONF-1-C01	CONF-1-C02	CONF-1-C03	CONF-1-C04	CONF-1-C05	CONF-1-C06
Illum_HOZ_CLAVIER	86	78,5	142,3	131,5	240	200
Illum_HOZ_PAPIER	90	102	105	155,3	205,6	205
Illum_VER_ECRAN	115,5	172,3	240,5	500	480	410
Vert_Eey_Illum	84,66	93,32	140,95	137,99	133,83	111,64
AVR_Lum_PANORAMA	50	50	60	50	56	60
AVR_Lum_ERGORAMA	250	300	300	300	320	350
Background_Lum	11,22	10,94	12,85	16,59	15,54	15,25
AVR_Lum	23,49	23,49	31,08	31,57	28,95	27,08
Lum_MAX	400	650	620	360	420	700
	CONF-1-D01	CONF-1-D02	CONF-1-D03	CONF-1-D04	CONF-1-D05	CONF-1-D06
Illum_HOZ_CLAVIER	40	114	65	50	95	90
Illum_HOZ_PAPIER	35	45	75	53	97	95
Illum_VER_ECRAN	95	185	175	163	336	170
Vert_Eey_Illum	139,86	116,87	105,19	126,71	117,28	111,15
AVR_Lum_PANORAMA	65	80	75	75	85	80
AVR_Lum_ERGORAMA	300	420	320	340	410	450
Background_Lum	13,62	19,24	18,66	18,21	20,08	21,34
AVR_Lum	31,87	29,93	27,68	31,07	28,59	17,30
Lum_MAX	650	450	650	620	710	750
	CONF-1-E01	CONF-1-E02	CONF-1-E03	CONF-1-E04	CONF-1-E05	CONF-1-E06
Illum_HOZ_CLAVIER	65	95	85	87	166	105
Illum_HOZ_PAPIER	55	110	107	85	170	100
Illum_VER_ECRAN	95,5	125	85	77,5	90	195,2
Vert_Eey_Illum	116,21	91,72	86,86	123,46	119,80	133,79
AVR_Lum_PANORAMA	125	150	130	75	45	85
AVR_Lum_ERGORAMA	320	160	150	280	260	300
Background_Lum	22,86	24,19	21,40	20,63	36,30	22,67
AVR_Lum	30,82	27,08	28,47	29,41	32,56	31,70
Lum_MAX	420	650	300	620	620	650

Tableaux 5.3 : les valeurs des paramètres physiques lumineux et les indices indicateurs du confort visuel, dans les 30 postes de la configuration 01 (Source : Auteur)

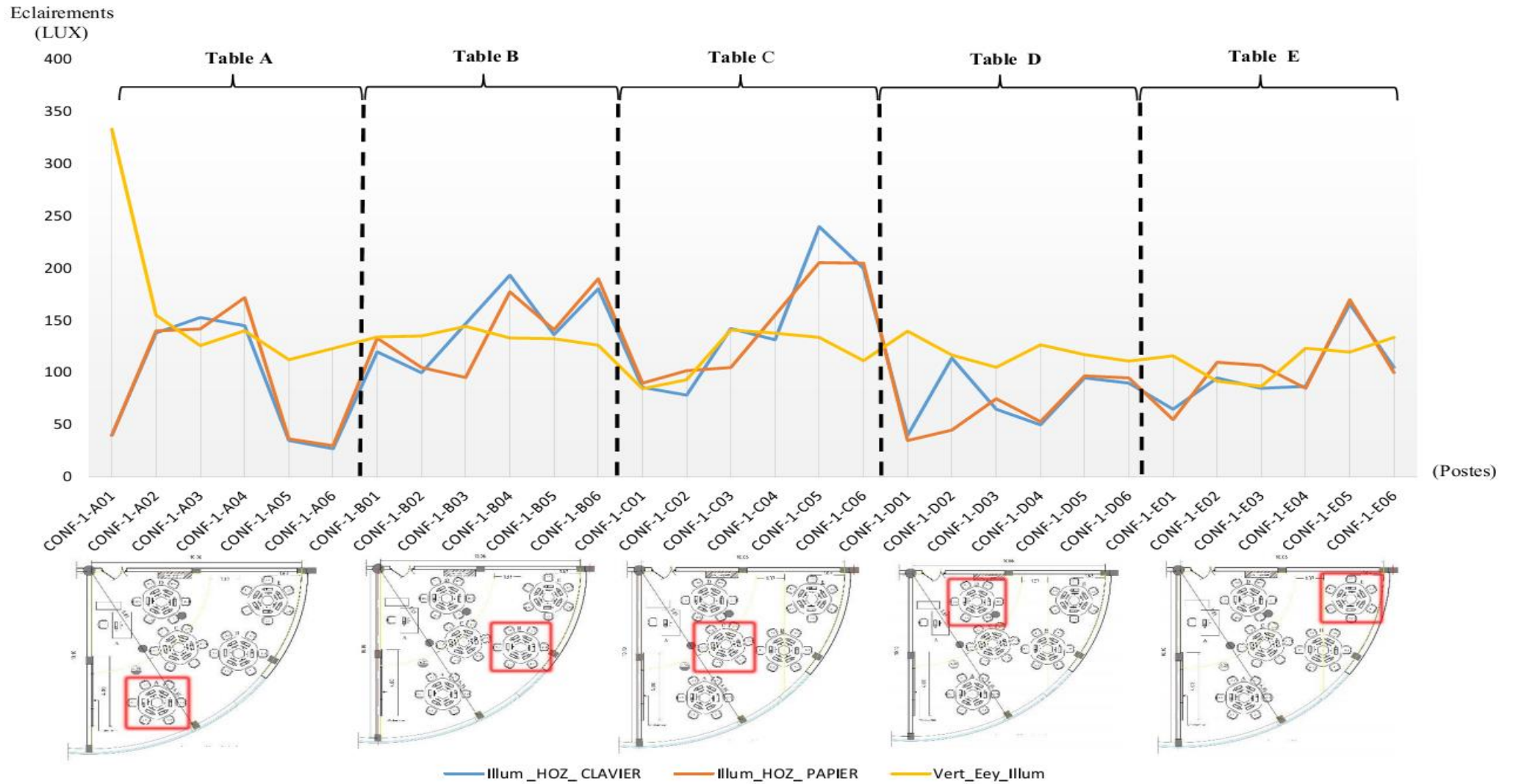


Figure 5.3 : Représentation des résultats obtenus d'éclairagements claviers, éclairagements papiers et éclairagements écrans, et éclairagement au niveau des yeux dans les 30 poste de configuration 01 (Source : Auteur)

### **5.3.1. Analyse des résultats d'éclairage de la configuration 01**

#### **5.3.1.1. Eclairage reçu sur papier : activité lecture texte ou schéma**

On remarque que la totalité des postes de la configuration 1, sont en dessous des valeurs recommandées de 300 à 500 Lux, les valeurs maximales d'éclairage de la configuration ont été enregistrés au niveau de la table B poste B06, et la table C poste 1-C05 et 1-C06, avec des valeurs moyennes qui sont comprises entre 150 à 200 lux, un niveau 50% moins que les recommandations. Pour les table A, table D et E, le niveau d'éclairage maximal dans ces dernières est de 150 lux, dans la majorité des postes il est au-dessous des 80 lux, c'est à dire 6 fois moins que la recommandation, l'éclairage minimal enregistré dans la configuration est de 50 lux et cela dans les postes 1-A01, 1-A05, 1-A06, 1-D01 et 1-E01. D'après les résultats obtenus on peut dire que l'éclairage artificiel seul dans la salle n'est pas suffisant, pour la tâche lecture des documents papier ou des schémas, les tables B et la table C, sont les plus couvertes, plus éclairées que le reste des tables par l'éclairage artificiel.

#### **5.3.1.2. Eclairages reçus sur le clavier : activité saisie texte**

D'une manière générale dans la configuration 1 l'éclairage est compris entre 80 à 210 lux, là aussi l'éclairage est largement au-dessous des normes recommandées pour éclairer le clavier, dans la majorité des postes de travail. On remarque que les tables A, B et C, sont les plus éclairées avec des valeurs comprises entre 100 et 210 Lux, et les valeurs maximales ont été enregistrées dans le poste 1-C05 et 1-C06. Une valeur de 210 lux, qui est juste acceptable vu la recommandation. Vu les résultats de l'éclairage reçu sur les claviers des différents postes de travail de la configuration 1, on peut dire que l'éclairage artificiel seul dans cette configuration n'est pas suffisant pour éclairer les claviers, et qu'il est juste acceptable pour deux postes qui sont les postes 1-C05 et 1-C06.

#### **5.3.2.3. Eclairages verticaux reçus au niveau des yeux des utilisateurs**

Les valeurs d'éclairages verticaux, à la hauteur des yeux des utilisateurs sont comprises entre 150 et 340 lux, dans tous les postes de la configuration 1, avec un éclairage maximal enregistré dans le poste 1-A01, avec une valeur de 340 lux. Ce qui reste dans la norme recommandée. Les résultats obtenus de l'éclairage au niveau des yeux dans la configuration 1, sont dans la norme d'éclairage recommandé par le (LEED), donc l'éclairage artificiel seul ne peut pas être la cause d'un éblouissement dans la salle (théoriquement), et la valeur maximale obtenue est de 340 lux très loin des 2700 lux, qui risque de provoquer un éblouissement chez l'utilisateur.

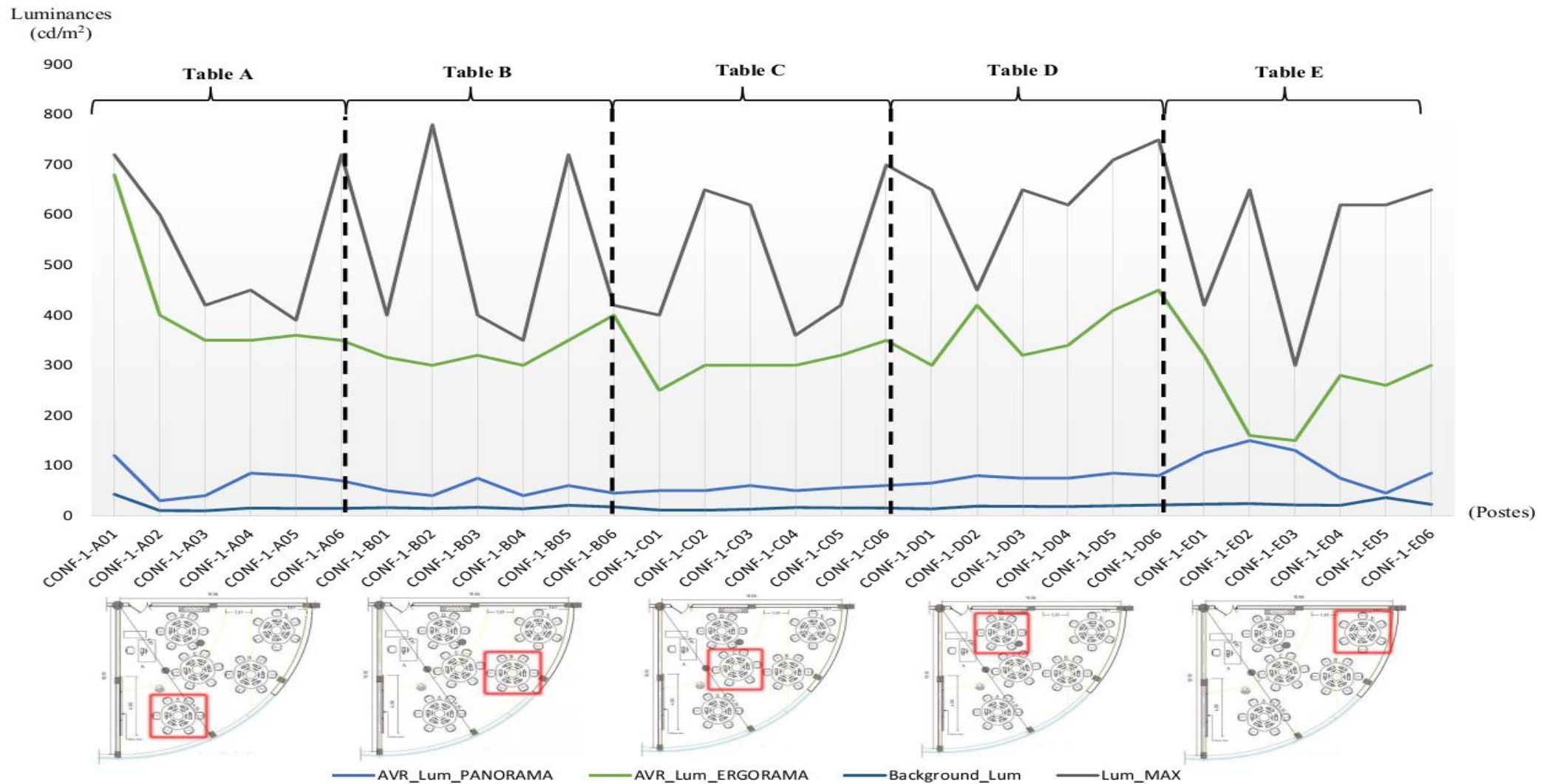


Figure 5.4 : Représentation des résultats obtenus des luminances dans le champ visuel (panorama, ergorama, background) luminance moyenne et luminance maximum dans les 30 postes de configuration 01 (Source : Auteur)



## **5.4. Analyse des résultats des luminances et du contraste de la configuration 01**

### **5.4.1. La luminance maximale sur le champ visuel**

Dans la configuration 1, les luminances maximales sont comprises entre 300 à 750 cd/m<sup>2</sup>, les tables B, C, dont les plus grandes valeurs de luminances sont entre 450 à 750 cd/m<sup>2</sup>, les tables A, et E ont les plus faibles valeurs de luminances, avec une valeur minimale de 300 cd/m<sup>2</sup>. Les oscillations dans le dessin du graphique, montrent que le changement de positions du champ visuel du point de vue de l'utilisateur, a un très grand impact sur la valeur reçue de la luminance qui peut varier du simple au double, selon la place qu'occupe l'utilisateur dans l'espace, par rapport au luminaire installé dans la salle.

### **5.4.2. La luminance moyenne ergorama et panorama**

On remarque que la luminance moyenne sur l'ergorama est toujours plus grande que la luminance moyenne dans panorama dans le même poste, et cela dans tous les postes de la configuration 1, on remarque aussi que dans la table E, il y a une certaine convergence des luminances moyennes de ergorama et panorama, cela est très net dans le poste 1-E02 et 1-E03, avec des valeurs très proches l'une de l'autre de 150 à 160 cd/m<sup>2</sup>. La luminance d'ergorama est toujours supérieure à celle du panorama cela est dû au fait que la salle est plus au moins sombre car elle est éclairée uniquement par l'éclairage artificiel, donc le panorama a de faibles luminances et que par contre dans l'ergorama les valeurs de luminances sont plus imposantes, cela est dû à la luminosité écran qui occupe la grande partie du champ visuel (ergorama) qui est la cause de la hausse des valeurs de la luminance dans cette partie du champ visuel des utilisateurs.

### **5.4.3. La luminance moyenne du fond**

La luminance du fond de la salle sur la totalité des postes de la configuration 1, est très faible car dans tous les postes elle ne dépasse pas les 50 cd/m<sup>2</sup>, et elle se situe dans une fourchette de 20 à 35 cd/m<sup>2</sup>, ce qui est relativement faible. On peut constater que la luminance du fond ne change pas par rapport à la position de l'utilisateur de l'espace, dans cette configuration et cela est dû au fait, que l'éclairage artificiel seul offre une certaine uniformité dans la salle, il n'y a pas d'éclairage naturel donc pas de tache lumineuse dans la salle et sur le champ visuel de l'utilisateur.

### **5.4.4. Les niveaux de contraste**

Par rapport au contraste dans cette configuration, on a remarqué que les valeurs de contraste sont moyennement faibles, par rapport à la recommandation sur le panorama car les valeurs obtenues sur ce dernier sont comprises entre 1/2 à 1/3. Par contre les valeurs de contraste sur

## ***Chapitre 5 : Paramètres physiques et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle***

l'ergorama sont plus importantes avec des valeurs comprises entre  $1/3$  à  $1/8$ , et dans la majorité des postes, les valeurs de contraste sont proches des  $1/8$ , quoiqu'avec ces valeurs le contraste est toujours dans la norme recommandée, il reste un peu fort pour une tâche qui demande de la concentration, et l'utilisateur doit faire un effort supplémentaire pour l'adaptation. Comme dans cette configuration, il n'y a que l'éclairage artificiel, les contrastes sont assez faibles, sur le panorama, par contre sur l'ergorama, vu que la luminosité des écrans est importante et le fond est sombre les valeurs de contraste sont assez relevées (dans la limite des recommandations).

5.5. Présentation des résultats de la configuration 02

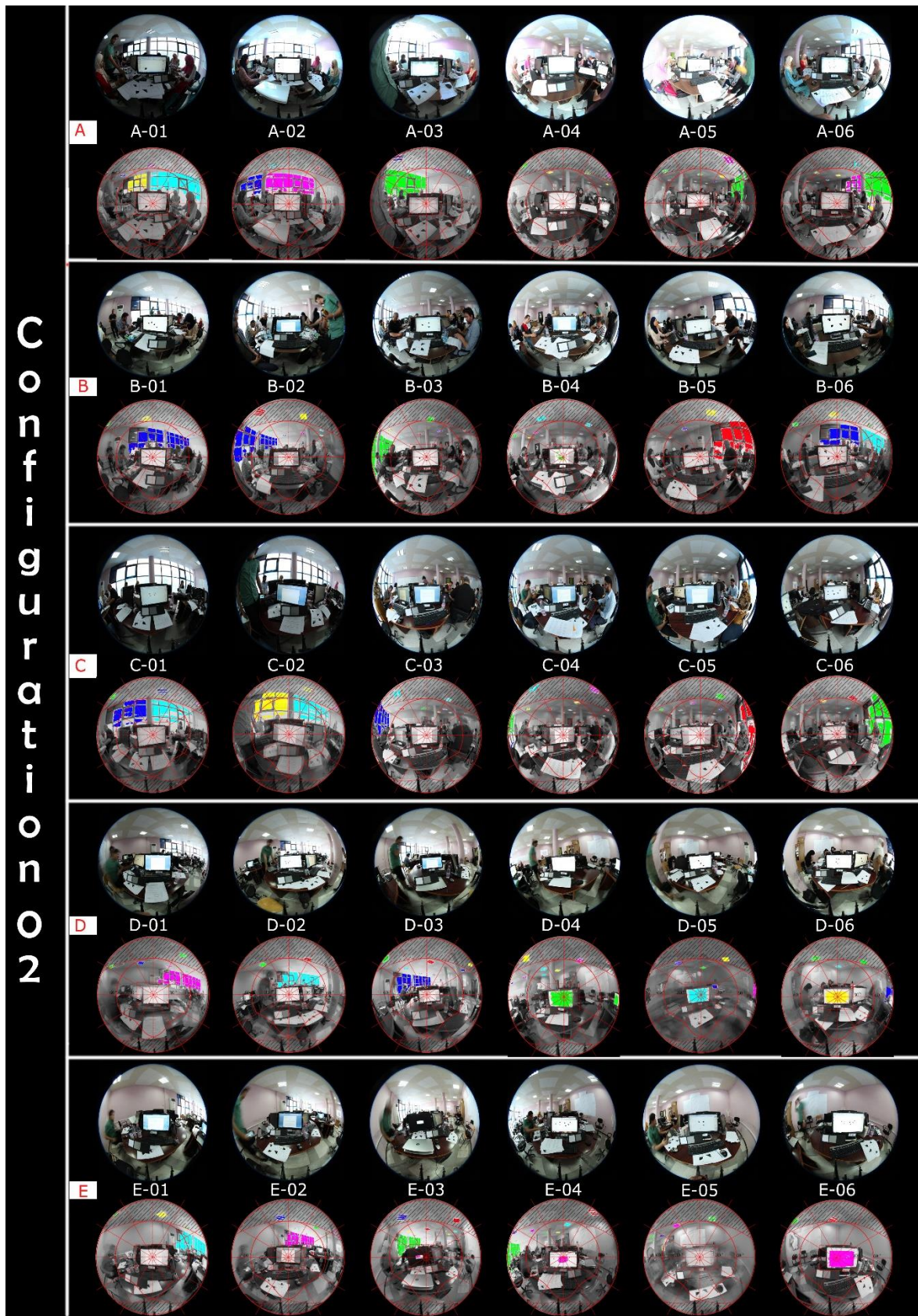


Figure 5.5 : Image Fisheye des 30 postes, de la configuration 02, avec une superposition des champs visuels de l'utilisateur et Glare Analysis (EvalGlare-Radiance (Source : Auteur)



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

La figure 02 résume les résultats obtenus de la configuration 2, la configuration avec films semi transparents, elle présente dans la première colonne les résultats des images Fisheye 180°, obtenus dans les 30 postes de travail de la configuration 2, la deuxième colonne représente les images Fisheye avec la superposition du champ visuel humain, avec l'application du (Evalglare - Radiance) sur le champ visuel afin de déterminer la source et la taille de l'éblouissement. Le tableau ci-dessous représente les valeurs des paramètres physiques lumineux et les différents indicateurs du confort visuel dans chaque poste de la configuration 2

	CONF-2-A01	CONF-2-A02	CONF-2-A03	CONF-2-A04	CONF-2-A05	CONF-2-A06
Illum_HOZ_CLAVIER	320	265	320	545	465	390
Illum_HOZ_PAPIER	270	270	315	585	440	420
Illum_VER_ECRAN	525,3	516	562	3000	3500	840
Vert_Eey_Illum	208,71	212,86	182,07	99,10	96,67	119,30
AVR_Lum_PANORAMA	300	310	310	200	260	350
AVR_Lum_ERGORAMA	100	110	90	100	90	110
Background_Lum	28,78	27,61	24,28	30,96	28,93	24,60
AVR_Lum	56,49	53,67	50,41	30,52	32,81	42,78
Lum_MAX	310	320	560	210	460	500
	CONF-2-B01	CONF-2-B02	CONF-2-B03	CONF-2-B04	CONF-2-B05	CONF-2-B06
Illum_HOZ_CLAVIER	200	200	380	550	345	340
Illum_HOZ_PAPIER	195	250	375	450	350	342,5
Illum_VER_ECRAN	288	350	532	3350	532	375
Vert_Eey_Illum	219,87	155,71	97,33	97,15	141,11	205,52
AVR_Lum_PANORAMA	350	310	280	100	200	300
AVR_Lum_ERGORAMA	200	180	160	80	120	200
Background_Lum	25,57	27,76	26,08	28,84	20,86	21,77
AVR_Lum	50,83	51,27	32,65	28,85	48,97	53,11
Lum_MAX	400	380	300	150	660	680
	CONF-2-C01	CONF-2-C02	CONF-2-C03	CONF-2-C04	CONF-2-C05	CONF-2-C06
Illum_HOZ_CLAVIER	240	180	450	550	650	430
Illum_HOZ_PAPIER	270	198	350	490	500	400
Illum_VER_ECRAN	410,2	314,5	1950	3250	2230	2130
Vert_Eey_Illum	196,46	191,68	191,68	91,85	96,55	90,82
AVR_Lum_PANORAMA	200	200	110	120	150	230
AVR_Lum_ERGORAMA	150	140	120	180	180	200
Background_Lum	29,13	26,71	26,71	28,17	28,19	22,21
AVR_Lum	51,13	52,19	52,19	30,72	31,49	34,35
Lum_MAX	660	550	300	200	210	400
	CONF-2-D01	CONF-2-D02	CONF-2-D03	CONF-2-D04	CONF-2-D05	CONF-2-D06
Illum_HOZ_CLAVIER	85	140	80	80	125	120
Illum_HOZ_PAPIER	95	125	110	85	122,5	70
Illum_VER_ECRAN	170	302	215	456	150	275
Vert_Eey_Illum	147,66	166,34	144,61	106,04	109,43	105,58
AVR_Lum_PANORAMA	500	450	520	120	160	180
AVR_Lum_ERGORAMA	350	300	330	150	170	190
Background_Lum	27,56	26,63	23,49	19,85	24,51	22,97
AVR_Lum	39,32	38,63	34,65	29,11	29,45	28,13
Lum_MAX	650	600	620	200	210	220
	CONF-2-E01	CONF-2-E02	CONF-2-E03	CONF-2-E04	CONF-2-E05	CONF-2-E06
Illum_HOZ_CLAVIER	80	65	120	127	215	165
Illum_HOZ_PAPIER	90	120	125	125	230	195
Illum_VER_ECRAN	213,3	215	121,2	161,2	592,1	650
Vert_Eey_Illum	114,92	153,64	167,05	104,36	119,92	121,93
AVR_Lum_PANORAMA	320	400	420	280	300	220
AVR_Lum_ERGORAMA	200	210	320	160	200	180
Background_Lum	26,08	26,67	31,28	28,33	36,47	22,08
AVR_Lum	36,72	39,52	64,15	32,84	34,65	30,71
Lum_MAX	500	680	700	450	400	360

Tableaux 5.4 : les valeurs des paramètres physiques lumineux et les indices indicateurs du confort visuel, dans les 30 postes de la configuration 02 (Source : Auteur)

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

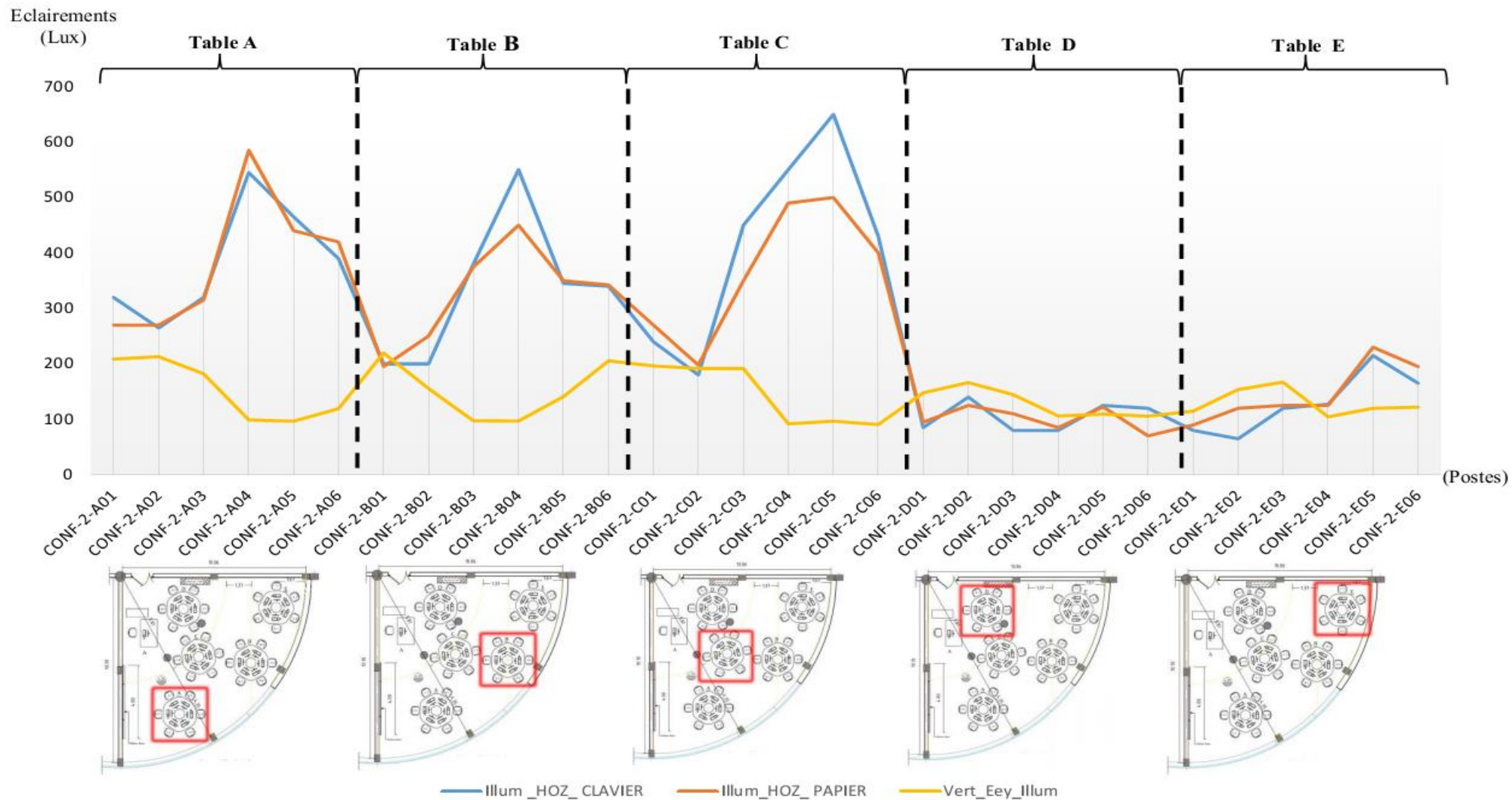


Figure 5.6 : Représentation des résultats obtenus d'éclairiments claviers, éclairiments papiers et éclairiments écrans, et éclairiment au niveau des yeux dans les 30 poste de configuration 02 (Source : Auteur)

## **Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle**

### **5.5.1. Analyse des résultats d'éclairage de la configuration 02**

#### **5.5.1.1. Eclairage reçus sur papier : activité lecture texte ou schéma**

D'après le graphe 03 on peut constater que par rapport aux niveaux d'éclairages des postes de la configuration 2, il existe deux parties bien distinctes dans le graphe, la première partie couvre les tables 1, 2, et 3 là où la majorité des postes sont dans les valeurs recommandées c'est à dire entre 350 et 500 lux, sauf pour les postes 2-A01, A-02, 2-B01, B-02, 2-C01 et C-02, où l'éclairage est au-dessous des normes, il est compris entre 310 lux et 180 lux. La deuxième partie du graphe couvre les deux tables D et E, où l'éclairage est plus faible par rapport aux autres tables, ce dernier varie de 65 à 180 lux, ce qui est largement au-dessous de la valeur recommandée. Vu les résultats obtenus par rapport au niveau d'éclairage des postes de la configuration 2 on peut déduire que l'éclairage artificiel plus l'éclairage naturel, avec film semi transparent n'offrent un éclairage suffisant pour l'activité lecture texte ou schéma, que pour trois tables sur les cinq tables existantes dans la configuration.

#### **5.5.1.2. Eclairages reçus sur le clavier: activité saisie texte**

Pour cette configuration, le graphe de l'éclairage sur les claviers est subdivisé en deux parties, la première elle couvre les tables A, B et C, où l'éclairage sur clavier varie entre 200 à 620 lux, ce qui est dans les normes recommandées pour l'activité saisie de texte sur clavier, l'autre partie du graphe elle concerne les tables D et E, là où il y a beaucoup moins d'éclairage, ce dernier a atteint dans cette partie des valeurs comprises entre 65 et 180 lux, moins des valeurs recommandées pour avoir un bon éclairage du clavier. Les résultats obtenus pour l'éclairage des claviers de la configuration 2, ne se traduisent que pour cette configuration d'éclairage artificiel et naturel avec film semi-transparent, ne sont pas suffisants pour atteindre le niveau d'éclairage recommandé pour toutes les tables de la configuration 2. Il n'y a que les tables A, B et C, qui ont un bon niveau d'éclairage recommandé, par contre dans les tables D et E, l'éclairage est au-dessous des valeurs recommandées.

#### **5.5.2.3. Eclairages verticaux reçus au niveau des yeux des utilisateurs**

Les valeurs d'éclairage verticaux au niveau des yeux obtenus dans le graphe 03, sont comprises entre 90 à 220 lux, la valeur maximale de 220 lux été enregistrée dans le poste 2-B01, et une minimale de 90 lux, enregistrée dans le poste 2-C06 ; toutes les valeurs obtenues dans les différents postes de la configuration 2, sont dans les normes recommandées pour les postes informatiques. Toutes les valeurs d'éclairage vertical, sont dans les normes recommandées par le (LEED), on peut déduire que l'éclairage artificiel plus l'éclairage naturel avec film n'a pas atteint des valeurs critiques pour créer un éblouissement direct.



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

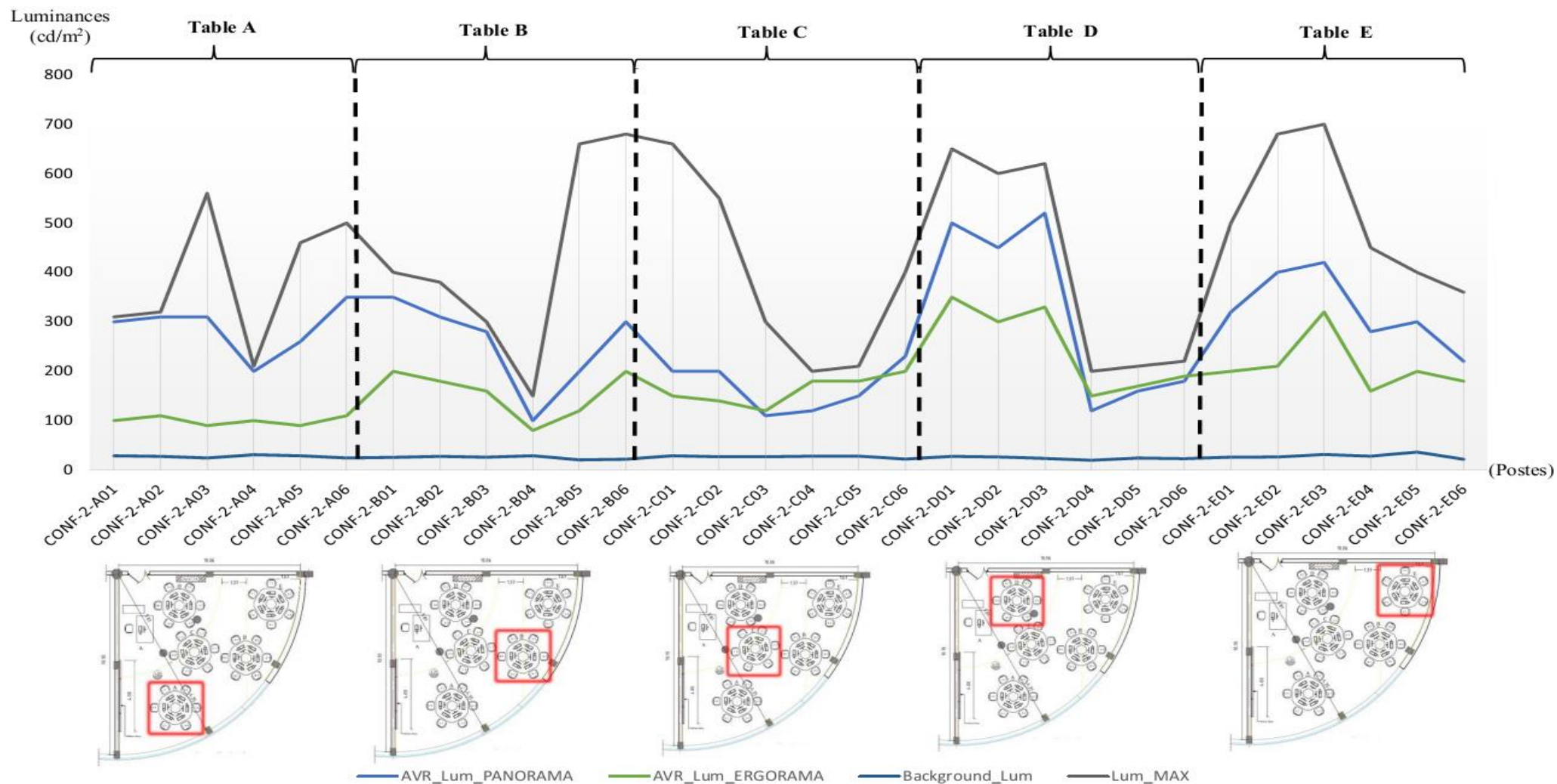


Figure 5.7 : Représentation des résultats obtenus des luminances dans le champ visuel (panorama, ergorama, background) luminance moyenne et luminance maximum dans les 30 postes de configuration 02 (Source : Auteur)



### **5.6. Analyse des résultats des luminances et du contraste configuration 02**

#### **5.6.1. La luminance maximale sur le champ visuel**

Dans cette configuration, les luminances maximales dans les différents postes de la configuration 2, sont comprises entre 150 à 720 Cd/m<sup>2</sup> et cela dans les postes 2-B04 et 2-E-03, on peut aussi constater que les plus grandes valeurs de luminances sont enregistrées dans les tables C, D et E, les plus éloignées de la fenêtre. Et que les valeurs de luminance varient de manière très significative par rapport à la position de l'utilisateur dans l'espace, à comparer avec la configuration 1. Grâce aux différents pics enregistrés sur le graphe on peut déduire que le facteur de luminance au niveau des yeux est intimement lié au point de vue de l'utilisateur, (vision vers l'extérieur plus que les luminaires), car tous les pics enregistrés ont été par rapport à l'utilisateur qui était en face de la fenêtre. Sur les tables les plus proches de la fenêtre il n'y avait pas de grandes valeurs de luminances dus aux films utilisés dans la configuration, à l'inverse sur les tables du fond de la salle, on peut expliquer cela par la présence du luminaire sur le champ visuel de l'utilisateur, qui peut être une cause probable de l'éblouissement, plus que la lumière naturelle.

#### **5.6.2. La luminance moyenne ergorama et panorama**

On peut constater, qu'il n'y a pas une très grande différence, entre les valeurs de luminances obtenue dans l'ergorama et celles du panorama, par rapport à la configuration 01, pour la totalité du tracé. On constate aussi que la luminance du panorama est supérieure à celle de l'ergorama, sauf pour les postes 2-C03, 2-C04, 2-C06, 2-D04 et 2-D06. La luminance de l'ergorama est supérieure à celle du panorama est causée par les luminances des écrans car ces derniers occupent une grande portion du champ visuel (ergorama), donc la luminance de cette partie du champ visuel est plus importante, en comparaison avec la première configuration, il n'y a pas beaucoup de différence entre les deux valeurs de luminances (panorama-ergorama) par rapport à la configuration 01, cela est dû au fait de la pose du film semi-transparent qui a augmenté de manière considérable la luminance dans le champ visuel (panorama), cela a créé un certain équilibre avec la luminance de l'écran. Pour les postes où la luminance de l'ergorama est plus importante que celle du panorama, cela est dû à des points ou des parties du champ d'ergorama où on a des taches lumineuses ou réflexions d'écrans ou réflexions parasites (fenêtres, autres écrans).

### **5.6.3. La luminance moyenne du fond**

On remarque sur le graphe que dans la totalité des postes de la configuration 2, la luminance moyenne du fond n'a pas dépassé la valeur de  $50 \text{ cd/m}^2$ , on remarque aussi que le graphe est plus ou moins droit. Comme dans cette configuration, on a posé un film semi-transparent sur les fenêtres, ce dernier a empêché la formation de grandes taches lumineuses sur le fond du champ visuel des utilisateurs d'où les valeurs très basses de luminance obtenues dans cette configuration. Vu la forme du graphe (ligne droite), on peut aussi déduire que le film a aussi contribué à avoir une certaine uniformité dans la distribution des luminances sur le fond du champ visuel en comparaison avec la configuration 01.

### **5.6.4. Les niveaux de contraste**

D'après les graphes obtenus, on peut constater dans cette configuration, le contraste dans les différents postes est plus élevé que la configuration 01, dans la totalité des postes car les valeurs de contraste obtenues sont comprises entre  $1/3$  et  $1/8$ . Les plus grandes valeurs de contraste sont enregistrées entre (erogorama /luminance maximale), et le contraste moyen des postes est proche de  $1/4$ . Comme les graphes de différentes valeurs de luminances sont superposés les uns par rapport aux autres, on peut déduire qu'il existe un certain équilibre de luminance, donc des contrastes dans cette configuration, comparés à la configuration 1, l'utilisation du film semi-transparent a augmenté la luminance du fond, et cela a créé un certain équilibre avec la luminance des écrans, ce qui a élevé les valeurs de contraste. Les valeurs de contraste obtenues dans cette configuration sont plus élevées que la configuration 01.

5.7. Présentations des résultats de la configuration 03

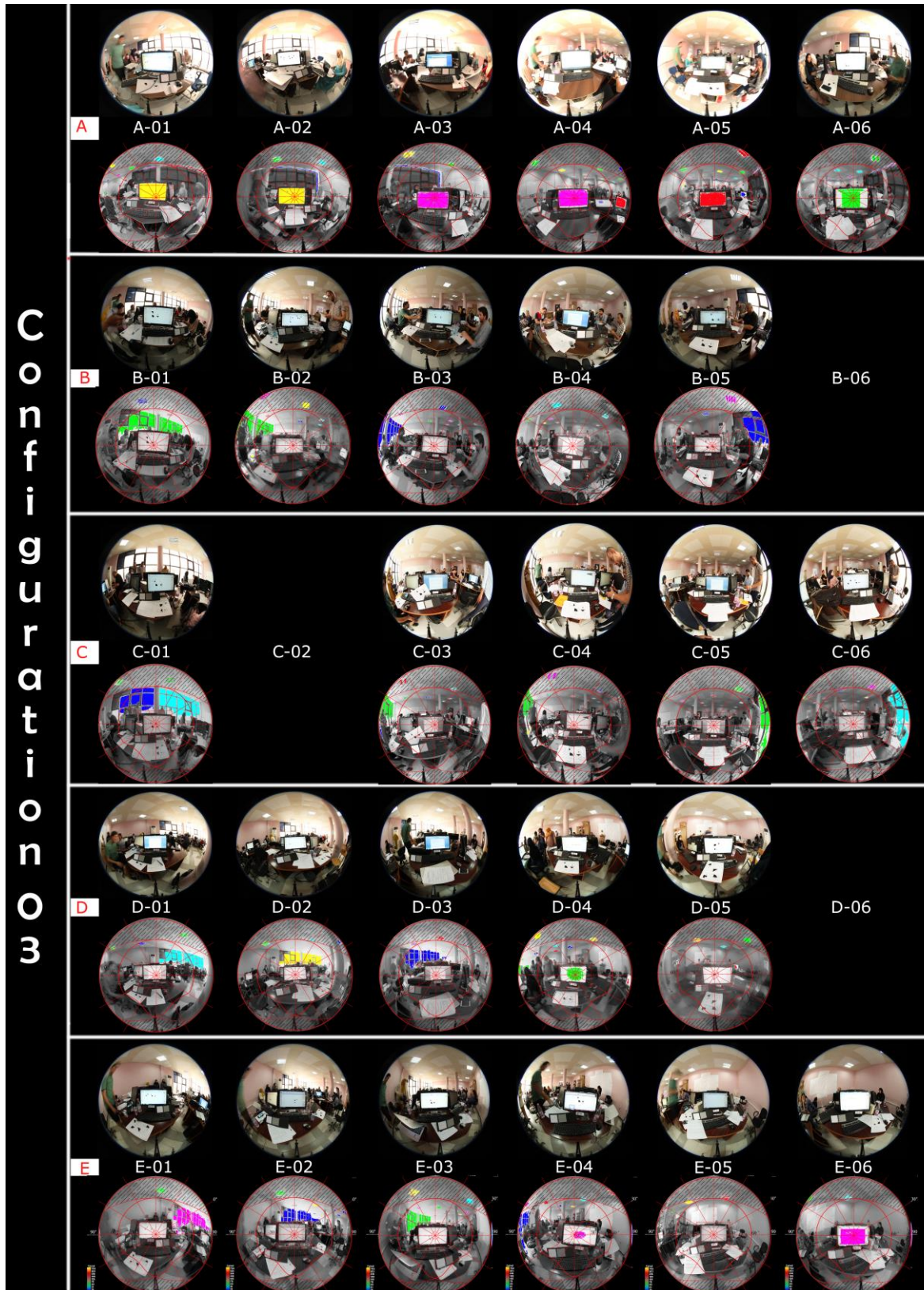


Figure 5.8 : Images Fisheye des 30 postes, de la configuration 03, avec une superposition des champs visuels de l'utilisateur et Glare Analysis (EvalGlare-Radiance) (Source : Auteur)



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

La figure 03 représente le résumé des résultats obtenus de la configuration 03, la configuration où on n'a que les fenêtres sans aucune réflexion et en utilisant l'éclairage artificiel (ON), dans la première colonne, les résultats des images Fish-eye 180 °, obtenus dans les 27 postes de travail de la configuration 03, la deuxième colonne représente les images Fish-eye avec une superposition du champ visuel humain, avec l'application du (Evalglare - Radiance ) sur le champ visuel afin de déterminer la source et la taille de l'éblouissement. Le tableau ci-dessous représente les valeurs des paramètres physiques lumineux et les différents indicateurs du confort visuel dans chaque poste de la configuration 03.

	CONF-3-A01	CONF-3-A02	CONF-3-A03	CONF-3-A04	CONF-1-A05	CONF-3-A06
Illum_HOZ_CLAVIER	325	235	250	950	750	658
Illum_HOZ_PAPIER	362,5	235	560	750	780	620
Illum_VER_ECRAN	605	600	486,3	6350	9124	1240
Vert_Eey_Illum	205,89	251,68	245,85	99,27	93,66	206,83
AVR_Lum_PANORAMA	400	450	600	200	200	400
AVR_Lum_ERGORAMA	350	300	300	80	100	85
Background_Lum	630,29	687,80	1275,27	5436,59	962,21	0,00
AVR_Lum	60,84	65,25	71,11	33,07	37,17	57,11
Lum_MAX	750	760	780	160	120	780
	CONF-3-B01	CONF-3-B02	CONF-3-B03	CONF-3-B04	CONF-3-B05	
Illum_HOZ_CLAVIER	250	320	320	640	495	
Illum_HOZ_PAPIER	300	317,2	385	650	455	
Illum_VER_ECRAN	387,2	550	1170	5320	851	
Vert_Eey_Illum	243,09	137,80	105,27	116,59	111,21	
AVR_Lum_PANORAMA	450	390	350	300	270	
AVR_Lum_ERGORAMA	460	300	200	200	200	
Background_Lum	962,35	6031,18	7234,64	3791,60	5224,66	
AVR_Lum	59,01	43,71	39,09	32,68	45,44	
Lum_MAX	700	700	400	300	450	
	CONF-3-C01	CONF-3-C03	CONF-3-C04	CONF-3-C05	CONF-3-C06	
Illum_HOZ_CLAVIER	320	885	1400	1500	740	
Illum_HOZ_PAPIER	321	790	1000	1000	740	
Illum_VER_ECRAN	700	5930	7120	3700	5122	
Vert_Eey_Illum	262,35	101,18	114,64	91,60	102,66	
AVR_Lum_PANORAMA	560	420	320	420	420	
AVR_Lum_ERGORAMA	700	300	280	260	270	
Background_Lum	450,88	665,87	574,76	1280,50	592,13	
AVR_Lum	69,39	36,92	37,37	34,00	41,45	
Lum_MAX	780	500	310	550	680	
	CONF-3-D01	CONF-3-D02	CONF-3-D03	CONF-3-D04	CONF-3-D05	
Illum_HOZ_CLAVIER	130	180	175	165	186	
Illum_HOZ_PAPIER	145	173	165	155	185	
Illum_VER_ECRAN	290	471	395,2	1170	456	
Vert_Eey_Illum	160,88	194,87	179,56	110,50	136,13	
AVR_Lum_PANORAMA	580	610	600	250	200	
AVR_Lum_ERGORAMA	250	300	300	320	400	
Background_Lum	522,13	531,49	401,91	265,31	387,95	
AVR_Lum	45,07	44,41	44,45	32,06	36,50	
Lum_MAX	600	660	650	320	330	
	CONF-3-E01	CONF-3-E02	CONF-3-E03	CONF-3-E04	CONF-3-E05	CONF-3-E06
Illum_HOZ_CLAVIER	165	140	140	150	225	180
Illum_HOZ_PAPIER	122	144,2	155	155	250	212
Illum_VER_ECRAN	383,2	372,5	243,1	144,1	281,3	1825,1
Vert_Eey_Illum	138,93	158,99	158,81	121,21	106,65	127,57
AVR_Lum_PANORAMA	590	620	650	200	100	300
AVR_Lum_ERGORAMA	300	280	350	220	120	250
Background_Lum	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AVR_Lum	41,91	39,03	37,82	36,49	30,36	31,58
Lum_MAX	700	750	760	450	380	400

Tableaux 5.5 : les valeurs des paramètres physiques lumineux et les indices indicateurs du confort visuel, dans les 27 postes de la configuration 03 (Source : Auteur)

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

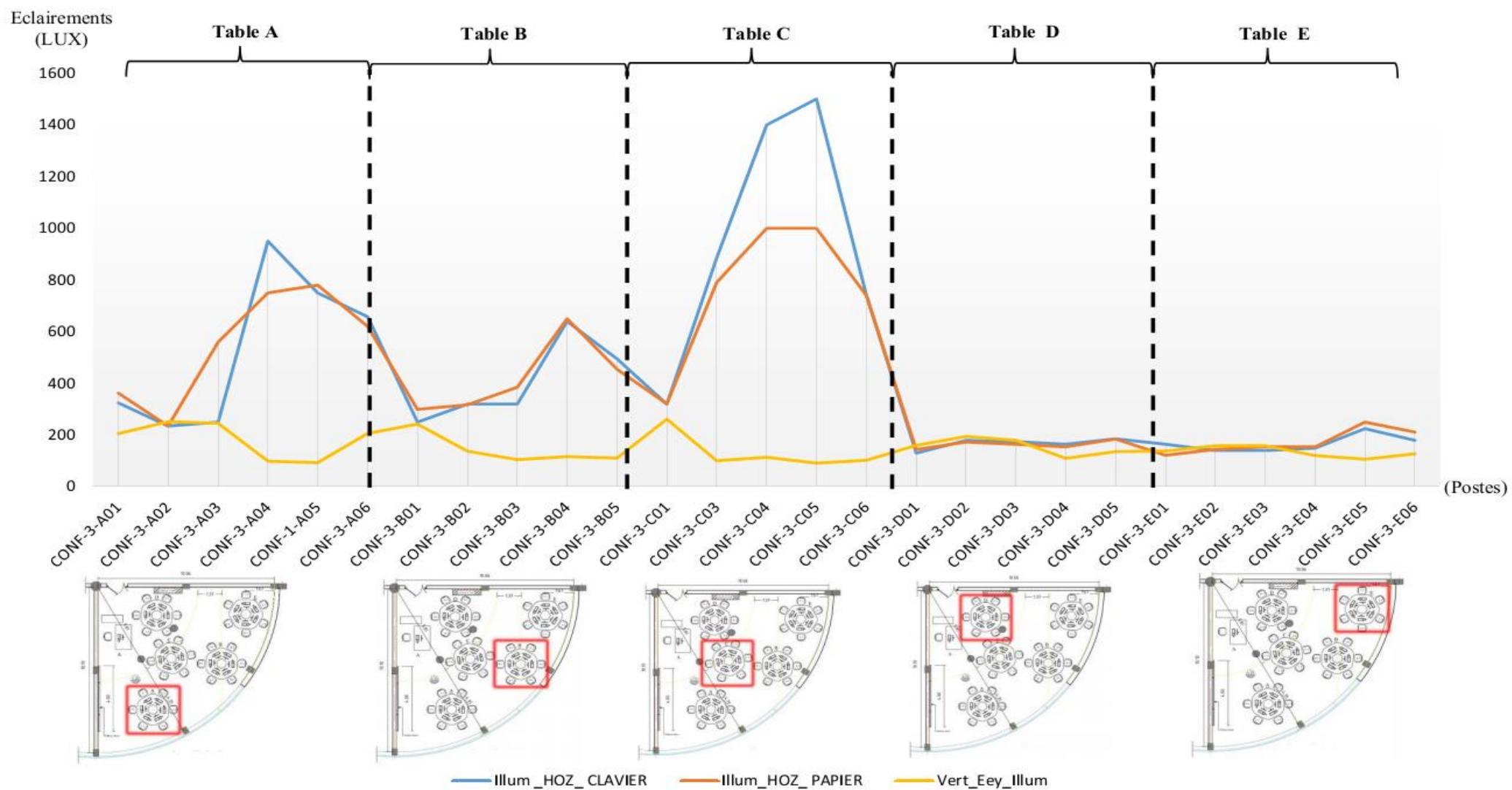


Figure 5.9 : Représentation des résultats obtenus d'éclairagements claviers, éclairagements papiers et éclairagements écrans, et éclairagement au niveau des yeux dans les 27 postes de configuration 03 (Source : Auteur)

## **Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle**

### **5.7.1. Analyse des résultats d'éclairage de la configuration 03**

#### **5.7.1.1. Eclairage reçu sur papier : activité lecture texte ou schéma**

La première lecture des résultats du graphe qui représente l'éclairage sur le papier, nous donne clairement deux parties bien distinctes dans le tracé du graphe, la première partie couvre les tables A, B et C avec des valeurs d'éclairage qui dépassent les 350 lux, la seconde partie du tracé, elle couvre les deux tables D et E, là où les valeurs d'éclairage, sont au-dessous des 200 lux dans la majorité des postes. La valeur maximale d'éclairage obtenue dans cette configuration a été enregistré dans la table C et elle est égale à 1000 lux dans les postes 3-C03 et 3C04, et la valeur minimale a été enregistrée à la table E poste 3-E01 où on a enregistré une valeur de 122 lux. D'après les résultats d'éclairage obtenus pour l'activité de lecture texte ou schéma, dans la configuration 03, on peut dire que l'éclairage naturel (vitrage sans aucune protection), couplé à un éclairage artificiel, n'est pas suffisant pour assurer un éclairage recommandé, compris entre 300 lux et 550 lux, sur toutes les tables de la configuration 03.

#### **5.7.1.2. Eclairages reçus sur le clavier : activité saisie texte**

Les résultats obtenus des éclairages sur clavier, nous indiquent aussi la présence de deux parties dans la salle informatique, la première partie concerne les résultats obtenus dans les tables A, B et C où on a enregistré des valeurs qui dépassent les 300 lux, dans cette dernière on a aussi constaté que la majorité des postes ont un éclairage qui dépasse largement la valeur maximale de 300 lux recommandée, car dans cette partie on a enregistré une valeur maximale de 1500 lux dans le poste 3-C05. La seconde partie du tracé elle couvre les tables D, E ; elle est caractérisée par un éclairage au-dessous des 200 lux, donc au-dessous des valeurs recommandées. D'après les résultats obtenus on peut déduire que l'éclairage reçu sur les claviers dans la configuration 03, est très fort sur les tables qui sont proches de la fenêtre A, B, C et peut être même source d'éblouissement, car il dépasse de 7 fois les recommandations, et insuffisant sur les tables du fond du local, tables D et E.

#### **5.7.2.3. Eclairage vertical reçu au niveau des yeux des utilisateurs**

Par rapport aux valeurs d'éclairage vertical obtenues au niveau des yeux, dans cette configuration elles sont comprises entre 100 lux à 340 lux, dans toutes les tables de la configuration 03, on peut constater que toutes les valeurs obtenues dans les différents postes de la configuration 03, sont dans les normes recommandées pour les postes informatiques. Vu les résultats obtenus on peut déduire qu'il n'y a pas de risque (théoriquement) d'éblouissement car toutes les valeurs sont inférieures à 2700 lux recommandés par le (LEED)



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

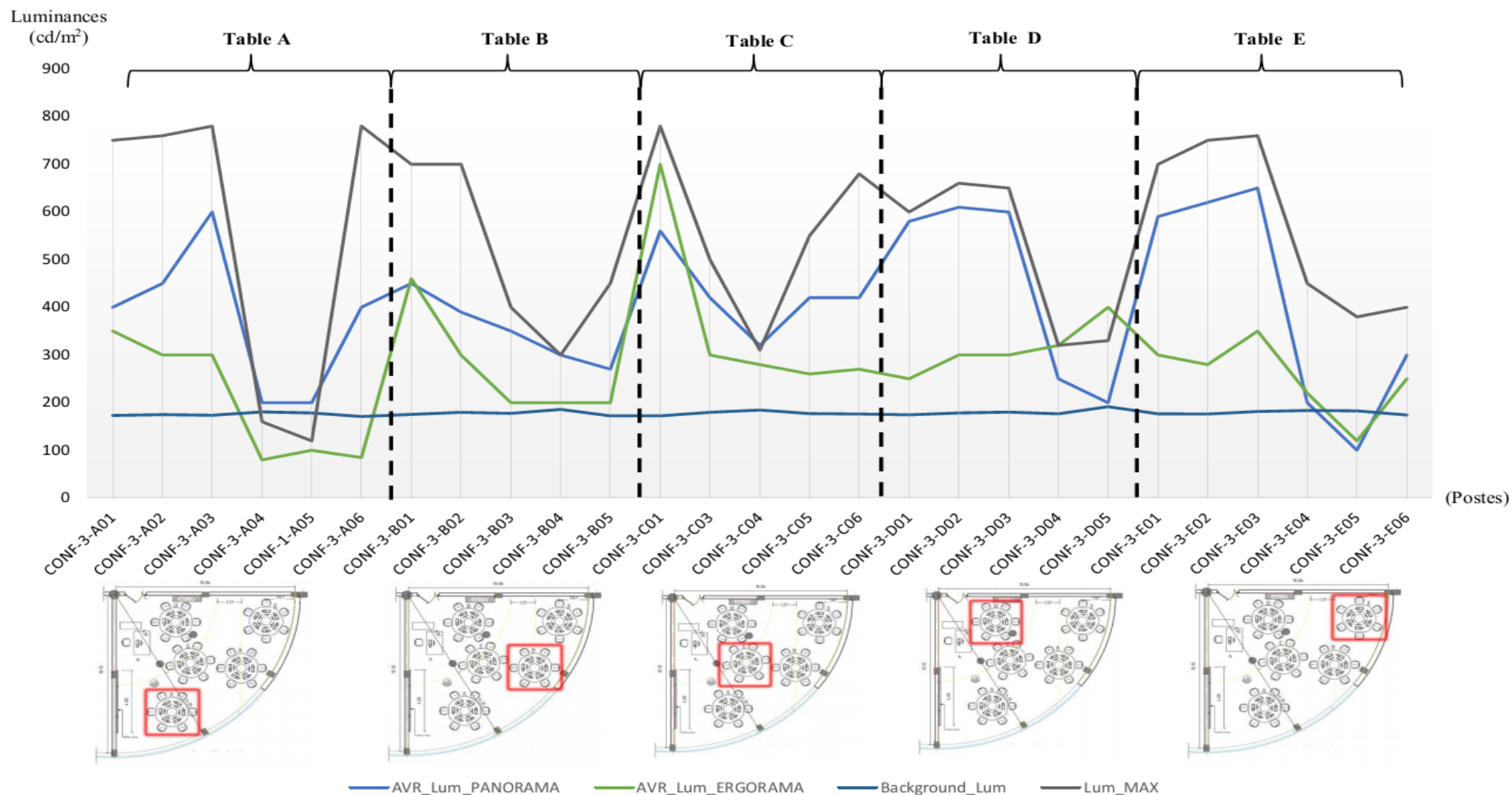


Figure 5.10 : Représentation des résultats obtenus des luminances dans le champ visuel (panorama, ergorama, background) luminance moyenne et luminance maximum dans les 27 postes de configuration 03 (Source : Auteur)

### **5.8. Analyse des résultats des luminances et du contraste configuration 03**

#### **5.8.1. La luminance maximale sur le champ visuel**

Par rapport à la configuration 03, on a obtenu des valeurs de luminance élevées sur les champs visuels des utilisateurs comparées avec les deux premières configurations, sur les différents postes, les valeurs obtenues sont comprises entre 780 et 120  $\text{cd/m}^2$ , mais la majorité des postes ont une luminance supérieure à 600  $\text{cd/m}^2$ , les valeurs maximales ont été enregistrées dans les tables du fond C,D et E. Vu que dans la configuration 03, il n'y a aucune protection solaire sur les fenêtres, la majorité des postes ont des luminances très élevées, supérieures ou égales à 600  $\text{cd/m}^2$ , ce qui peut provoquer un éblouissement chez l'utilisateur. Les valeurs les plus élevées de luminance ont été enregistrées sur les postes qui se trouvent dans le fond du local, car plus les usagers s'éloignent de la fenêtre plus la surface occupée par la fenêtre dans leurs champs visuels, l'éclairage extérieur ou la tache solaire, deviennent plus importants que sur le poste près de la fenêtre.

#### **5.8.2. La luminance moyenne ergorama et panorama**

Pour les luminances moyennes ergorama et panorama, on a noté aussi qu'elles sont plus élevées dans tous les postes de la configuration 03, que sur les configurations 01 et 02, car sur le panorama les valeurs sont comprises entre 650  $\text{cd/m}^2$ , et 100  $\text{cd/m}^2$ , postes 3-E03 et 3-E05, ergorama 700  $\text{cd/m}^2$  et 80  $\text{cd/m}^2$  dans les postes 3-C01 et 3-A04. On a aussi constaté que les deux graphes ne sont pas superposés, à l'inverse des configurations précédentes, où on avait toujours les valeurs de luminances dans le panorama plus importantes que celles de l'ergorama, mais que dans cette configuration les valeurs de luminances d'ergorama sont plus proches que celles de panorama et même dans plusieurs postes, c'est l'inverse, les valeurs de luminance sur l'ergorama sont plus importantes que celles du panorama. Comme dans cette configuration, on n'a pas utilisé de protection sur le vitrage des fenêtres, les valeurs de luminances sur différents champs visuels (panorama/ergorama) sont plus élevées que dans les configurations précédentes, cela est valable pour l'ensemble des postes, pour ce qui concerne la non superposition des graphes obtenus de luminance moyenne (ergorama/panorama), et qu'on peut avoir même des valeurs de luminances d'ergorama plus importantes que celles de panorama, cela est dû au fait de la présence de taches lumineuses (éclairage naturel directe) sur ces parties de champ visuel et "l'ergorama", car la lumière sous forme de tache lumineuse peut pénétrer directement dans le local, vu qu'on n'utilise pas de protection dans cette configuration .

### **5.8.3. La luminance moyenne du fond**

On peut constater d'après les résultats obtenus de la luminance moyenne du fond, qu'il y a une certaine régularité de luminance, sur l'ensemble des postes de la configuration, et que cette dernière est plus élevée que dans les configurations précédentes, elle varie entre  $173 \text{ cd/m}^2$  -  $193 \text{ cd/m}^2$ . Les valeurs de luminances moyenne du fond sont plus élevées en comparaison aux autres configurations, sont dues au fait, qu'on n'utilise pas de protection sur le vitrage dans cette configuration, comme les valeurs obtenues représentent la luminance moyenne du fond, et représente une valeur moyenne, et que les valeurs prises sont dans le même local (sous les mêmes conditions d'éclairage), il n'y a pas eu vraiment de différence significative dans les valeurs de luminance moyenne de fond entre les différents postes.

### **5.8.4. Les niveaux de contraste**

D'après les résultats du graphe 06, on peut constater que les valeurs de contraste obtenues dans cette configuration sont relativement fortes à comparer avec les deux précédentes configurations, et ces dernières varient entre  $1/2$  à  $1/10$ , dans l'ensemble des postes de la configuration. La majorité des forts contrastes ont été enregistrés entre le panorama/ergorama, et pas par rapport au fond du local. On peut expliquer les fortes valeurs de contraste obtenues, entre (panorama et ergorama) par la présence de tache lumineuse, éclairage direct sur un champ visuel et des taches sombres sur le local mur sol, vu l'absence de protection sur les vitrages dans cette configuration, on a atteint un contraste maximal de  $1/10$  dans cette configuration, mais ces valeurs restent dans la limite acceptable par rapport aux recommandations.



5.9. Présentations des résultats de la configuration 04

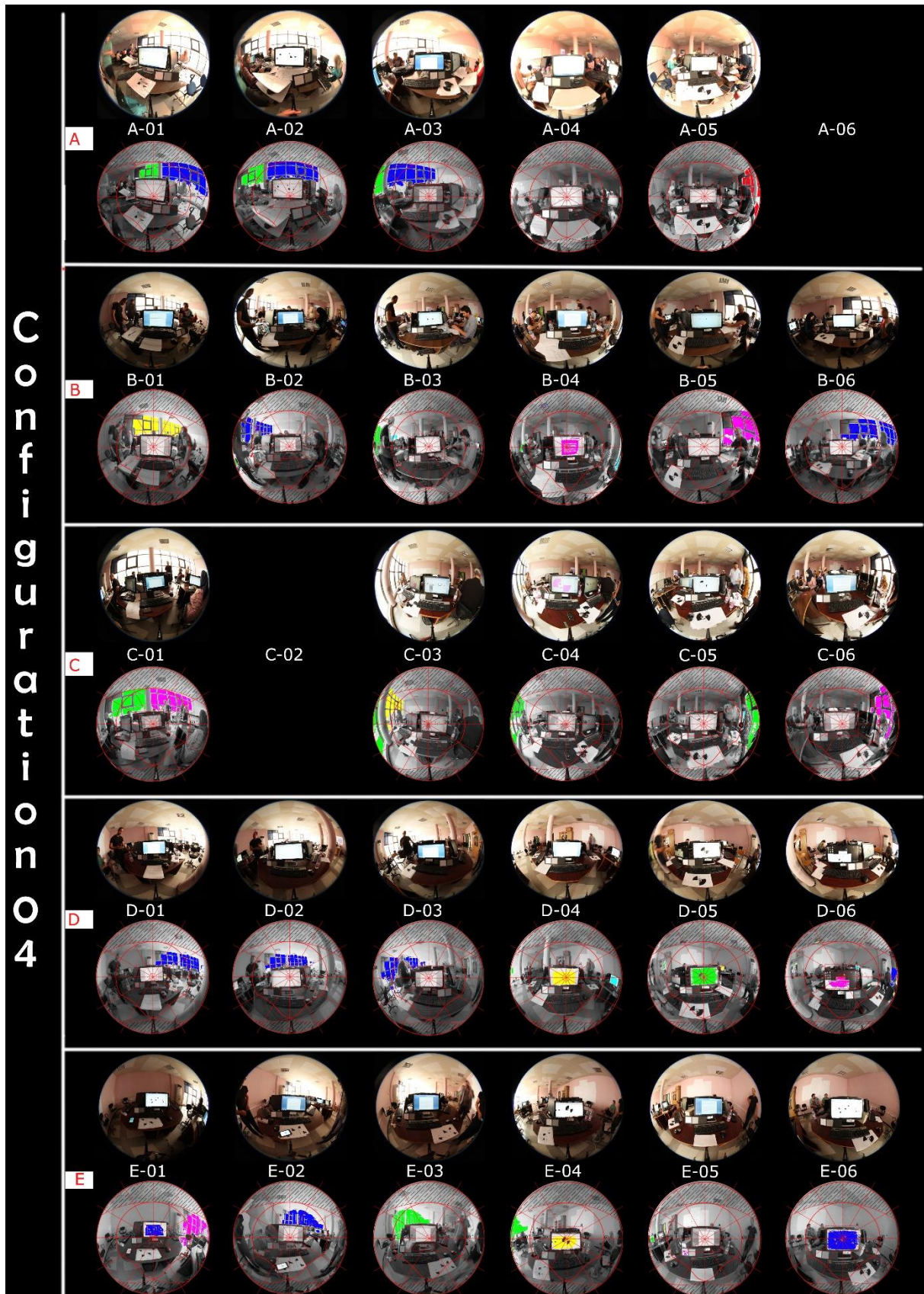


Figure 5.11 : Image Fish-eye des 28 postes, de la configuration 04, avec une superposition des champs visuels de l'utilisateur et Glare Analysis (EvalGlare-Radiance) (Source : Auteur)

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

La figure 04 représente le résumé des résultats obtenus de la configuration 04, dans cette dernière, il n'y a pas de protection sur les fenêtres, sans l'utilisation d'éclairage artificiel (off), éclairage naturel seulement. Dans la première colonne, les résultats des images Fish-eye 180 °, obtenus dans les 28 postes de travail de la figuration 04, la deuxième colonne représente les images Fish-eye avec une superposition du champs visuel humain, avec l'application du (Evalglare - Radiance ) sur le champs visuel afin de déterminer la source et la taille de l'éblouissement.

- Le tableau ci-dessous représente les valeurs des paramètres physiques lumineux et les différents indicateurs du confort visuel dans chaque poste de la configuration 04

	CONF-4-A01	CONF-4-A02	CONF-4-A03	CONF-4-A04	CONF-4-A05	
Illum_HOZ_CLAVIER	280	250	290	565	450	
Illum_HOZ_PAPIER	373	251	270	517	412	
Illum_VER_ECRAN	460	608	562	5710	4750	
Vert_Eey_Illum	218,35	251,07	223,83	104,31	97,52	
AVR_Lum_PANORAMA	193	200	210	120	120	
AVR_Lum_ERGORAMA	160	150	155	130	110	
Background_Lum	24,14	24,79	21,99	33,18	27,63	
AVR_Lum	70,32	69,29	68,37	31,58	36,86	
Lum_MAX	700	700	710	150	160	
	CONF-4-B01	CONF-4-B02	CONF-4-B03	CONF-4-B04	CONF-4-B05	CONF-4-B06
Illum_HOZ_CLAVIER	155	215	295	306	215	135
Illum_HOZ_PAPIER	200	230	335	300	210,4	145
Illum_VER_ECRAN	380	395,2	550	1885,3	550	380,5
Vert_Eey_Illum	237,74	146,95	98,12	103,89	144,61	220,15
AVR_Lum_PANORAMA	450	400	260	150	200	250
AVR_Lum_ERGORAMA	300	310	300	180	190	300
Background_Lum	26,16	31,05	30,02	25,40	25,13	25,08
AVR_Lum	55,47	45,25	34,09	29,79	49,53	60,43
Lum_MAX	680	700	450	200	280	680
	CONF-4-C01	CONF-4-C03	CONF-4-C04	CONF-4-C05	CONF-4-C06	
Illum_HOZ_CLAVIER	180	155	168	200	150	
Illum_HOZ_PAPIER	100	138	210	320	350	
Illum_VER_ECRAN	210	220	300	320	260	
Vert_Eey_Illum	313,09	129,55	97,83	97,36	105,06	
AVR_Lum_PANORAMA	300	280	220	290	300	
AVR_Lum_ERGORAMA	350	360	280	266	280	
Background_Lum	20,37	31,79	29,39	28,33	24,25	
AVR_Lum	82,90	47,94	37,76	36,47	40,26	
Lum_MAX	688	700	600	680	720	
	CONF-4-D01	CONF-4-D02	CONF-4-D03	CONF-4-D04	CONF-4-D05	CONF-4-D06
Illum_HOZ_CLAVIER	110	100	113,5	131,5	170	133
Illum_HOZ_PAPIER	112	95	110	154	167,5	147
Illum_VER_ECRAN	223	401,4	250	1760	2660	1033
Vert_Eey_Illum	175,38	228,31	162,42	117,17	118,91	105,34
AVR_Lum_PANORAMA	255	680	600	260	260	220
AVR_Lum_ERGORAMA	300	320	710	300	280	266
Background_Lum	26,26	35,20	31,96	22,77	21,70	27,19
AVR_Lum	48,66	49,36	44,24	31,51	29,48	32,47
Lum_MAX	700	710	705	520	510	500
	CONF-4-E01	CONF-4-E02	CONF-4-E03	CONF-4-E04	CONF-4-E05	CONF-4-E06
Illum_HOZ_CLAVIER	76	74	75	80	87,5	94
Illum_HOZ_PAPIER	86	80	78	82	92	116,5
Illum_VER_ECRAN	253	343	243	260	1094	1840
Vert_Eey_Illum	81,65	186,29	172,92	114,30	117,03	154,21
AVR_Lum_PANORAMA	380	360	400	260	300	290
AVR_Lum_ERGORAMA	280	320	300	450	420	390
Background_Lum	11,38	26,84	27,50	25,37	36,70	19,09
AVR_Lum	26,95	44,12	46,11	33,99	33,61	34,72
Lum_MAX	710	700	750	520	300	600

Tableaux 5.6 : les valeurs des paramètres physiques lumineux et les indices indicateurs du confort visuel, dans les 28 postes de la configuration 04 (Source : Auteur)



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

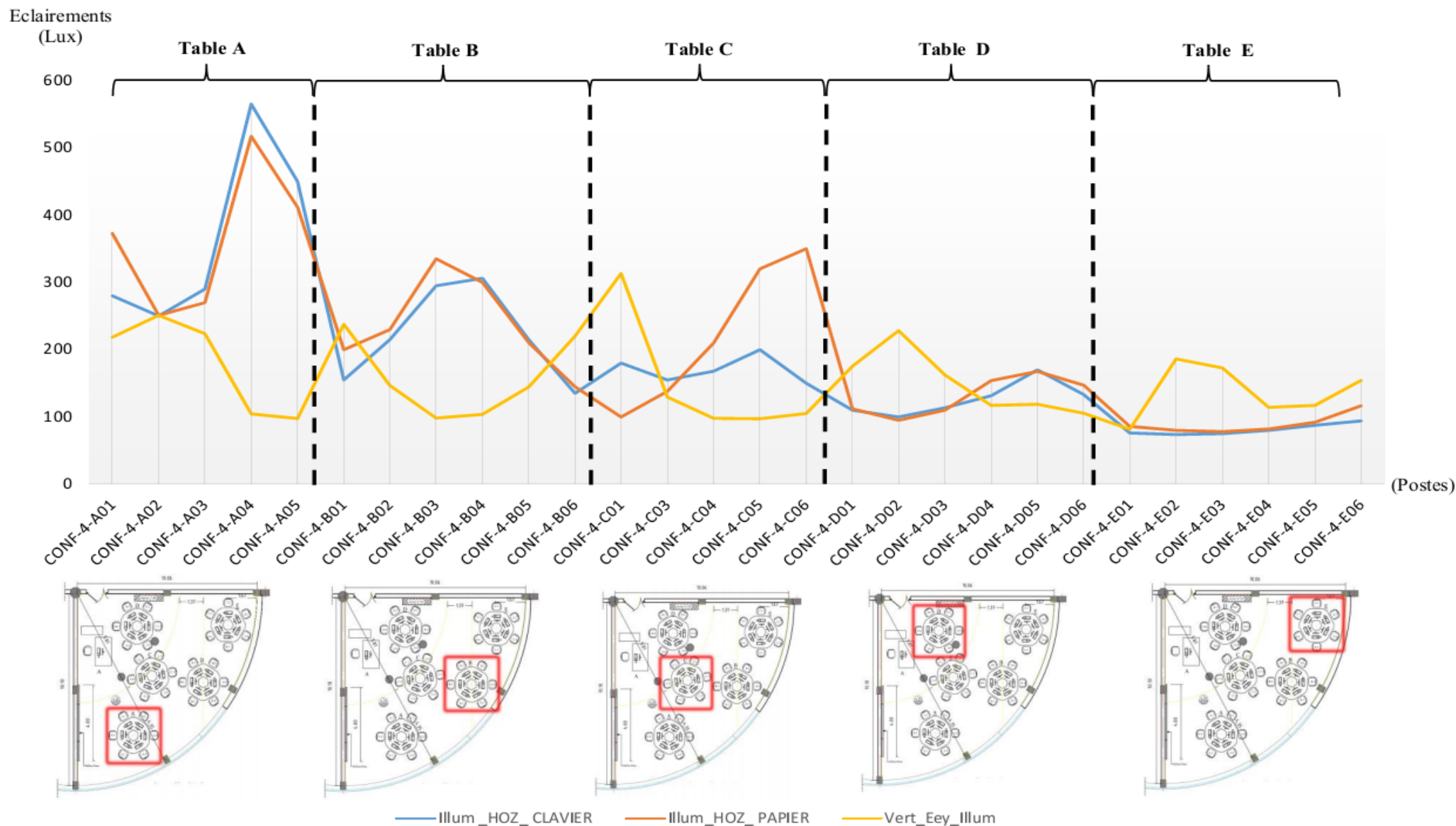


Figure 5.12 : Représentation des résultats obtenus d'éclairages claviers, éclairages papiers et éclairages écrans, et éclairage au niveau des yeux dans les 28 postes de configuration 04 (Source : Auteur)



### **5.9.1. Analyse des résultats d'éclairage de la configuration 04**

#### **5.9.1.1. Eclairage reçu sur papier : activité lecture texte ou schéma**

D'après les résultats obtenus, on peut dire qu'il existe deux parties dans le graphe, bien distinctes, la première elle couvre uniquement la table A, dans cette partie la majorité des postes ont un éclairage sur papier supérieur à 300 lux, la seconde partie sur le reste du graphe et de l'espace, les tables C, D et E, où on a enregistré un éclairage sur papier au-dessous des 300 lux, on a enregistré un éclairage maximal dans le poste 4-A04 avec un éclairage de 517 lux, la minimale a été enregistrée dans le poste 4-E03, avec une valeur de 78 lux. Vu les résultats obtenus, on peut dire que la lumière naturelle seule n'est pas suffisante pour atteindre le niveau d'éclairage recommandé, sur l'ensemble des tables de la configuration 04, et juste à une seule table qui est la table A, la plus proche de la fenêtre, le reste des autres tables l'éclairage est en dessous des valeurs recommandées. Vu l'absence d'éclairage artificiel les valeurs les plus faibles d'éclairage ont été enregistrées, dans les tables les plus loin de la fenêtre.

#### **5.9.1.2. Eclairage reçu sur le clavier : activité saisie texte**

Les valeurs d'éclairage obtenues sur le clavier dans cette configuration, nous indiquent clairement l'existence de deux parties dans le graphe, la première où on a obtenu des valeurs d'éclairage, sur clavier comprise entre 200Lux et 500 lux sur les tables A et B, la seconde est la partie où on a enregistré des valeurs inférieures à 200 Lux, tables C, D et E, les tables du fond de la salle. La valeur maximale est de 565 lux enregistrée dans le poste 4-A04, la valeur minimale est de 76 lux, 4-E01. D'après les données d'éclairages recueillies sur clavier, on peut déduire que l'éclairage reçu sur les claviers dans la configuration 04, n'est pas suffisant pour l'ensemble des tables, mais juste acceptable pour les tables les plus proches de la fenêtre A et B. Vu qu'on n'utilise que l'éclairage naturel dans cette configuration, les tables les plus proches de la fenêtre ont plus d'éclairage que dans les tables du fond, où on a des valeurs qui sont inférieures à 80 lux, ce qui est très loin des valeurs recommandées.

#### **5.9.2.3. Eclairage vertical reçu au niveau des yeux des utilisateurs**

Les valeurs obtenues d'éclairage vertical, dans la configuration 04, sont comprises entre (250 lux à 340 lux), dans toutes les tables de la configuration 04, on peut constater que toutes les valeurs obtenues dans les différents postes de la configuration 04, sont dans les normes recommandées pour les postes informatiques. Vu les données d'éclairage obtenues, on peut

**Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle**

déduire qu'il n'y a pas de risque (théoriquement) d'éblouissement, car toutes les valeurs sont inférieures aux 2700 lux recommandés.

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

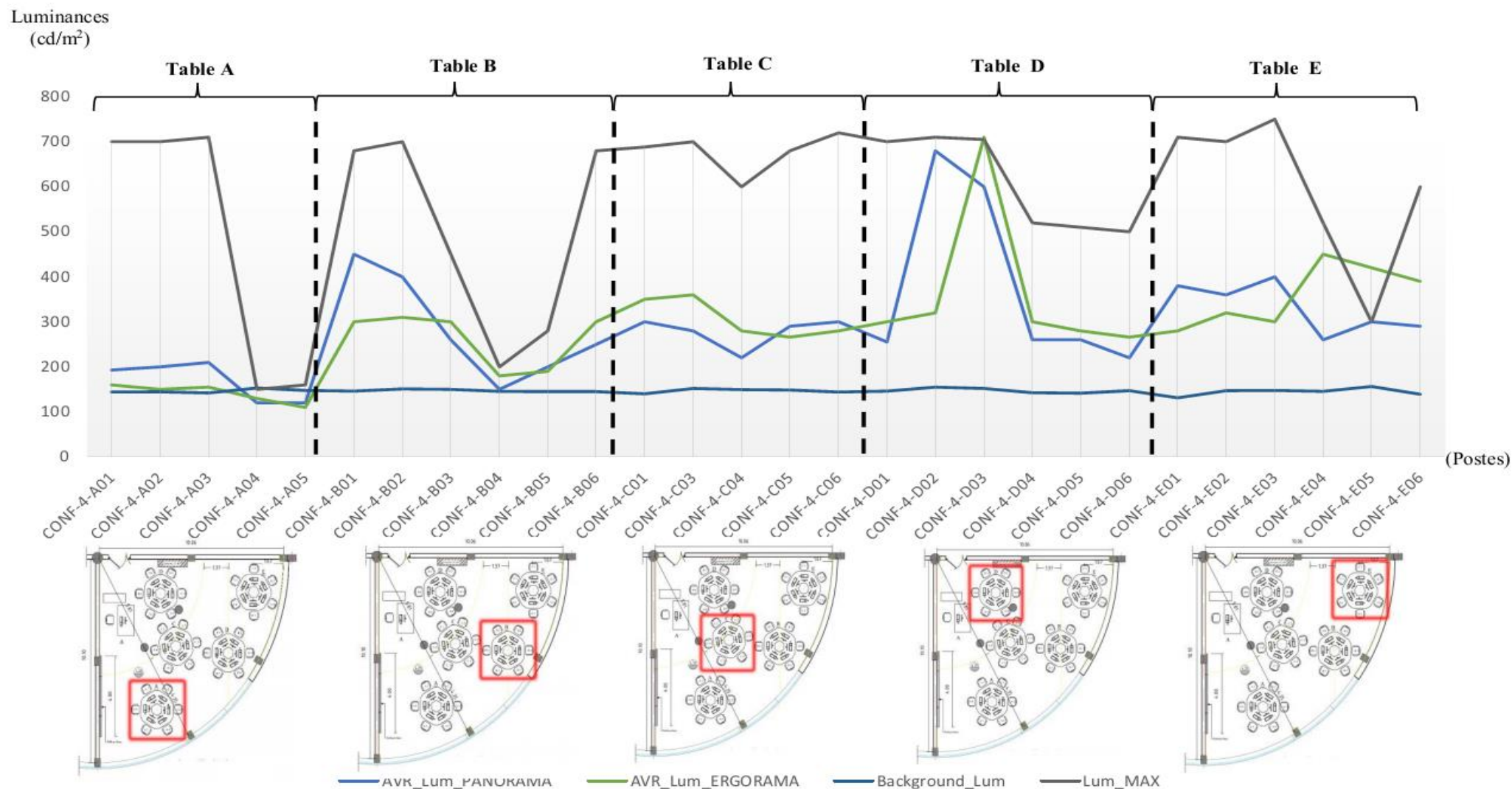


Figure 5.13 : Représentation des résultats obtenus des luminances dans le champ visuel (panorama, ergorama, background) luminance moyenne et luminance maximum dans les 28 postes de configuration 04 (Source : Auteur)

### **5.10. Analyse des résultats des luminances et du contraste configuration 04**

#### **5.10.1. La luminance maximale sur le champ visuel**

Les résultats de luminances maximale obtenus sur les champs visuels dans la configuration 04, sans éclairage artificiel et sans protection sur le vitrage, indique que sur la majorité des postes, les luminances ne sont pas aussi élevées que sur la configuration précédente, la valeur maximale a été enregistrée dans le poste 4-E03,  $750 \text{ cd/m}^2$ , la valeur minimale de luminance a été enregistrée dans le poste 4-A04,  $150 \text{ cd/m}^2$ , on a constaté que pour cette configuration aussi, les valeurs les plus élevées de luminances maximales ont été révélées sur les tables les plus éloignées de la fenêtre, tables C, D et E. Selon les observations faites par rapport à la luminance maximale on peut déduire que l'absence d'éclairage artificiel, réduit de manière significative les valeurs de luminance maximale sur les champs visuels, le risque d'éblouissement aussi, les valeurs des plus grandes luminances ont été enregistrées sur les tables du fond de la salle, parce que plus l'utilisateur s'éloigne de la fenêtre plus la surface de celle-ci occupe une grande partie du champ visuel, et plus il y a de possibilités d'avoir de grandes valeurs de luminances sur son champ visuel.

#### **5.10.2. La luminance moyenne ergorama et panorama**

Les résultats recueillis pour la seconde fois dans la configuration 04, ne sont pas aussi élevées que sur la configuration 03, la valeur maximale enregistrée sur le panorama a été de  $680 \text{ cd/m}^2$ , poste 4-D02 et la minimale enregistrée dans le poste 4-A04, a une valeur de  $130 \text{ cd/m}^2$ . Par rapport à l'ergorama on constate aussi que les valeurs obtenues n'ont pas été aussi élevées, la maximale enregistrée a été de  $705 \text{ cd/m}^2$ , poste 4-D03 et la minimale au poste 4-A05, avec une valeur de  $100 \text{ cd/m}^2$ . Pour ce deuxième indicateur aussi, les valeurs les plus élevées ont été enregistrées dans le fond du local et les basses près de la fenêtre. Vu que dans cette configuration il n'y a pas d'éclairage artificiel, les valeurs de luminance moyenne relevées dans les postes sur (ergorama/panorama), sont moins élevées par rapport aux configurations précédentes. Donc l'éclairage artificiel peut dans certains postes créer une gêne visuelle, et peut être aussi source de grande luminance sur le champ visuel. D'après les résultats obtenus, on peut aussi déduire que, plus on s'éloigne de la fenêtre plus il y a de risque d'avoir des valeurs très élevées de luminance sur le champ visuel, et vice versa, cela dépend aussi de la position du poste.

## **Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle**

### **5.10.3. La luminance moyenne du fond**

D'après les résultats obtenus des luminances moyennes du fond dans la configuration 04, on peut remarquer, qu'il y a une certaine régularité de luminances, sur l'ensemble des postes de la configuration, ces dernières sont comprises entre  $140 \text{ cd/m}^2$  et  $160 \text{ cd/m}^2$ . On peut aussi remarquer que les valeurs de cet indicateur sont inférieures à celles enregistrées dans la configuration 03. Les données relevées de luminances moyennes du fond, sont inférieures à celles enregistrées dans la configuration 03, puisque dans cette configuration on n'utilise pas d'éclairage artificiel. Comme les valeurs de luminance de fond sont des moyennes il n'y a pas vraiment de différence remarquable entre les différents postes, (le changement n'est pas significatif par rapport à la position de l'utilisateur).

### **5.10.4. Les niveaux de contraste**

D'après la première lecture du graphe 08, on peut constater que les valeurs de contraste obtenues dans cette configuration sont relativement plus élevées que dans la configuration précédente, on a enregistré des valeurs de contraste entre  $1/2$  à  $1/12$ , dans l'ensemble des postes de la configuration. A la différence de la configuration 03, la majorité des forts contrastes, ont été enregistrés par rapport à la luminance du fond de la salle et par rapport aux luminances de (panorama/ergorama). Comme dans cette configuration, on n'utilise uniquement que l'éclairage naturel, les contrastes sont plus forts comparés avec les configurations où on a utilisé l'éclairage artificiel, qui a l'avantage d'offrir plus d'uniformité de luminance dans la salle, cela justifie aussi les forts contrastes enregistrés par rapport au mur, car sans l'éclairage artificiel les murs sont très sombres que le reste de la salle, fenêtres, tables, ... on peut déduire que l'éclairage naturel seul peut être une source de très fort contraste dans la salle .

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

### Conclusion

L'objectif principal de ce chapitre a été de mettre en évidence les relations qui existent entre les différentes variations des configurations lumineuses de la salle informatique, leur impact sur les variations subies de chaque poste de travail, le premier paramètre mesuré est le niveau d'éclairage (papiers, claviers et l'éclairage au niveau des yeux), le second est le niveau de contraste et valeurs de luminances, sur le champ visuel. Les résultats expérimentaux de ce chapitre ont montré que :

Par rapport aux niveaux d'éclairage, pour l'activité de lecture papier ou schéma, tous les résultats d'éclairages horizontaux obtenus dans la configuration (01) (celle avec rideaux et éclairage artificiel (ON)) sont en-dessous des normes recommandées, pour cette tâche visuelle le cas d'éclairage enregistré dans les différents postes de la configuration n'a pas atteint les 300 lux. Suivi par la configuration 04, là où il n'y avait que 07 postes avec un éclairage adéquat pour la tâche lecture papier, avec des valeurs d'éclairage enregistrés entre 300 et 500 lux, qui sont les postes (4-A04, 4-A05, 4-A01, 4-C06, 4-B03, 4-C05, 4-B04.). Ensuite les configurations 02 et 03 avec toutes les deux 11 postes sous les normes recommandées, mais on a noté que pour la configuration 03 il y avait une uniformité d'éclairage, car les valeurs d'éclairage obtenues dans cette configuration, ont été toutes rapprochées les unes des autres, avec une seule valeur au-dessous des normes recommandées de 500lux enregistrée dans le poste 2-A04, avec une valeur égale à 585 lux. A l'inverse dans la configuration 03 où les valeurs d'éclairages enregistrées ont été éloignées les unes des autres, avec 09 valeurs au-dessous des 500 lux maximaux recommandés. Car dans cette dernière configuration, on a enregistré une valeur maximale d'éclairage horizontale sur papier de 1000 lux, cela dans les deux postes, 3-C05, 3-C04. Pour le second point, l'éclairage pour l'activité saisie de texte, on a constaté que pour la configuration 01, il n'y avait que 02 postes dans les normes recommandées pour cette activité, qui sont 1-C06, 1-C05, le reste des postes sont au-dessous des 200 Lux. Suivi par la configuration 04 où il n'y avait que 09 postes au-dessous des 200 lux, dont deux postes au-dessous des 300 lux maximaux recommandés, enregistrés dans les postes 4-A04, 4-A05. Pour la configuration 02 il y avait 18 postes avec un éclairage sur clavier supérieure à 200 lux, sur les 18 il y avait 09 postes avec un éclairage supérieur à 300 lux, les valeurs maximales d'éclairage enregistrées dans cette configuration sont de 650 lux, on a constaté qu'il existe une certaine uniformité d'éclairage dans cette configuration, car l'écart enregistré entre les différents postes n'est pas très important, à l'inverse de la configuration 03 où on avait un grand écart d'éclairage sur le clavier entre les postes, dans cette dernière on a enregistré 17 postes



## **Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle**

au-dessous des 200 lux, sur les 17 postes, il y avait 09 postes au-dessus 300 lux maximaux recommandés, la valeur maximale enregistrée dans cette configuration est de 1500 lux enregistrés dans le poste 3-C05.

Par rapport au dernier point qui est la valeur d'éclairement au niveau des yeux des usagers, on a constaté que l'ensemble des résultats recueillis dans toutes les configurations sont inférieurs au seuil critique des 2800 lux, mais toutefois il y a une certaine convergence des résultats obtenus d'éclairement au niveau des yeux, entre les quatre configurations, car on peut subdiviser les données enregistrées dans chacune des configurations en deux parties (groupe de postes) le premier avec un éclairement au niveau des yeux compris entre (75 lux et 150lux) configuration 01 et 04, le second (150 lux et 300 lux) configuration 02 et 03.

### Références

- A.F.E. (2003, 2009). Association d'éclairage française.
- America, I. E. (2000). *Lighting handbook: reference*. Illuminating Engineering.
- Aries, M. B. (2010). Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology*.
- Berrutto, V. (1996). *Métrologie de la qualité visuelle des ambiances lumineuses- Application a l'éclairage des bureaux*.
- Council, U. G. (2007). *LEED for new construction*.
- DAICH, S. (2011). *Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra*. biskra: Université Mohamed Khider Biskra.
- d'éclairage, a. f. (2003, 2009).
- DiLaura, D. L. (2011). *The lighting handbook: Reference and application*. DiLaura, David L and Houser, Kevin W and Mistrick, Richard G and Steffy, Gary R.
- Enrech Xena, C. (1999). *Simulation de la lumière naturelle par des sources artificielles: enjeux architecturaux*.
- Escuyer, S. a. (2001). Lighting controls: a field study of office workers' reactions. *Lighting Research and Technology*.
- Floru, R. a.-C. (1991). Introduction a la psychophysiologie du travail. *Psychologie et psychanalyse*.
- Hua, Y. a. (2011). Effectiveness of daylighting design and occupant visual satisfaction in a LEED Gold laboratory building. *Building and Environment*.
- Kim, W. a. (2009). The position index of a glare source at the borderline between comfort and discomfort (BCD) in the whole visual field. *Building and Environment*.
- Luckiesh, M. a. (1944). *Light, vision and seeing*. D. Van Nostrand company, incorporated.
- Neufert, E. a. (2012). *Architects' data*. John Wiley & Sons.
- Newsham, G. a. (2008). Individual control of electric lighting in a daylit space. *Lighting Research and Technology*.
- Osterhaus, W. K. (1992). *Large area glare sources and their effect on visual discomfort and visual performance at computer workstations*. Industry Applications Society Annual Meeting, 1992., Conference Record of the 1992 IEEE.
- Rea, M. S. (2000). *The IESNA lighting handbook: reference & application*. Illuminating Engineering Society of North America.
- Sutter, Y. a. (2006). The use of shading systems in VDU task offices: A pilot study. *Energy and Buildings*.
- USGBC, L. (2009). *Reference guide for green building design and construction*. Washington, DC: Washington, DC: US Green Building Council.
- Van Den Wymelenberg, K. G. (2014). *Visual comfort, discomfort glare, and occupant fenestration control: developing a research agenda*. Leukos.
- Veitch, J. a. (2007). *Office Lighting Appraisal, Performance, and Well-being: A linked mechanisms map*. Proceedings of the CIE 26th Session, Beijing.

# **Chapitre 07**

## **Introduction**

Dans les deux chapitres (05) et (06) nous n'avons abordé que les aspects quantitatifs de la lumière et les grandeurs photométriques la caractérisant, à l'intérieur de la salle de conception assistée par ordinateur du département d'architecture de Biskra. Sous les quatre diverses configurations lumineuses et dans les 120 postes de travail de la salle. Selon le plan de travail de thèse adopté, cette première partie de la thèse ne se focalise uniquement que sur la partie mesurable des paramètres physiques de la lumière, cette partie nous a permis toutefois de mettre en évidence les indicateurs lumineux les plus pertinents à l'étude, ils nous ont permis de mettre en lumière l'existence de relation (ou non) entre les différents indicateurs. Le plus important aussi c'est qu'à la fin de cette première partie expérimentale composée des chapitres 05 et 06 nous avons pu classer les différents indicateurs de confort lumineux. Un classement qui se base uniquement sur les paramètres physiques. Ce chapitre s'inscrit dans la continuité méthodologique du travail de thèse, dans ce dernier nous allons introduire la variable usager de l'espace salle de classe CAO, c'est à dire nous allons collecter les impressions des usagers durant l'exercice des sept tâches lumineuses demandées : lecture de texte, lecture des dessins (schéma), vision de projection du data show, etc. Pour la collecte des informations relatives aux évaluations lumineuses de la salle ainsi que les usagers, un questionnaire a été développé. Le questionnaire administré aux 120 usagers de la salle (CAO) se divise en quatre grandes parties, la première elle concerne les informations générales sur l'utilisateur : âge, origine, niveau d'enseignement ... etc. La seconde partie vise à évaluer les impressions générales de tout l'espace salle, la troisième partie se base sur l'évaluation des impressions de l'utilisateur dans son propre poste de travail, la dernière partie du questionnaire vise à évaluer le confort visuel lors de l'exercice de l'activité par l'occupant du poste de travail. Après avoir collecté les données résultantes du questionnaire et de l'enquête elles ont été codées avec précision et analysées à l'aide du logiciel (SPSS 24). Un outil qui représente une référence dans le domaine des analyses de données statistique. La méthode d'analyse des données a été subdivisée en trois étapes, la première se résume en l'application de deux tests, un test de fiabilité et un autre test de normalité. Ces tests ont comme objectifs de déterminer en premier lieu la pertinence et la cohérence globale du questionnaire et de vérifier certaines conditions de normalité des variables quantitatives, la seconde étape est l'étude des variations des conditions d'éclairage quantitatives entre les postes et qui a comme objectif de vérifier la corrélation entre les variables. Ce test vise à vérifier les variations des paramètres physiques lumineux mesurées dans différents postes.

### 7.1. Méthode

L'expérimentation s'est déroulée dans une salle de dessin assisté par ordinateur (C.A.O) le plan de la salle est représenté ci-dessous (voir la Figure 7.1) dans le département d'architecture de l'université de Biskra, (voir le chapitre 03)

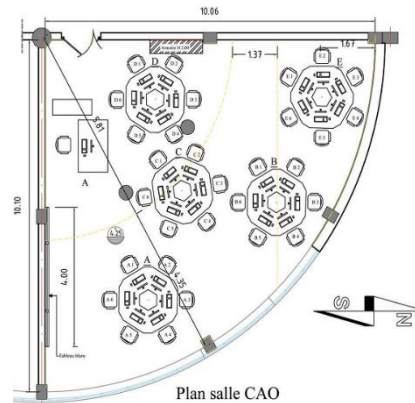


Figure 7.1 : Plan de la salle CAO du département d'architecture

Durant une journée typique du mois de mai, cette dernière est une journée représentative du climat lumineux spécifique de la ville de Biskra (DAICH, 2011). L'enquête consistait à inviter trente étudiants en architecture de différentes options avec un échantillonnage par quotas, à remplir un questionnaire (voir annexe II). En même temps du remplissage du questionnaire, des mesures photométriques ont eu lieu dans la salle (C.A.O), des mesures institut, ces dernières ont été répétées avec l'ensemble des 30 participants de chacune des quatre configurations lumineuses de la salle. La configuration 01 est la configuration avec un rideau foncé (sans apport lumineux externe seulement sous éclairage artificiel), dans la configuration 02 on a utilisé un complément de vitrage semi transparent poreux (avec éclairage artificiel), dans la troisième, il n'y avait aucun complément de vitrage, fenêtre seulement (avec éclairage artificiel) et c'est la configuration actuelle utilisée dans la salle de (CAO). Dans la configuration 04 il n'y avait aucun complément de vitrage "fenêtre ordinaire", mais sans utilisation de l'éclairage artificiel, (éclairage naturel) seulement. (Voir la Figure 7.2)



Figure 7.2 : Trois des quatre configurations lumineuses de la salle CAO

Comme notre objectif principal est d'étudier et d'évaluer la qualité lumineuse et l'ambiance présente à l'intérieur de la salle sous différentes configurations lumineuses, c'est pourquoi durant l'expérimentation, nous avons changé les paramètres physiques lumineux, à l'intérieur de la salle de CAO (niveaux éclairagements, types complément de vitrage, éclairage artificiel, naturel mixte, distribution de luminance, et autres), afin de quantifier l'impact de ces facteurs physiques de la lumière sur les sensations subjectives de l'utilisateur. Le questionnaire remis aux usagers de la salle se compose de trois parties :

Partie 1) Questions sur l'utilisateur.

Partie 2) Questions sur l'impression générale dans la salle CAO

Partie 3) Questions sur la salle en tant que lieu de travail.

On peut subdiviser la dernière partie en six sous-parties, basées selon le type de la tâche visuelle demandée à l'utilisateur dans la salle. Pour chacune des activités, on a demandé aux usagers d'évaluer la qualité lumineuse, l'ambiance, le confort lumineux dans la salle, les différentes activités sont citées ci-dessous :

Partie 3.1. Activité lecture du texte imprimé sur la table.

Partie 3.2. Activité lecture des dessins (schémas imprimés) sur la table.

Partie 3.3. Activité écriture du texte (saisie de texte) sur PC.

Partie 3.4. Activité dessin assisté par ordinateur.

Partie 3.5. Activité vision des projections de data show.

Partie 3.6. Activité vision du tableau blanc.

Par rapport aux mesures des valeurs de luminances, ces dernières ont été recueillies à l'aide d'un appareil photo étalonné (voir le chapitre 04) 1200D canon EOS monté sur un trépied et fixé à une hauteur de 1.20 m. L'appareil a été équipé d'un objectif Sigma (4.5mm f/2.8 EX DC Circular Fisheye HSM) afin de créer des cartes de répartition des luminances à partir des images prises précédemment. Nous avons utilisé des images High Dynamic Range (HDR) qui ont été soigneusement calibrées (voir le chapitre 04). Au total, près de 400 photographies HDR ont été nécessaires pour notre étude. Pour l'activité, la durée totale du questionnaire était d'environ deux heures et demie dans laquelle l'éclairage externe a peu varié (+- 1000 lux), les valeurs d'éclairage aussi ont été étalonnées par rapport à chacun des 120 postes des quatre configurations.

## **7.2. Les participants**

L'échantillonnage des sujets proposés lors de l'enquête était composé de 30 étudiants, un échantillonnage par quotas. L'âge des personnes interrogées était situé entre 23 et 33 ans. La majorité des participants, qui représente 72%, avait 24 à 23 ans. L'échantillonnage était



composé de 75,4% de femmes et 23,7% d'hommes. Selon les données fournies par la scolarité du département d'architecture de Biskra, le pourcentage enregistré entre 2010 et 2016 des étudiants inscrits, est égal à 30 % d'homme et 70 % de femmes. La majorité des sujets qui ont participé à l'enquête n'avait aucune correction visuelle 98%. Les autres portaient des verres de correction 2%. Les statistiques montrent aussi que 65% des étudiants proviennent du même climat lumineux local de la ville de Biskra, le reste 35 % provienne de divers climat lumineux.

### **7.3. L'échelle d'évaluation**

Les sujets ont évalué chacun des 360 positions en utilisant un ensemble d'échelles de notation bipolaire. La côte d'échelles a été sélectionnée soit directement à partir de publications antérieures, soit dimensions décrites dans les chapitres 03 et 04. Les échelles, et les adjectifs à l'extrémité (maximale et minimale) ont été combinés avec les échelles numérotées par paires. En ce qui concerne les paramètres physiques, ils ont été codés sous forme de variables numériques dans le logiciel statistique (SPSS 24).

### **7.4. Procédure de l'analyse des données**

Les données résultantes de l'enquête ont été codées avec précision et analysées à l'aide du logiciel (SPSS 24). Les trois étapes de l'analyse des tendances sont décrites ci-après :

#### **7.4.1. Etape 01 : Les tests de fiabilités et les tests de normalité (phase test)**

Cette première étape a comme objectif de déterminer en premier lieu la pertinence et la cohérence globale du questionnaire, et aussi de vérifier certaines conditions de normalité des variables quantitatives, car cette condition doit être remplie pour l'application de certains tests spécifiques tels que le test de Pearson. Pour cela nous avons proposé deux tests, le premier test est le test alpha de Cronbach ou appelé aussi le test (coefficient  $\alpha$ ), qui est considéré comme un test de fiabilité, il a été utilisé pour évaluer la cohérence globale des questions psychométriques et dichotomiques (items qui ne présentent que deux valeurs possibles) de notre questionnaire. Ce dernier a été aussi utilisé afin de vérifier la cohérence interne entre deux échelles citées précédemment présentes dans notre questionnaire.

Le coefficient ( $\alpha$ ) prend des valeurs comprises entre 0 et 1, les valeurs étant considérées comme "acceptables" à partir de 0,7 (George, 2003). Le second test est un test de normalité des résultats, là on a proposé deux tests qui sont le test de Shapiro-Wilk (S.W) et le test de Kolmogorov-Smirnov (K.S), ces deux tests ont comme but de déterminer si la distribution des observations suit une distribution normale, c'est-à-dire une courbe symétrique ou une distribution asymétrique (anormale), dans le cas où les observations suivent une courbe symétrique la valeur-p obtenue sera inférieure ou égale à 0.05. Le cas échéant, on peut utiliser Pearson afin de vérifier la relation entre les variables qualitatives. Si la valeur-p est supérieur à 0.05 alors

le test Pearson n'est pas applicable et la distribution des observations entre les variables n'est pas normale.

#### **7.4.2. Etape 02 : étude des variations des conditions d'éclairage quantitatives entre les postes**

Après avoir vérifié l'hypothèse de la normalité grâce aux tests de Shapiro-Wilk (S.W) et de Kolmogorov-Smirnov (K.S), pour chacune des variables quantitatives de l'éclairage, éclairement sur papier, éclairement au niveau des yeux des sujets, luminances du fond, etc. Une fois que la condition de l'application du test de Pearson a été remplie, ce dernier a été appliqué entre toutes les variables quantitatives photométriques afin de vérifier la corrélation entre ces variables. L'application de ce test nous a aussi permis de vérifier si les variations des paramètres physiques lumineux mesurés dans les différents postes de la même configuration et dans les différentes configurations ont été des variations significatives, qui ont couvert l'ensemble de la plage d'éclairage et de luminance pour créer différentes sensations (différents types de stimuli) chez les usagers de l'espace. Ou plutôt ces changements ont été limités, c'est à dire qu'ils couvrent juste une partie ou qu'ils ne se concentrent que dans une partie de la gamme de variation de luminances ou d'éclairements enregistrés. Ce qui crée des sensations identiques (similaires) chez les sujets. Et ce qui risque de fausser l'expérimentation car d'après les recherches précédentes comme celles de Flynn, les variations des conditions d'éclairage et les évaluations des sujets entre différents scénarios donne des résultats plus pertinents, et Flynn souligne aussi qu'il est très important de changer la lumière de manière significative pour mieux comprendre son impact sur les sujets d'étude (stimulus-réponse).

#### **7.4.3. Etape 03 : étude des corrélations des variables qualitatif d'éclairage 'carte factorielle' (test de Pearson)**

Une fois que toutes les conditions d'application du test de Pearson ont été vérifiées, nous avons procédé à ce test pour vérifier les relations entre les variables qualitatives, durant l'évaluation de l'impression générale dans la salle (CAO), et durant l'exercice des activités suivantes : lecture du texte sur la table, lecture des dessins (schémas) sur la table, écriture de texte sur PC (écran), dessin assisté par ordinateur (écran), la vision des projections de data show, vision du tableau blanc. A la suite de ce test, nous allons ressortir avec des cartes factorielles, qui représentent l'éventuelle liaison entre variables sous forme graphique et qui représente aussi le degré de corrélation entre ces variables sous forme de tableaux. Nous allons considérer que les variables sont corrélées significativement, si on a une valeur-p obtenue inférieure ou égale à 0.05. (5%)

## 7.5. L'analyse des données

### 7.5.1. Les tests de fiabilités des questions et de normalité des données

#### 7.5.1.1. Test alpha de Cronbach

Afin de vérifier la pertinence et la cohérence globale des questions psychométriques, dichotomiques, et aussi des questions quantitatives recodées en questions ordinales qualitatives pour des besoins de tests spécifiques, nous avons procédé au test alpha de Cronbach, les résultats obtenus de ce test pour les différents types de questions sont exposés dans les tableaux ci-dessous :

*Tableau 7.1 : Test de fiabilité des questions recodées*

Statistiques de fiabilité	
Alpha de Cronbach	Nombre d'éléments
,970	42

*Tableau 01 : Test de fiabilité des questions psychométriques*

Statistiques de fiabilité	
Alpha de Cronbach	Nombre d'éléments
,701	10

*Tableau 02 : Test de fiabilité des questions dichotomiques*

Statistiques de fiabilité	
Alpha de Cronbach	Nombre d'éléments
,714	13

Les résultats obtenus avec test Cronbach, sont compris entre 0.71 pour les questions dichotomiques, à 0.97 psychométriques, ce qui est un score très satisfaisant, car comme tous les résultats obtenus pour ce test sont supérieurs à la valeur de 0.7 ont affirmé que le questionnaire admis au sujet a un très bon indice de cohérence globale des questions, et que les résultats de l'analyse statistique des questions seront très fiables pour notre étude.

#### 7.5.1.2. Test normalité des données

Avants de procéder aux tests de normalité nous avons tracé les histogrammes qui représentent les fréquences des données, et afin de vérifier l'hypothèse de la normalité de la distribution des résultats nous avons proposé deux tests de Shapiro-Wilk (S.W) et le test de Kolmogorov-Smirnov (K.S), ces deux tests ont comme but de déterminer si la distribution des observations suit une distribution normale c'est à dire une courbe symétrique ou une distribution asymétrique

anormale pour toutes les variables numériques. Les résultats obtenus des histogrammes des fréquences sont présentés ci-dessous :

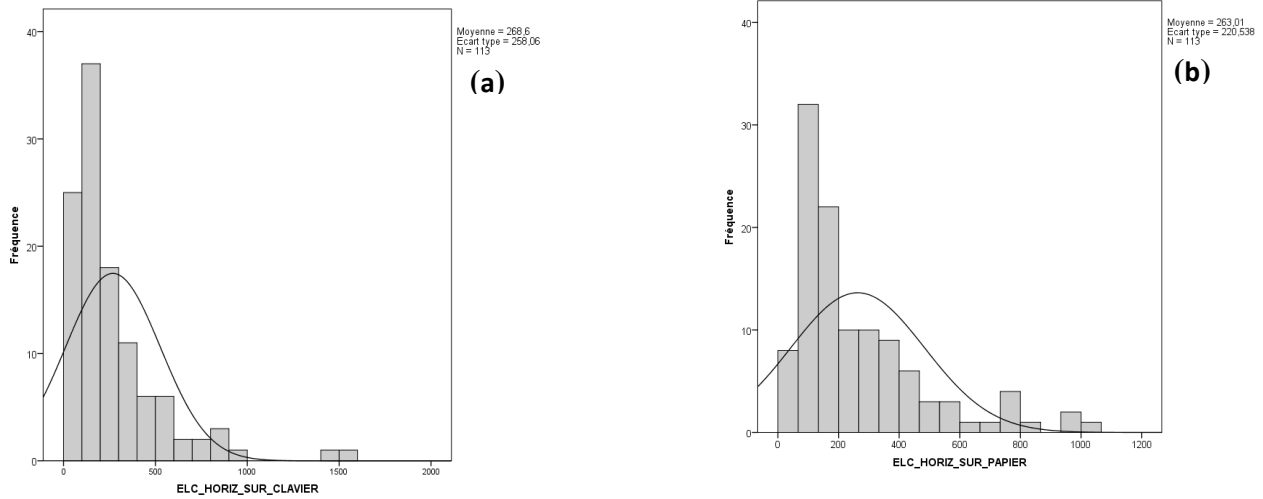


Figure 7.3 : a (à gauche) test de fréquences pour la variable éclairement sur le clavier; b (à droite) test de fréquences pour la variable éclairement sur le papier (Source : Auteur)

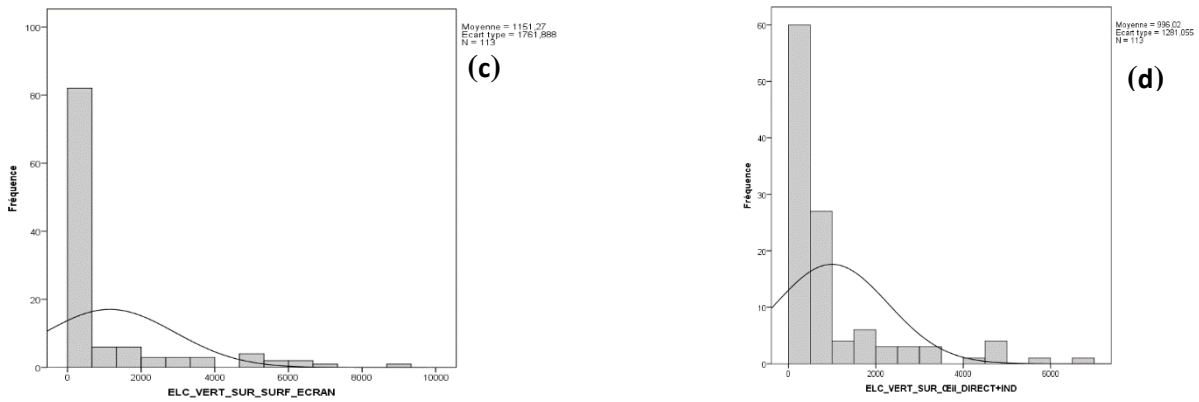


Figure 7.4 : c (à gauche) test de fréquences pour la variable éclairement sur l'écran ; d (à droite) test de fréquences pour la variable éclairement globale reçue au niveau des yeux

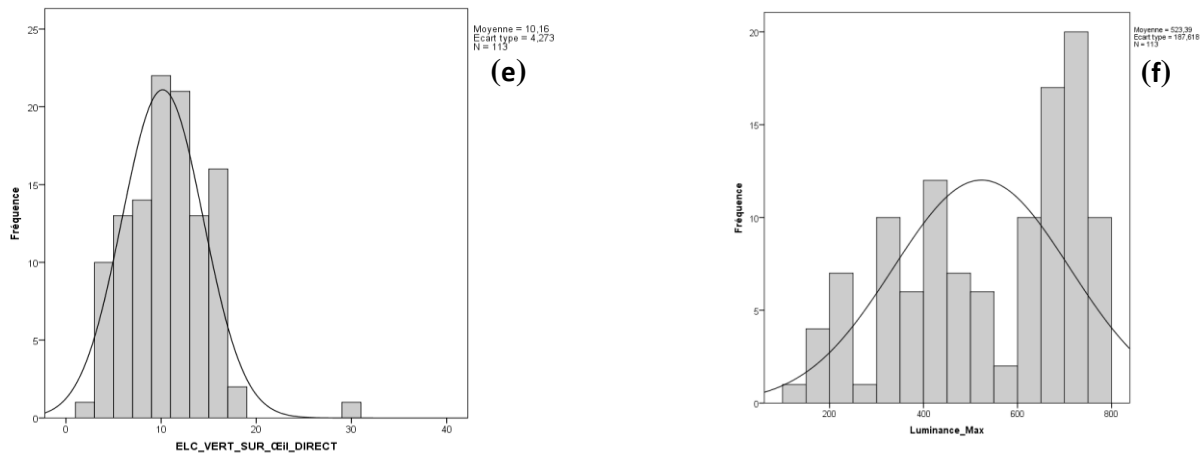


Figure 7.5 : e (à gauche) gauche test de fréquences pour la variable éclairement direct reçue au niveau des yeux ; f (à droite) test de fréquences pour la variable luminance maximale

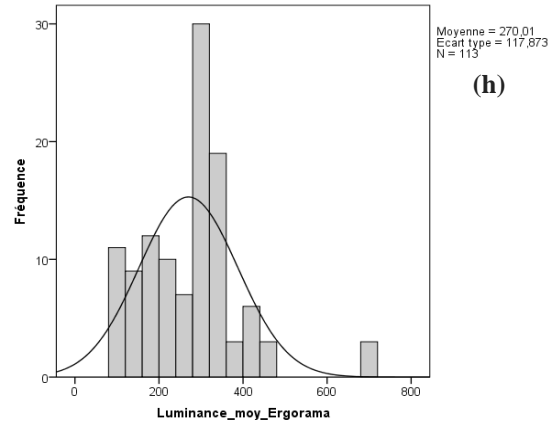
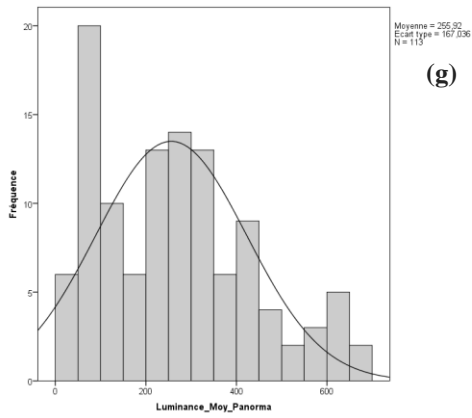


Figure 7.6 : g (à gauche) test de fréquences pour la variable luminances moyenne panorama ; h (à droite) test de fréquences de la variable luminances moyenne ergorama.

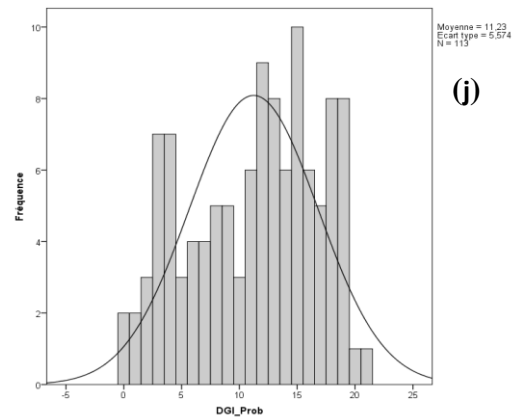
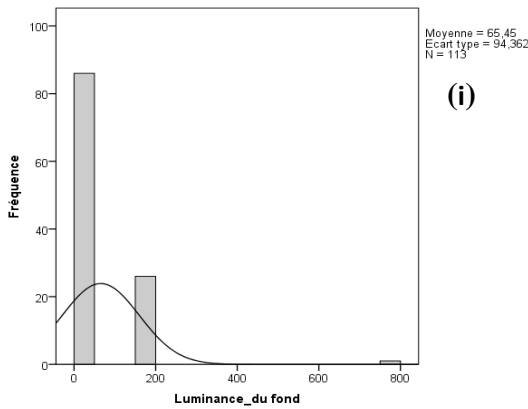


Figure 7.7 : i (à gauche) test de fréquences pour la variable luminances du fond ; j (à droite) test de fréquences pour la variable 'DGI-P'

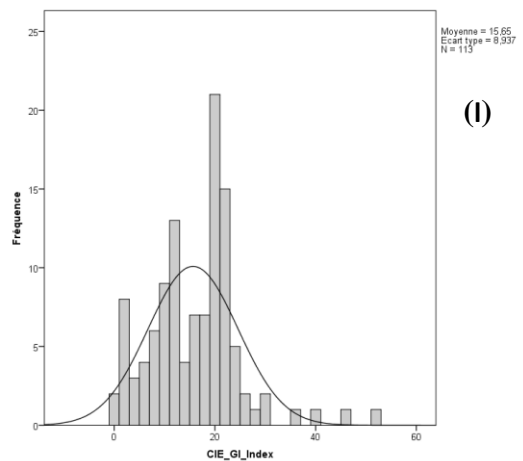
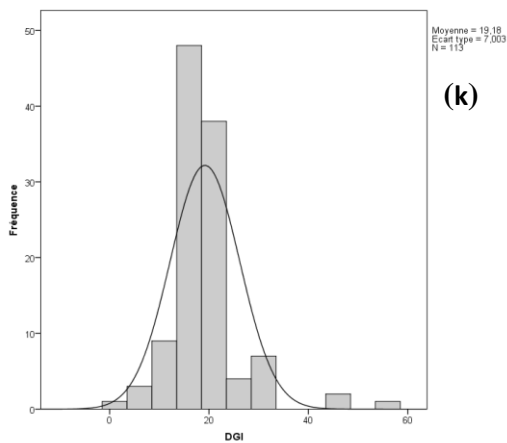


Figure 7.8 : k (à gauche) test de fréquences pour la variable 'DGI' ; l (à droite) test de fréquences pour la variable 'CIE-GI\_Index'.

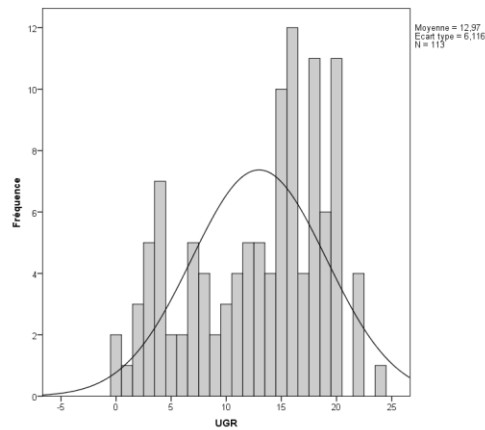


Figure 7.9 : Test de fréquences pour la variable ‘UGR’

Le tableau ci-dessous synthétise les valeurs des tests de Shapiro-Wilk et de Kolmogorov-Smirnov obtenues pour les valeurs numériques (mesures de paramètres physiques) :

Tableau 7.2 : Résultats du test de normalité Shapiro-Wilk et de Kolmogorov-Smirnov, réalisé sur des données des 13 variables

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
	Statistiques	ddl	Sig.	Statistiques	ddl	Sig.
1. Eclairage horizontal sur clavier	,192	113	,000	,741	113	,000
2. Eclairage horizontal sur papier	,176	113	,000	,818	113	,000
3. Eclairage vertical reçu sur l'écran	,338	113	,000	,624	113	,000
4. Eclairage vertical global reçu au niveau des yeux + Indirect	,282	113	,000	,634	113	,000
5. Eclairage direct vertical reçu au niveau des yeux	,067	113	,200	,943	113	,000
6. Luminance_Max	,166	113	,000	,917	113	,000
7. Luminance_Moy_Panorama	,093	113	,005	,935	113	,000
8. Luminance_moy_Ergorama	,116	113	,001	,910	113	,000
9. Luminance_du_fond	,375	113	,000	,501	113	,000
10. Indice DGI_Prob	,104	113	,005	,951	113	,000
11. Indice CIE_GI_Index	,115	113	,001	,935	113	,000
12. Indice DGI	,241	113	,000	,793	113	,000
13. Indice UGR	,152	113	,000	,936	113	,000

Smirnov a ressorti une variable sur 13 variables avec des p-valeurs supérieure à 0.05, qui est la variable (éclairage direct vertical reçu au niveau des yeux), ce qui veut dire que les données



numériques mesurées de cette variable ne suivent par une distribution normale, et que les corrélations formulées à base de cette variable peuvent être erronées. D'après les travaux de (Altman, 1995) on peut dire que le second test, celui de Kolmogorov-Smirnov a montré une nette performance, supérieure à celle de Shapiro-Wilk dans les cas l'échantillonnage où les sujets observés ont été supérieurs à 100, comme nous avons un échantillonnage de (N = 113). Nous allons baser notre étude sur les résultats fournis par le test de Kolmogorov-Smirnov. Donc la variable (Eclairement direct vertical reçu au niveau des yeux), ne va pas être utilisée dans les différentes analyses dans le reste de notre étude, pour une meilleure pertinence des résultats.

### 7.5.2. Etude des variations des conditions d'éclairage

Le but de cette étude est de vérifier le taux de variations des paramètres physiques d'éclairage dans les quatre configurations, c'est à dire de vérifier si les variations des conditions d'éclairage lors de l'expérimentation ont été assez importantes pour couvrir une grande plage d'éclairages et de luminances, pour créer des sensations différentes chez l'utilisateur ou pas et surtout d'éliminer les variables qui n'ont pas de variation importantes car elles peuvent induire en erreur les résultats. Car d'après les résultats de la recherche antécédente, il a été démontré qu'il est très important de changer les conditions d'éclairage de manière significative pour mieux quantifier leur impact sur les usagers de l'espace d'étude.

Afin de réaliser cette vérification nous avons croisé les variables quantitatives avec les postes des quatre configurations, les croisements ont été limités à douze variables (voir le test de normalité des données) et par la suite nous allons examiner les plages de changement, les résultats sont exposés ci-dessous :

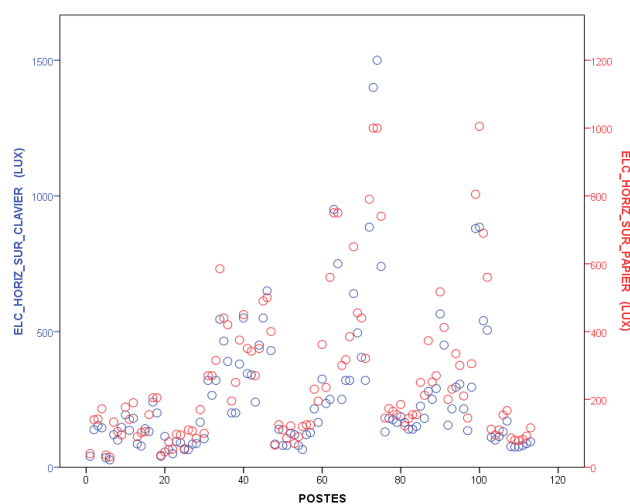


Figure 7.10 : Nuage de points qui représente l'éclairage (papiers / claviers) mesurés dans les postes des 4 configurations

D'après les résultats du nuage de points obtenus plus haut on peut dire que l'éclairage sur le clavier a varié de 0 à 1500 lux, l'éclairage sur papier a varié entre 0 à 1000 lux, cela dans les 113 postes des quatre configurations, vu les variations obtenues, on peut dire les changements des conditions d'éclairage ont été significatifs pour ces variables.

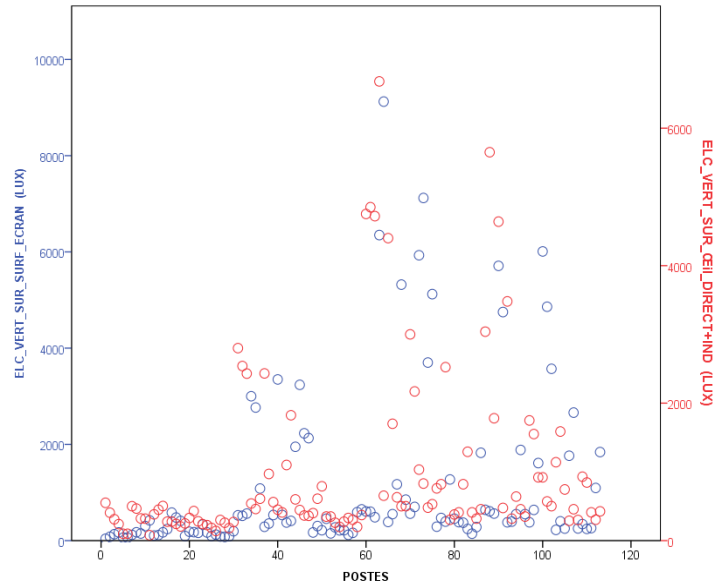


Figure 7.11: Nuage de points qui représente l'éclairage (Ecran / aux niveaux des yeux) mesurés dans les postes des 4 configurations.

On peut constater que les résultats enregistrés de l'éclairage vertical reçu sur les écrans ont varié de la valeur 0 à une valeur de 900 lux, en outre les valeurs de l'éclairage global reçu au niveau des yeux des sujets ont varié de 0 à plus de 6000 lux, ces résultats traduisent une variation très significative des deux variables dans 113 postes des quatre configurations.

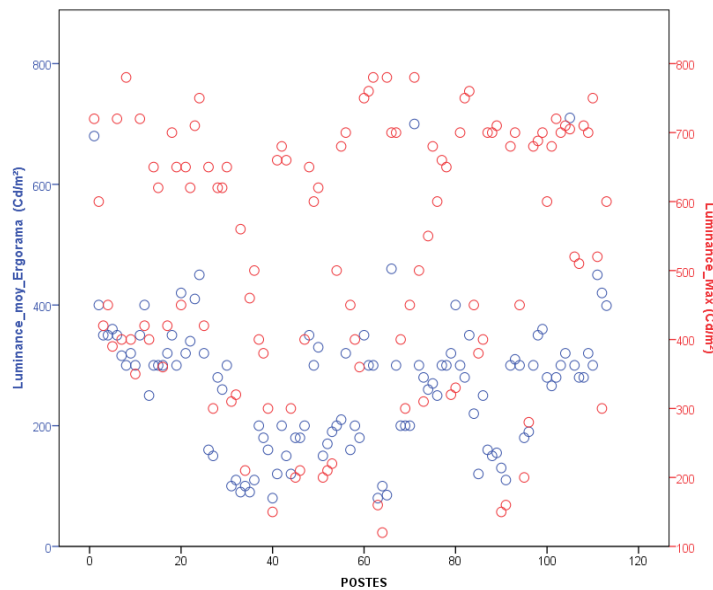


Figure 7.12 : Nuage de points qui représente les luminances (Ergorama/ Maximale) mesurés dans les postes des 4 configurations

D'après les résultats obtenus, on peut dire que les valeurs de luminances moyenne de l'ergorama et les luminances maximales enregistrées dans les 04 configurations ont varié de manière très significative, car la totalité des valeurs enregistrées pour les deux variables citées précédemment son comprises dans un intervalle compris entre 0 à 800 cd/m<sup>2</sup>. Il est à noter qu'on n'a pas testé la variance de la luminance moyenne du fond, car celle-ci fait partie intégrante de l'ergorama.

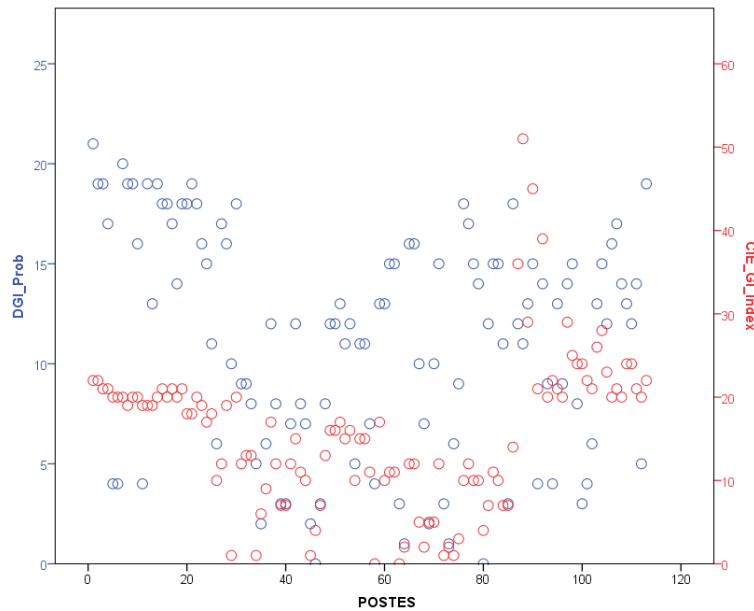


Figure 7.13 : Nuage de points qui représente les résultats des index (DGI / CIE\_GI) mesurés dans les postes des 4 configurations.

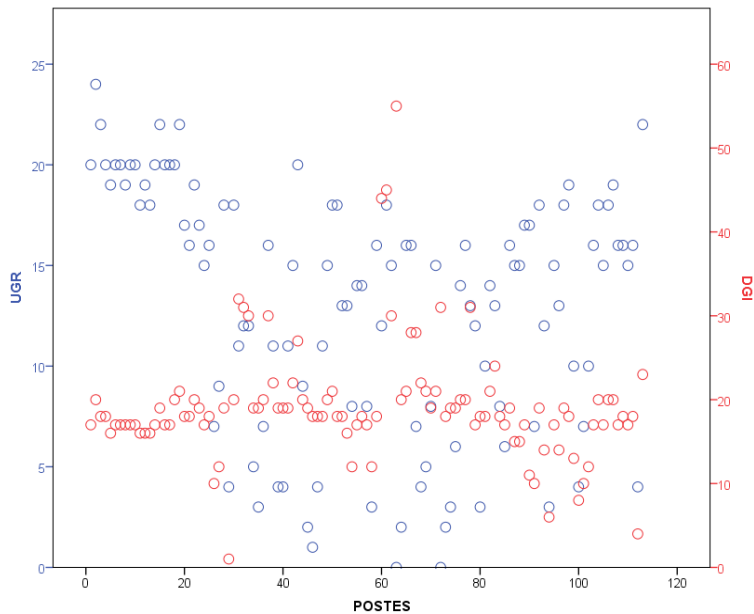


Figure 7.14 : Nuage de points qui représente les résultats des index (UGR / DGI) mesurés dans les postes des 4 configurations

Vu les résultats obtenus du nuage de points des variables d'indices d'éblouissement, on peut dire que les deux variables (DGI et CIE\_GI) ont varié de manière très importante, car ils ont couvert la totalité de l'échelle d'évaluation de 0 à 60. Par contre les variables UGR et DGI\_P on varié mais pas au point de couvrir l'ensemble de l'échelle de l'évaluation de ces indices car les variations ont été comprises entre 0 à 30. Cette divergence expliquée par la formule de calcul des indices d'éblouissement principalement, mais une étude comparative plus approfondie (croisement des données) entre les variables d'indice s'impose pour mieux comprendre le phénomène. De manière générale, on peut dire que les variations des indices d'éblouissement ont été significatives pour l'ensemble des quatre indicateurs.

### 7.6. Etude des corrélations entre les variables qualitatives d'éclairage (analyse factorielle)

L'objectif principal de ce test est de mettre en lumière les corrélations qui existent entre différentes variables qualitatives (sombre, confortable...), et aussi de déterminer non seulement leurs relations mais aussi le degré de corrélations, entre les différentes tâches demandées au sujet lors du questionnaire (l'expérimentation).

#### 7.6.1. Corrélations des variables d'impression générale dans la salle CAO

D'après les résultats d'analyse factorielle pour l'évaluation des corrélations entre les variables qualitatives, nous avons obtenu le tableau suivant :

Tableau 7.3: Résultats de l'analyse factorielle, réalisés aux données d'impression générale dans la salle C.A.O

		Matrice de corrélation			
		Brillante; Sombre	Ennuyeuse; Stimulante	Artificiel; Naturelle	Gênante; Confortable
Corrélation	Brillante;Sombre	1,000	,044	-,388	-,265
	Ennuyeuse;Stimulante	,044	1,000	,122	,548
	Artificiel;Naturelle	-,388	,122	1,000	,287
	Gênante;Confortable	-,265	,548	,287	1,000
Signification (unilatéral)	Brillante;Sombre		,390	,006	,045
	Ennuyeuse;Stimulante	,390		,221	,000
	Artificiel;Naturelle	,006	,221		,032
	Gênante;Confortable	,045	,000	,032	

D'après les résultats du tableau de l'analyse appliquée aux quatre variables qualitatives (brillante, ennuyeuse, artificielle, gênante) on peut dire que la variable confort visuel dans la salle est corrélée de manière très forte et significative avec la variable 'Stimulante', car la p-valeur entre ces variables est inférieure à 0.05 et la corrélation est positive entre ces deux variables. On peut aussi constater qu'il y a une relation entre la variable brillance et la variable artificielle, mais elle n'est pas significative et ces dernières sont corrélées négativement. Afin de résumer les résultats obtenus de l'analyse factorielle pour l'évaluation de l'impression générale dans la salle, on peut dire que plus l'ambiance est stimulante plus cette dernière est

confortable, la figure ci-dessous résume de manière plus détaillée et graphique la corrélation des résultats obtenus :

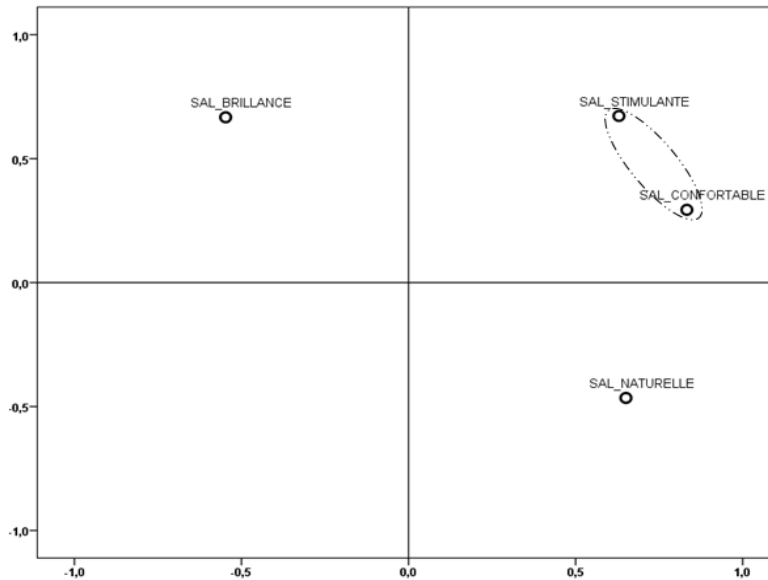


Figure 7.15 : Représentation de la carte factorielle des variables d'impression générale dans la salle CAO

Afin de mieux comprendre les impacts de la présence de l'éblouissement sur le champ visuel sur l'impression générale de la salle de CAO, nous avons refait la même analyse factorielle avec les mêmes variables citées précédemment mais avec un contrôle des données de la question : Existe-t-il une gêne due à la présence lumière dans la salle informatique ? (Avec existence de gêne). Les résultats de la nouvelle analyse factorielle obtenus son représentés ci-dessous :

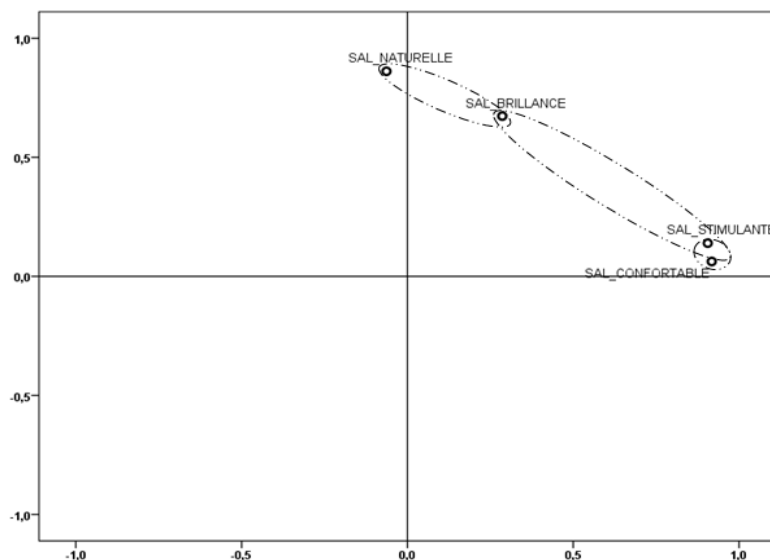


Figure 7.16 : Représentation de la carte factorielle des variables d'impression générale dans la salle CAO avec le contrôle de la variable éblouissement

Après avoir contrôlé la variable éblouissement dans la salle, on a constaté un changement dans les corrélations entre les variables d'éclairage et la création d'une nouvelle corrélation significative entre le confort et la brillance dans la salle. Cette corrélation est négative, le contrôle de la variable éblouissement nous a aussi permis de constater une hausse significative de la corrélation entre le 'confort' et la variable 'stimulante' et une diminution de la relation entre le confort et la variable 'naturel'. On peut conclure que l'existence d'éblouissement sur le champ visuel de l'utilisateur de la salle, affecte la relation entre les variables qualitatives du confort, et plus la brillance augmente plus l'utilisateur va se sentir dans une salle éclairée artificiellement et plus ce n'est pas très stimulant et plus c'est inconfortable pour l'utilisateur (variables corrélées négativement).

### 7.6.2. Corrélations des variables tâche lecture du texte sur la table

Afin d'évaluer et d'étudier les corrélations entre les variables qualitatives pour la première activité nous avons procédé à une analyse factorielle pour les huit variables, les résultats sont représentés dans tableau suivant :

Tableau 7.4 : Résultats de l'analyse factorielle, des variables de la tâche lecture du texte.

		Matrice de corrélation							
		Artificiel; Naturelle	Monotone; Attirent	Eblouissant; Confortable	Non Approprié; Approprié	Désagréable; Agréable	Floue;Nette	Pas bien définie;Bien définie	Sombre; Brillante
Corrélation	Artificiel;Naturelle	1,000	,249	-,160	-,054	-,151	-,096	-,162	,219
	Monotone;Attirent	,249	1,000	-,156	,022	,045	-,067	,102	,000
	Eblouissant;Confortable	-,160	-,156	1,000	,650	,642	,302	,618	,101
	Non Approprié;Approprié	-,054	,022	,650	1,000	,863	,721	,822	,472
	Désagréable;Agréable	-,151	,045	,642	,863	1,000	,565	,851	,412
	Floue;Nette	-,096	-,067	,302	,721	,565	1,000	,628	,464
	Pas bien définie;Bien définie	-,162	,102	,618	,822	,851	,628	1,000	,291
	Sombre;Brillante	,219	,000	,101	,472	,412	,464	,291	1,000
Signification (unilatéral)	Artificiel;Naturelle		,097	,204	,391	,217	,310	,201	,126
	Monotone;Attirent	,097		,209	,454	,408	,365	,300	,500
	Eblouissant;Confortable	,204	,209		,000	,000	,056	,000	,301
	Non Approprié;Approprié	,391	,454	,000		,000	,000	,000	,005
	Désagréable;Agréable	,217	,408	,000	,000		,001	,000	,013
	Floue;Nette	,310	,365	,056	,000	,001		,000	,006
	Pas bien définie;Bien définie	,201	,300	,000	,000	,000	,000		,063
	Sombre;Brillante	,126	,500	,301	,005	,013	,006	,063	

D'après les résultats du test, on constate que pour l'activité lecture du texte sur la table, dans la salle de CAO l'ensemble des six variables testées est corrélé de manière très significatives, et vu les résultats du tableau, on remarque qu'il existe deux groupes de variables, le premier c'est



les variables qui n'ont aucune corrélation significative, il s'agit des variables 'Artificiel' et 'Monotone', elles se démarquent du reste du groupe de variables. Le second groupe comprend les variables qui ont des corrélations significatives avec le reste des variables. On peut subdiviser ce dernier groupe en trois classes, où chaque classe est définie par le nombre de corrélations significatives que contient le groupe des variables contenues dans cette classe. En procédant ainsi, nous avons pu déterminer trois types de classes. Dans la première, il y a seulement la variable 'sombre' celle-ci n'a qu'une seule corrélation significative avec la variable 'non appropriée', la deuxième classe contient trois variables 'éblouissement', 'désagréable', 'floue', chacune des trois variables a trois corrélations significatives, ce qui traduit une grande liaison entre ces variables. La dernière classe de variables regroupe les variables qui ont quatre corrélations significatives, le cas des deux variables : 'pas bien définie', 'non appropriée', ces deux variables ont des liaisons très importantes avec le reste des variables. Ce qui veut dire que l'évaluation des sujets pour la tâche lecture du texte a été principalement traduite et affectée par ces deux dernières variables. Il est aussi important de souligner que toutes les variables citées précédemment sont corrélées entre elles positivement. Ce qui veut dire que l'augmentation de l'une entraîne l'augmentation de l'autre, la figure ci-dessous résume de manière plus détaillée la corrélation des résultats obtenus :

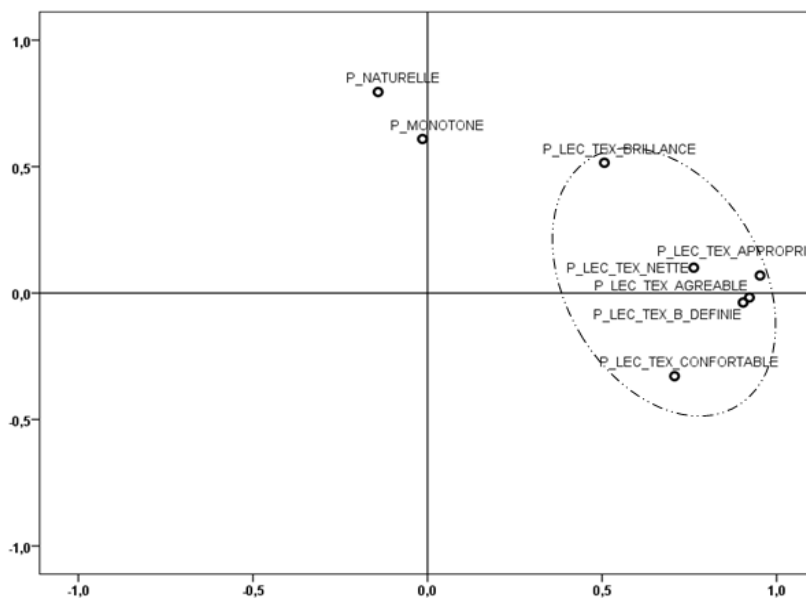


Figure 7.17: Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche lecture du texte

Pour comprendre l'effet de la variable existence de l'éblouissement sur le champ visuel de l'utilisateur, sur les huit variables citées plus haut, nous avons contrôlé les données de la question : Existe-t-il une gêne due à la présence de lumière dans la salle informatique ? (Avec gêne due à la présence de la gêne visuelle). Les résultats obtenus sont représentés ci-dessous :

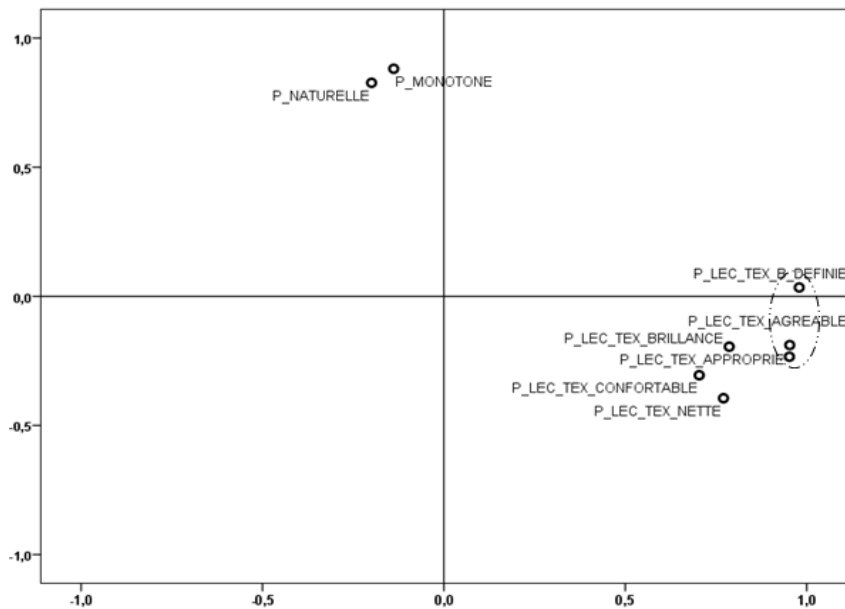


Figure 7.18 : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche lecture du texte avec le contrôle de la variable éblouissement du texte sur la table

D’après les résultats obtenus du contrôle de la variable présence d’éblouissement dans la salle, on peut dire que ce dernier affecte directement les corrélations entre les variables de la tâche lecture texte, car à la différence de la première carte factorielle, celle-ci ne contient que trois variables avec des corrélations significatives qui sont les variables ‘pas bien définie’ ‘désagréable’ ‘non appropriée’. On peut dire donc que l’éblouissement dans la tâche lecture du texte est exprimée principalement par les trois variables : ‘pas bien définie’ ‘désagréable’ ‘non appropriée’, et la corrélation entre ces variables est une corrélation positive. Les autres variables testées ne sont pas corrélées significatives lors de la présence de l’éblouissement sur le champ visuel.

### 7.6.3. Corrélations des variables tâche lecture des dessins (ou schémas) sur la table

Afin d’évaluer les corrélations entre les variables qualitatives pour la seconde tâche visuelle, nous avons procédé à une analyse factorielle et les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7.5 : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche lecture de dessins sur table (schémas)

**Matrice de corrélation**

	Eblouissant; Confortable	Non Approprié; Approprié	Désagréable; Agréable	Floue; Nette	Pas bien définie; Bien définie	Sombre; Brillante	Artificiel; Naturelle	Monotone; Attirent
Corrélation								
Eblouissant; Confortable	1,000	,682	,663	,364	,476	,209	-,285	-,072
Non Approprié; Approprié	,682	1,000	,917	,410	,745	,309	-,058	,145
Désagréable; Agréable	,663	,917	1,000	,374	,768	,312	-,117	,170
Floue; Nette	,364	,410	,374	1,000	,669	,032	-,286	,091
Pas bien définie; Bien définie	,476	,745	,768	,669	1,000	,188	-,102	,182
Sombre; Brillante	,209	,309	,312	,032	,188	1,000	,231	,118
Artificiel; Naturelle	-,285	-,058	-,117	-,286	-,102	,231	1,000	,041
Monotone; Attirent	-,072	,145	,170	,091	,182	,118	,041	1,000
Signification (unilatéral)								
Eblouissant; Confortable		,000	,000	,040	,009	,164	,089	,370
Non Approprié; Approprié	,000		,000	,023	,000	,071	,393	,249
Désagréable; Agréable	,000	,000		,036	,000	,069	,292	,214
Floue; Nette	,040	,023	,036		,000	,442	,088	,337
Pas bien définie; Bien définie	,009	,000	,000	,000		,190	,318	,197
Sombre; Brillante	,164	,071	,069	,442	,190		,139	,292
Artificiel; Naturelle	,089	,393	,292	,088	,318	,139		,425
Monotone; Attirent	,370	,249	,214	,337	,197	,292	,425	

D'après la matrice de corrélation représentée dans le tableau au-dessus, on peut dire que l'ensemble des variables de la tâche lecture de dessin sur la table ne sont pas aussi corrélées que pour la tâche lecture de texte. On remarque aussi que les variables 'Artificiel' 'Monotone' 'Eblouissant' 'Floue' et 'sombre' ne sont corrélées significativement avec aucune autre variable, pour le reste des variables 'non appropriée' 'désagréable' et 'pas bien définie', il n'y a que deux corrélations significatives. Donc pour évaluer la sensation des usagers dans l'activité lecture de dessins sur table, on ne peut se baser que sur ces trois variables, les résultats de l'analyse factorielle sont présentés ci-dessous :

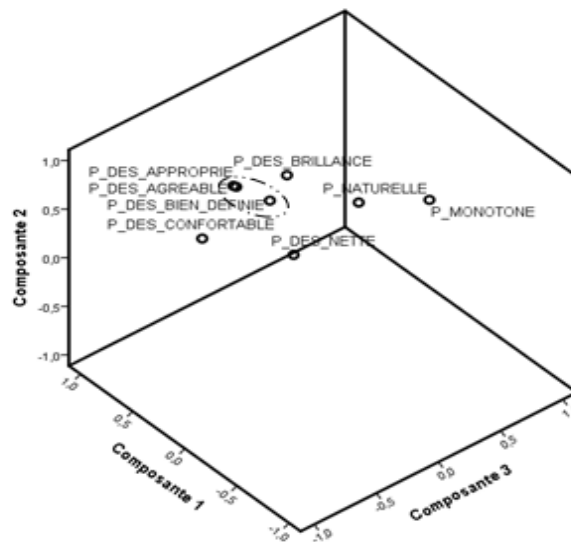


Figure 7.19 : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche lecture de dessins sur table (schémas)

Pour comprendre l'effet de la variable présence d'éblouissement sur le champ visuel de l'utilisateur, nous avons contrôlé les données de la question : Existe-t-il une gêne due à la présence de lumière dans la salle informatique ? Les résultats obtenus sont exprimés sous forme graphique représentée ci-dessous :

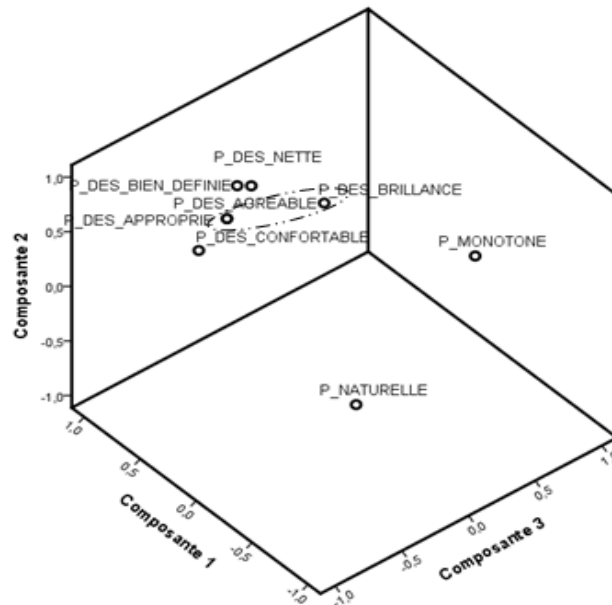


Figure 7.20 : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche lecture de dessins sur table avec le contrôle de la variable éblouissement

Les résultats obtenus après le contrôle de la variable présence d'éblouissement sur le champ visuel des usages lors de l'activité lecture de dessins sur table, on peut distinguer deux groupes de variables, le premier groupe est composé de 06 variables qui ne sont pas corrélées significativement entre elles et qui n'ont aucune corrélation avec les autres variables. Le second groupe est composé de deux variables qui sont corrélées significatives entre elles 'non appropriée' 'désagréable'. Ces deux dernières vont nous servir comme support pour l'étude d'éblouissement de la tâche lecture de dessins sur table.

#### 7.6.4. Corrélations des variables tâche saisie du texte sur PC (écran)

Dans le but d'évaluer les corrélations entre les variables qualitatives pour la troisième tâche, nous avons procédé à une analyse factorielle et les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7.6: Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche saisie du texte sur Pc (schémas).

**Matrice de corrélation**

		Eblouissant; Confortable	Non Approprié; Approprié	Désagréable; Agréable	Floue;Nette	Pas bien définie;Bien définie	Artificiel; Naturelle	Monotone; Attirent
Corrélation	Eblouissant;Confortable	1,000	,751	,732	,292	,455	,194	,221
	Non Approprié;Approprié	,751	1,000	,816	,471	,643	-,026	,263
	Désagréable;Agréable	,732	,816	1,000	,312	,733	-,027	,157
	Floue;Nette	,292	,471	,312	1,000	,604	-,458	-,016
	Pas bien définie;Bien définie	,455	,643	,733	,604	1,000	-,397	,033
	Artificiel;Naturelle	,194	-,026	-,027	-,458	-,397	1,000	,066
	Monotone;Attirent	,221	,263	,157	-,016	,033	,066	1,000
Signification (unilatéral)	Eblouissant;Confortable		,000	,000	,042	,003	,128	,097
	Non Approprié;Approprié	,000		,000	,002	,000	,439	,060
	Désagréable;Agréable	,000	,000		,032	,000	,439	,180
	Floue;Nette	,042	,002	,032		,000	,002	,463
	Pas bien définie;Bien définie	,003	,000	,000	,000		,008	,425
	Artificiel;Naturelle	,128	,439	,439	,002	,008		,352
	Monotone;Attirent	,097	,060	,180	,463	,425	,352	

Les résultats obtenus nous indiquent l'existence de corrélations très importantes entre les variables testées, plus importantes que pour les deux premières activités, ce qui traduit une cohésion importante des variables. Il n'y a qu'une seule variable qui n'a pas de corrélation significative avec les autres, c'est la variable 'attirant'. Mais pour le reste des variables, elles ont toutes des corrélations significatives, qu'on peut classer par classe de variables selon le nombre de corrélations suivant : dans la première classe, il y a la variable 'naturel' avec une seule corrélation significative. La seconde classe contient trois variables, qui sont 'confort', 'agréable' et 'nette'. Ces dernières ont toutes trois corrélations significatives avec les autres variables. Dans la dernière classe de variables significatives, on trouve les deux variables 'appropriée' et 'bien définie'. Ces variables sont corrélées avec les autres, car chacune de ces variables a quatre corrélations significatives avec l'ensemble des autres variables, on peut dire donc que l'ensemble des trois classes de variables significatives sont représentatives des sensations approuvées par les usagers de la salle C.A.O, lors de la saisie de texte, mais la classe deux et trois sont plus pertinentes pour notre étude. Les résultats obtenus sont présentés graphiquement ci-dessous :

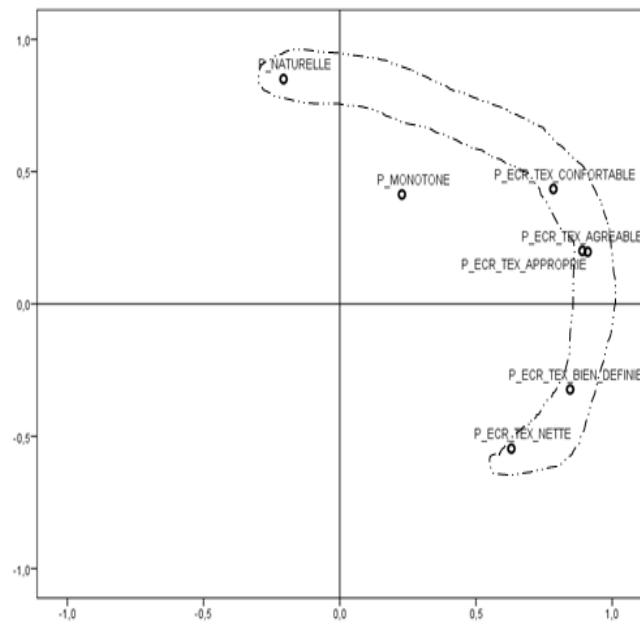


Figure 7.21 : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche saisie du texte sur Pc

Afin d'étudier l'effet de la variable existence de l'éblouissement sur le champ visuel sur la sensation de l'utilisateur, nous avons contrôlé les données de la question : Existe-t-il une gêne due à la présence de lumière dans la salle informatique ? La première constatation est que de manière globale, les résultats obtenus indiquent que les variables ne sont plus aussi bien corrélées, que lors de la présence de l'éblouissement, et qu'il existe deux sous-ensembles de variables, le premier est celui des variables qui ne sont pas corrélées avec d'autres variables (significativement), le cas des trois variables 'éblouissement' 'floue' et 'monotone'. Le second ensemble est celui des variables corrélées significativement et qu'on peut diviser à leur tour en deux classes, la première classe comprend les deux variables 'non appropriée' et 'Artificielle'. Ces dernières ont toutes les deux une seule corrélation significative, dans la seconde classe, les variables 'désagréable' et 'pas bien définies' avec chacune deux corrélations significatives, on peut dire que la présence de l'éblouissement sur le champ visuel affecte de façon très importante la corrélation entre variables significatives et ainsi la sensation des utilisateurs lors de la saisie de texte sur clavier, la figure ci-dessous représente les résultats obtenus sous format graphique :



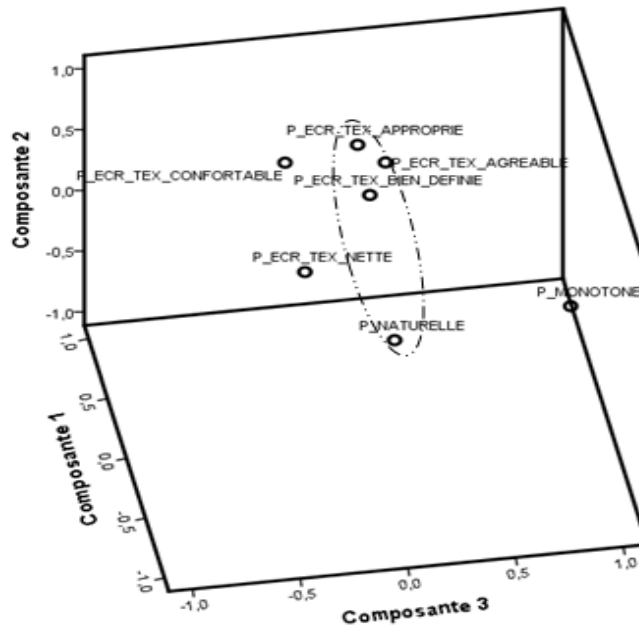


Figure 7.22 : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche saisie du texte sur PC avec le contrôle de la variable éblouissements

### 7.6.5. Corrélations des variables tâche dessin assisté par ordinateur

Dans le but d'évaluer les corrélations entre les variables qualitatives pour la quatrième tâche, nous avons procédé à une analyse factorielle et les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7.7 : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche dessin assisté par ordinateur

**Matrice de corrélation**

		Artificiel; Naturelle	Monotone; Attirent	Eblouissant; Confortable	Non Approprié; Approprié	Désagréable; Agréable	Floue;Nette	Pas bien définie;Bien définie
Corrélation	Artificiel;Naturelle	1,000	,172	,108	,217	,216	-,231	-,070
	Monotone;Attirent	,172	1,000	,303	,500	,408	-,108	,175
	Eblouissant;Confortable	,108	,303	1,000	,844	,886	,379	,733
	Non Approprié;Approprié	,217	,500	,844	1,000	,872	,219	,664
	Désagréable;Agréable	,216	,408	,886	,872	1,000	,207	,746
	Floue;Nette	-,231	-,108	,379	,219	,207	1,000	,525
	Pas bien définie;Bien définie	-,070	,175	,733	,664	,746	,525	1,000
Signification (unilatéral)	Artificiel;Naturelle		,151	,260	,096	,096	,081	,338
	Monotone;Attirent	,151		,032	,001	,006	,259	,146
	Eblouissant;Confortable	,260	,032		,000	,000	,009	,000
	Non Approprié;Approprié	,096	,001	,000		,000	,093	,000
	Désagréable;Agréable	,096	,006	,000	,000		,106	,000
	Floue;Nette	,081	,259	,009	,093	,106		,000
	Pas bien définie;Bien définie	,338	,146	,000	,000	,000	,000	

Les résultats de l'analyse factorielle nous indiquent très clairement une forte corrélation globale entre les variables d'éclairage, car il n'y a qu'une seule variable sur les sept qui n'est pas corrélée significativement avec le reste des variables, la variable 'Artificiel', pour le reste des variables elles possèdent toutes des corrélations significatives. On peut donc les classer sous forme de trois catégories différentes par nombre de corrélations significatives. Dans la première catégorie, on trouve les variables 'floue' et 'monotone' avec une seule corrélation significative avec le reste des variables. La seconde catégorie comprend les variables 'éblouissante' et 'désagréable' avec trois corrélations et la dernière catégorie regroupe les variables 'non appropriée' et 'pas bien définies' avec chacune quatre corrélations significatives. D'après les résultats on peut déduire donc que la troisième et la quatrième catégorie ont le plus de corrélations significatives avec l'ensemble des variables et ces catégories se révèlent très intéressante à notre étude. Les résultats de cette étude factorielle sont représentés sous format graphique ci-dessous :

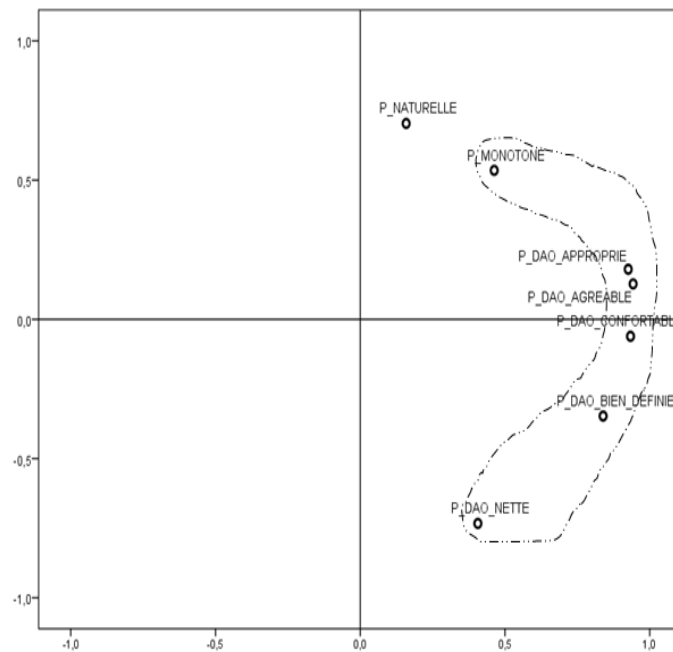


Figure 7.23: Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche dessin assisté par ordinateur

Pour mieux comprendre l'effet de la variable existence d'éblouissement sur le champ visuel de l'utilisateur sur le reste des variables, nous avons contrôlé les données de la question : Existe-t-il une gêne due à la présence de lumière dans la salle informatique ? Les résultats obtenus sont représentés sur la carte factorielle ci-dessous :

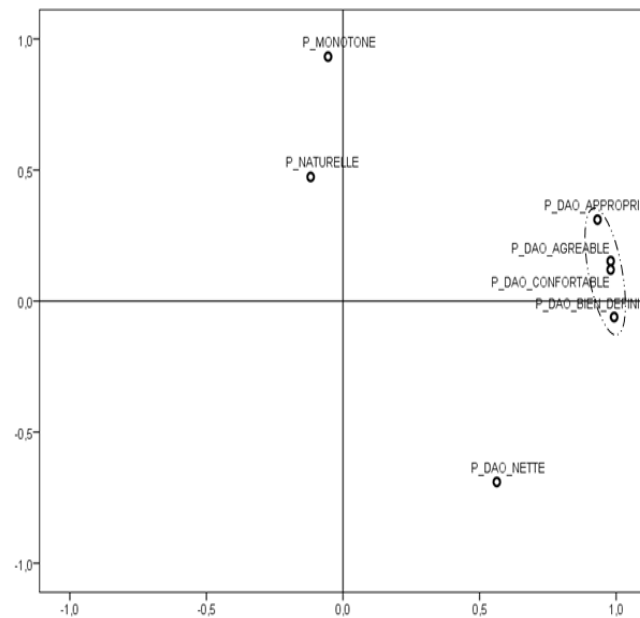


Figure 7.24 : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche dessin assisté par ordinateur avec le contrôle de la variable éblouissement

D'après les résultats obtenus, on peut dire que la présence d'éblouissement a changé de manière très considérable la distribution des variables sur la carte factorielle. Car on remarque l'existence de deux groupes de variables, un premier groupe qui contient des variables qui n'ont aucune corrélation significative avec le reste, c'est le cas des variables 'Artificielle' 'Monotone' et 'floue'. Le second groupe, il comprend les variables qui ont des corrélations significatives 'éblouissement', 'non appropriée', 'désirable' et 'pas définies'. Ces variables ont toutes trois corrélations significatives ensemble avec ces variables significatives (inter corrélées). Ces dernières forment un groupe de variables significatives qui représentent l'évaluation de la tâche dessin assisté par ordinateur avec la présence d'éblouissement sur le champ visuel.

#### 7.6.6. Corrélations des variables tâche vision des projections de data show

Pour évaluer les corrélations entre les variables qualitatives pour la cinquième tâche, nous avons procédé à une analyse factorielle et les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7.8: Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche vision des projections de data show

**Matrice de corrélation**

		Artificiel; Naturelle	Monotone; Attirent	Eblouissant; Confortable	Non Approprié; Approprié	Désagréable; Agréable	Floue;Nette	Pas bien définie;Bien définie
Corrélation	Artificiel;Naturelle	1,000	,167	-,182	-,219	-,272	-,267	-,278
	Monotone;Attirent	,167	1,000	-,278	-,241	-,263	-,105	-,178
	Eblouissant;Confortable	-,182	-,278	1,000	,764	,748	,509	,656
	Non Approprié;Approprié	-,219	-,241	,764	1,000	,804	,593	,752
	Désagréable;Agréable	-,272	-,263	,748	,804	1,000	,663	,810
	Floue;Nette	-,267	-,105	,509	,593	,663	1,000	,907
	Pas bien définie;Bien définie	-,278	-,178	,656	,752	,810	,907	1,000
Signification (unilatéral)	Artificiel;Naturelle		,235	,214	,170	,116	,121	,111
	Monotone;Attirent	,235		,111	,146	,124	,325	,220
	Eblouissant;Confortable	,214	,111		,000	,000	,009	,001
	Non Approprié;Approprié	,170	,146	,000		,000	,002	,000
	Désagréable;Agréable	,116	,124	,000	,000		,001	,000
	Floue;Nette	,121	,325	,009	,002	,001		,000
	Pas bien définie;Bien définie	,111	,220	,001	,000	,000	,000	

Les résultats obtenus de l'analyse factorielle appliquée aux différentes variables d'éclairage pour l'activité vision du data show par les usagers de la salle nous ont permis de constater que les deux variables 'artificiel' et 'monotone' (les sensations générales du poste de travail) ne sont pas corrélées à aucune autre variables. Par rapport aux autres 05 variables, elles ont toutes des corrélations significatives, et on peut les subdiviser en se basant sur le nombre de corrélations en deux sous-groupes, le premier est composé des variables 'éblouissant' et 'floue'. Ces dernières ont deux corrélations significatives. Le second sous-groupe comprend les variables 'non appropriée' 'désirable' et 'floue'. Les trois variables ont quatre corrélations significatives. Les deux sous-groupes seront pris en considération lors de notre étude car ils sont très représentatifs des sensations de l'utilisateur lors de l'exercice de cette tâche visuelle. Les résultats graphiques de l'analyse factorielle sont représentés ci-dessous.

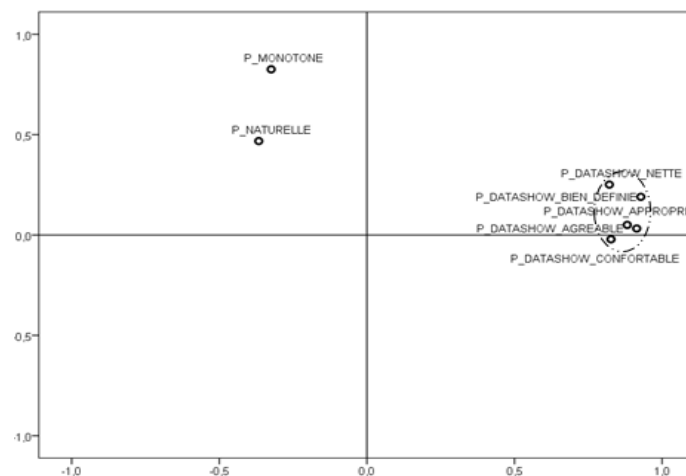


Figure 7.25 : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche vision des projections de data show

Afin de comprendre l'effet de la variable existence de l'éblouissement sur le champ visuel de l'utilisateur sur le reste de variables, nous avons contrôlé l'effet des données de la question : Existe-t-il une gêne due à la présence de lumière dans la salle informatique ? Et Les résultats obtenus sont représentés sur la carte factorielle ci-dessous :

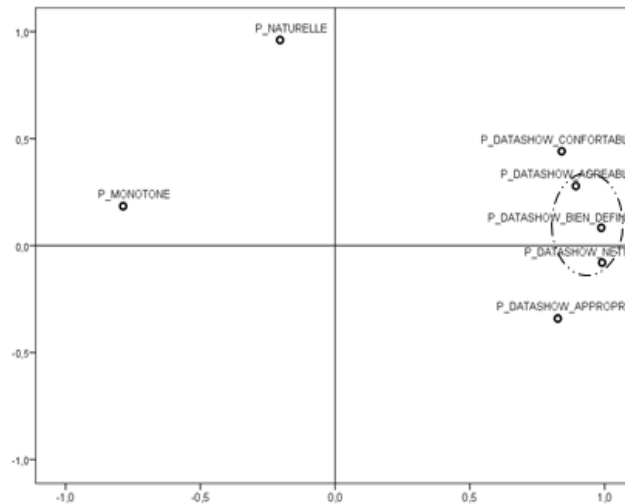


Figure 7.26 : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche vision des projections de data show avec le contrôle de la variable éblouissement

Après le contrôle des données de la variable présence d'éblouissement sur le champ visuel, on a constaté qu'il existe moins de cohérence entre les variables d'éclairage, car seules trois variables sont corrélées significativement 'désagréable' 'floue' et 'pas bien définie', donc pour notre étude d'évaluation d'éblouissement (s'il en existe) lors de la vision de data show on se basera essentiellement sur ces trois variables.

### 7.6.7. Corrélations des variables de la tâche vision du tableau blanc

Pour l'évaluation des corrélations entre les variables qualitatives pour la dernière tâche, nous avons procédé à une analyse factorielle et les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 7.9 : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche la tâche vision du tableau blanc

**Matrice de corrélation**

		Artificiel; Naturelle	Monotone; Attirent	Eblouissant; Confortable	Non Approprié; Approprié	Désagréable; Agréable	Floue;Nette	Pas bien définie;Bien définie
Corrélation	Artificiel;Naturelle	1,000	-,095	-,204	-,204	-,144	-,231	-,212
	Monotone;Attirent	-,095	1,000	,200	,097	,155	,163	,164
	Eblouissant;Confortable	-,204	,200	1,000	,855	,883	,727	,836
	Non Approprié;Approprié	-,204	,097	,855	1,000	,962	,904	,931
	Désagréable;Agréable	-,144	,155	,883	,962	1,000	,894	,963
	Floue;Nette	-,231	,163	,727	,904	,894	1,000	,915
	Pas bien définie;Bien définie	-,212	,164	,836	,931	,963	,915	1,000
Signification (unilatéral)	Artificiel;Naturelle		,313	,144	,144	,228	,114	,135
	Monotone;Attirent	,313		,149	,308	,210	,200	,198
	Eblouissant;Confortable	,144	,149		,000	,000	,000	,000
	Non Approprié;Approprié	,144	,308	,000		,000	,000	,000
	Désagréable;Agréable	,228	,210	,000	,000		,000	,000
	Floue;Nette	,114	,200	,000	,000	,000		,000
	Pas bien définie;Bien définie	,135	,198	,000	,000	,000	,000	

Les résultats de l'analyse factorielle appliquée aux données obtenues de la tâche vision du tableau blanc, nous ont donné des résultats très proches de celles pour l'activité vision du data show, (vu que les deux activités sont verticales). On peut classer les variables dans deux catégories, la première comprend les deux variables 'Artificiel et 'Monotone'. Ces variables n'ont pas de corrélations significatives. Le second groupe comprend des variables qui ont toutes quatre des corrélations significatives et qui sont inter corrélées entre elles : 'éblouissante', 'non appropriée' 'désagréable' 'floue' et 'pas bien définie'. Ces dernières traduisent la sensation des usagers lors de la vision du tableau blanc, la carte factorielle est représentée ci-dessous :

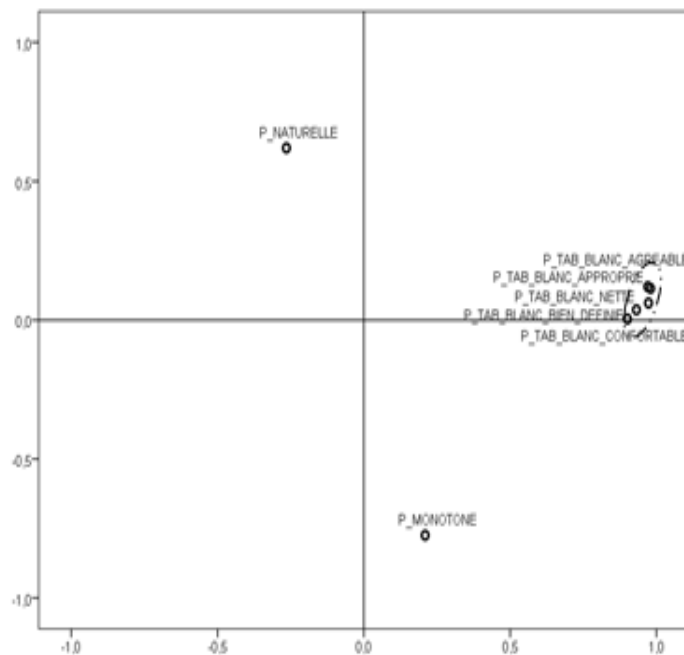


Figure 7.27: Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche vision du tableau blanc



Afin de comprendre l'effet de la variable existence de l'éblouissement sur le champ visuel de l'utilisateur sur le reste des variables, nous avons contrôlé l'effet des données de la question : Existe-t-il une gêne due à la présence de lumière dans la salle informatique ? Et Les résultats obtenus sont représentés sur la carte factorielle ci-dessous :

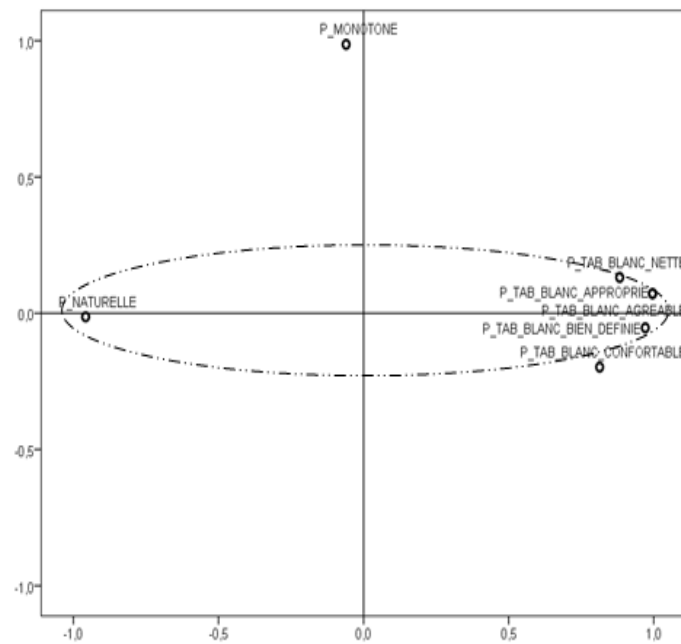


Figure 7.28 : Représentation de la carte factorielle des variables de la tâche vision du tableau blanc avec le contrôle de la variable éblouissement

Si on a observé une certaine similitude dans la corrélation des variables des tâches la vision du data show et celle du tableau blanc dans la première analyse, on peut constater à travers la seconde analyse factorielle que la présence de l'éblouissement a changé radicalement les corrélations des variables et cette similitude. Car d'après les résultats, on constate que deux variables ne sont pas corrélées avec l'ensemble, ce sont les variables 'Monotone' et 'éblouissant' et que la variable 'Artificiel' est corrélée négativement avec les variables 'monotone', 'désagréable', 'floue' et 'pas bien définie', ces dernières possèdent toutes quatre corrélations significatives entre elles.

## **Conclusion**

Dans la première partie, plusieurs descripteurs ont été calculés et afin d'identifier ceux qui apparaissaient les plus liés avec les impressions des sujets interrogés, un questionnaire a été remis aux usagers de la salle CAO. Ce chapitre se focalise essentiellement sur les analyses statistiques des données collectées du questionnaire. Les résultats obtenus pour les tests de fiabilité des questions et de normalité de valeurs sont compris entre 0.71 pour les questions dichotomiques et 0.97 psychométriques 'test Cronbach'. Ces résultats représentent un score très satisfaisant car les résultats obtenus pour ces tests sont supérieurs à la valeur de 0.7. On peut confirmer que le questionnaire remis aux sujets a un très bon indice de cohérence globale des questions. Une fois que la vérification de la cohérence des questions réalisée, nous avons fait l'étude par la suite des variations des conditions d'éclairage dans la salle CAO. Les résultats obtenus indiquent que pour les dix paramètres lumineux mesurés lors de la campagne de mesures menée dans les 120 postes de travail des quatre configurations de la salle, les variations ont été significatives. Ce qui signifie qu'elles couvrent de larges échelles de mesures d'éclairage vertical ou horizontal. Le même constat a été réalisé pour les luminances ainsi que les différents indices d'éblouissement, cette vérification a démontré que les changements des configurations lumineuses de l'espace ont produit plusieurs variantes différentes dans les postes de travail. Ce qui constitue une riche base de données pour les évaluations humaines des usagers, qui seront à leur tour appelés à évaluer l'espace à travers des questions. Afin de déterminer les relations qui existent entre les différentes évaluations subjectives recueillies par le questionnaire, une dernière étape a été exposée dans ce chapitre qui consiste à grouper les variables qualitatives qui sont corrélées entre elles et cela grâce à une analyse factorielle, cette dernière a été appliquée en deux phases. La première avec une présence de la variable éblouissements dans le champ visuel et la seconde est en absence d'éblouissement. Mais dans notre analyse factorielle, nous nous sommes basés uniquement sur le premier cas car l'éblouissement est notre principal sujet d'étude.

Les résultats obtenus ont démontré que pour l'évaluation des impressions générales dans la salle CAO, il existe deux variables qualitatives qui sont corrélées de manière très significatives qui sont stimulante et confortable, ce qui veut dire que plus l'espace salle est confortable plus il est stimulant et vice-versa. Pour la seconde tâche 'lecture du texte sur la table' il y avait deux sous-groupes de variables corrélées significativement, le premier groupe est moins corrélé que le second. Ce dernier comprend trois variables 'éblouissement', 'désagréable', 'floue', le deuxième sous-groupe plus corrélé que le premier comprend les variables 'pas bien définie', 'non appropriée', une lecture des corrélations nous informe que pour l'activité lecture de texte sur la

table une présence d'éblouissement provoque un inconfort chez l'utilisateur, et l'éblouissement a un impact direct sur le contraste entre le texte et son environnement immédiat. Le même constat a été réalisé pour l'activité lecture de dessin ou schéma sur la table. La relation entre la variable 'éblouissement' et la variable 'contraste' entre la feuille et l'environnement de travail est toujours existante pour la tâche lecture de dessin, par contre pour la tâche saisie du texte sur ordinateur l'analyse des cartes factorielles a démontré qu'il existe une corrélation importante entre les trois variables 'agréable', 'confortable' et 'appropriée'. Ce qui peut être expliqué par le rôle que joue le contraste lors de la saisie de texte sur PC, car plus l'utilisateur a un bon contraste lors de l'exercice de son activité plus c'est agréable et plus c'est confortable et vice-versa. Le même constat a été réalisé pour les variables de l'activité dessin assisté par ordinateur. A la fin on a constaté une similitude de corrélations des variables des deux tâches : vision du tableau blanc et vision du data show. Ces variables sont : 'nettes, bien définies, appropriée, agréable et confortable', ce qui peut être expliqué par les exigences lumineuses très importantes pour les tâches verticales dans la salle CAO une fois que nous avons déterminé quelles sont les variables qualitatives qui sont les plus représentatives et très corrélées entre elles, pour chacune des sept tâches visuelles demandées aux usagers. La prochaine étape consiste à lier ces variables avec les variables quantitatives mesurables correspondantes, cette partie va être développée dans le chapitre suivant.

## **Références**

Altman, D. G. (1995). Statistics notes: the normal distributio. *Bmj*.

DAICH, S. (2011). *Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra*. biskra: Université Mohamed Khider Biskra.

George, D. a. (2003). Using SPSS for Windows step by step: a simple guide and reference. *{Boston, MA: Allyn & Bacon}*.

# Chapitre 06

## ***Chapitre 06: Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle***

### **Introduction**

L'éblouissement doit être éliminé car il est l'une des principales causes d'erreurs, de fatigue et de gêne visuelle chez l'utilisateur moderne de la salle de classe comme on l'a expliqué dans le chapitre précédent. Pour identifier l'épuisement, une étude approfondie de poste informatique et de l'environnement physique de travail est nécessaire pour comprendre son origine et sa position dans l'espace à étudier (salle informatique). L'éblouissement qui cause l'inconfort visuel (Boyce, 2003; Arsenault, 2012) est défini comme l'éblouissement qui cause l'inconfort sans nécessairement altérer la vision de l'objet (écran), il est dû principalement aux deux sources d'éclairage direct, l'éclairage artificiel (lampes) ou naturel (fenêtres). Plusieurs méthodes ont été proposées pour évaluer et contrôler l'inconfort visuel présent sur le champ visuel de l'usager de l'espace, parmi ces méthodes et les plus utilisées, on peut citer la méthode de calcul des indices d'éblouissement visuel, (glare metrics), ces derniers sont destinés à évaluer l'éblouissement d'inconfort : (Daylight Glare Index (DGI), CIE Glare Index (CGI), Unified Glare Rating (UGR) and the Daylight Glare Probability (DGP).

L'objectif de ce chapitre est dans un premier temps, de faire une comparaison entre les résultats obtenus des quatre différents indicateurs d'éblouissement cités précédemment, ces derniers ont été mesurés dans les 120 différentes positions de postes informatiques, sous les quatre configurations d'éclairage de la salle informatique ; la configuration 01, c'est la configuration avec rideaux, la configuration 02, c'est la configuration avec film protecteur, la configuration 03, c'est la configuration sans aucune protection, la configuration 04, c'est celle sans aucune protection et sans éclairage artificiel. On tient à rappeler que dans les trois configurations précédentes c'est des configurations avec éclairage artificiel (on). Afin de comprendre la relation entre les différents indicateurs, et de faire le lien entre les indicateurs, c'est à dire la similitude ou la divergence de l'évaluation de l'éblouissement, et la position du poste informatique. Pour ensuite déduire lequel est indicateurs est le plus fiable, le plus précis pour l'évaluation de l'éblouissement, et le plus important est de ressortir avec des résultats qui lient le poste (position du poste par rapport à la fenêtre ou la source d'éclairage) et l'indicateur le plus adéquat, pour prédire l'éblouissement dans cette position, sous les conditions de ciel spécifiques, le ciel de la ville de Biskra. Les résultats obtenus, vont être liés dans le chapitre suivant avec l'évaluation subjective obtenue des étudiants grâce au questionnaire. L'ensemble des données est corrélé par le modèle de distribution de luminance avec les préférences des utilisateurs. Nous apporterons des réponses aux différentes questions de recherche développées au début de notre travail de recherche sur l'usager, son environnement physique et lumineux dans la salle informatique du département d'architecture de Biskra.



## ***Chapitre 06: Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle***

### **6.1. Présentation des résultats**

De nos jours et grâce aux nombreux travaux menés dans le domaine de l'éclairage, les dimensions importantes de l'environnement lumineux sont aujourd'hui identifiées. Pour la réalisation d'une tâche visuelle particulière : lecture papier, écriture (saisie de texte), vision des diapositives avec un data show ...etc. Il est possible de repérer les caractéristiques principales à prendre en compte dans l'environnement visuel pour le rendre confortable aux yeux d'un observateur. Ces caractéristiques peuvent s'exprimer, presque exclusivement, en termes d'informations de luminance. La luminance est la luminosité physique mesurable d'un objet. Dans cette deuxième partie pratique, nous allons étudier plus en détails ces paramètres physiques mesurables de la lumière. De façon plus détaillée que dans la première partie qui a été beaucoup plus une étude quantitative dédiée à mesurer les différents indicateurs physiques dans l'ensemble de l'espace (salle d'informatique). Dans cette seconde partie nous allons focaliser notre étude sur le poste informatique et les paramètres lumineux mesurés sur ce dernier dans les différentes configurations.

Dans un premier lieu, nous allons commencer par la mesure des cinq indicateurs d'inconfort lumineux qui sont (Daylight Glare Index (DGI), CIE Glare Index (CGI), Unified Glare Rating (UGR) and the Daylight Glare Probability (DGP), à partir des images sphériques 180° (HDR), comme nous avons expliqué cela dans le protocole expérimental, pour chacune des configurations de la salle, la configuration 1, c'est la configuration avec rideaux, la configuration 2, c'est la configuration avec film protecteur, la configuration 3, c'est la configuration sans aucune protection, la configuration 4, c'est celle sans aucune protection et sans éclairage artificiel. Dans chacune des configurations, il y avait entre 27 à 30 sujets (étudiants) qui sont assis à différentes tables dans la salle et qui sont à différentes positions par rapport à la fenêtre (voir les schémas au chapitre expérimental). D'un ciel spécifique (DAICH, 2011), de la ville de Biskra, dans une journée représentative de ce ciel (voir le chapitre 03). Dans un second lieu, nous allons procéder à une comparaison entre les évaluations subjective des cinq indicateurs d'éblouissement, afin de regrouper les indicateurs qui ont la même évaluation d'inconfort (éblouissement), et ceux qui ont une évaluation différente pour le même poste et dans la même configuration, Cette comparaison nous aidera à mieux comprendre la relation qui existe entre les paramètres physiques, la position de l'utilisateur et les indicateurs d'éblouissement, sous le climat lumineux de la ville de Biskra. Et nous aidera aussi à faire le lien avec les facteurs lumineux qui peuvent converger ou diverger les indicateurs d'inconfort. Pour conclure, on pourra dire à la fin de cette comparaison quelles sont les indicateurs qui sont

## **Chapitre 06: Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle**

les plus pertinents et les plus représentatifs de l'évaluation de l'inconfort lumineux, dans le climat lumineux de la ville de Biskra,

### **6.2. Les paramètres à étudier dans chaque configuration et chaque table**

#### **6.2.1. Indicateurs du confort visuel**

D'après notre recherche bibliographique, (voir chapitre 05) nous avons choisi quatre indicateurs qui sont les plus utilisés dans les recherches citées dans le chapitre précédent et qui sont aussi recommandés par la CIE et, LEED. Ces indicateurs sont CGI, l'UGR, le DGI\_P et DGI. Le tableau (voir tableau 6.1) résume les différentes échelles d'évaluations pour chaque indicateur, que nous avons choisi précédemment, ces évaluations sont communes entre les quatre indicateurs ; ces derniers sont (Juste perceptible, juste acceptable, juste inconfortable, juste intolérable), pour les quatre indicateurs, qui vont nous servir de références, dans notre interprétation des résultats de l'expérimentation :

**Tableau 6.1 : Résumé des classifications d'inconfort par rapport à la valeur de chaque indicateur (Source : Auteur)**

Classification (éblouissement) d'inconfort	Valeurs			
	DGP	DGI	UGR	CGI
Juste perceptible	Inferieur a 35%	Inferieur a 18	Inferieur a 13	Inferieur a 13
Juste acceptable	de 35 à 40 %	de 18 à 24	de 13 à 22	de 13 à 22
Juste inconfortable	de 40à 45 %	de 24 à 31	de 22 à 28	de 22 à 28
Juste intolérable	Plus de 45 %	Plus de 31	Plus de 28	Plus de 28

### **6.3. Présentation des résultats de la configuration 01**

La configuration 01 est la configuration avec rideaux, et avec l'utilisation de l'éclairage artificiel (on), dans cette dernière il y avait 30 sujets (étudiants), répartis sur 05 tables (table A, table B, table C, table D, table E), nous avons 06 étudiants dans chacune des tables, les usagers sont assis selon différentes positions (voir le chapitre 03). Ensuite nous avons pris des images Fish-eye 180° (HDR), à partir du champ visuel (Hua, 2011) de chaque usager, afin de calculer les indicateurs d'éblouissement pour chacune des positions, les résultats obtenus dans la configuration 01 sont représentés par table ci-dessous :

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

### 6.3.1. Analyse des résultats de la configuration 01

#### 6.3.1.1. Configuration 01 : Table A postes : A01-A02-A03-A04-A05-A06

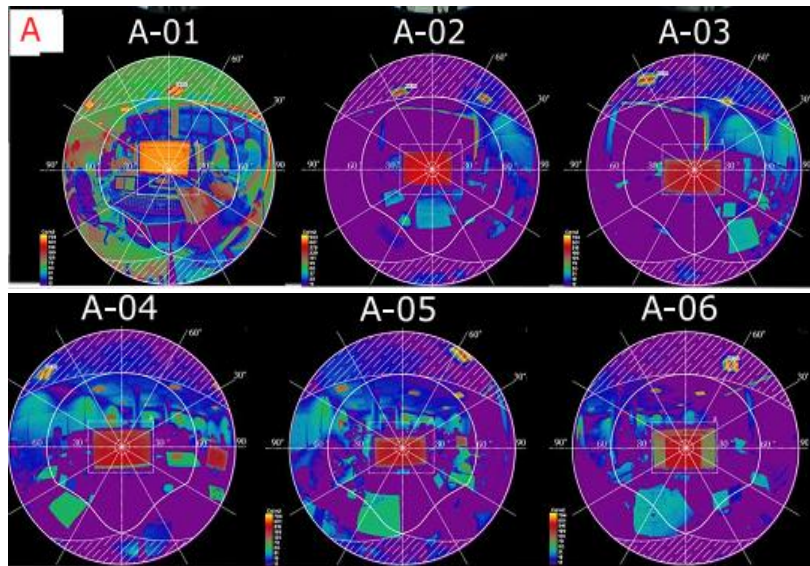


Figure 6.1 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table A configuration 01 (Source : Auteur)

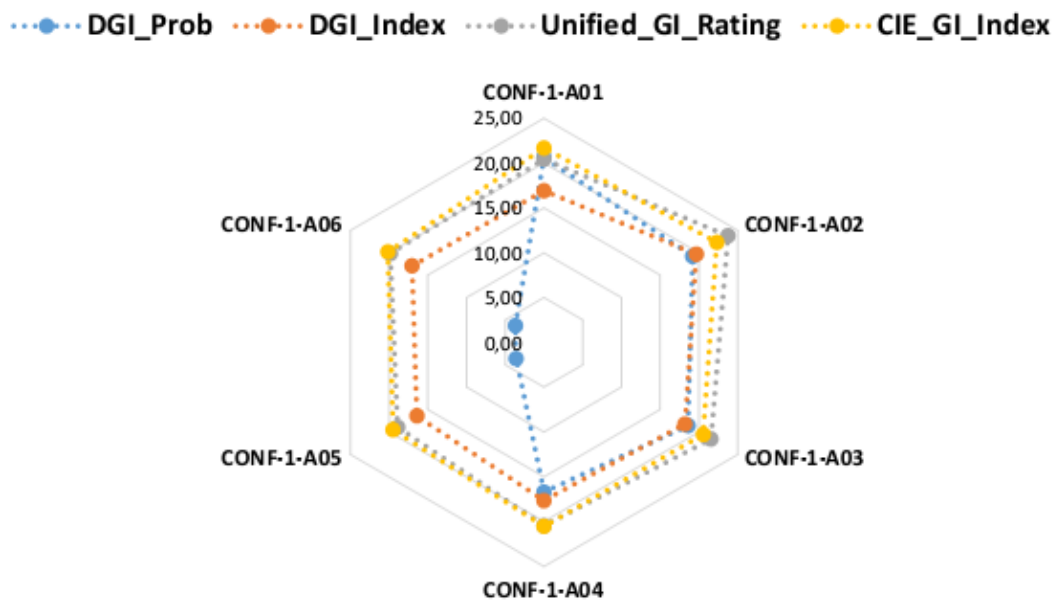


Figure 6.2 : Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table A, configuration 01 (Source : Auteur)

#### 6.3.1.2. Analyse des résultats de la table A postes : A01-A02-A03-A04-A05-A06

Les résultats obtenus de la table (A), (Figure 6.1 et 6.2) indiquent que selon le paramètre :

**2.1. CIE Glare Index (CGI) :** Dans cette configuration, dans la table A on a enregistré des valeurs de CGI comprises entre 19.5 à 22.31, dans tous les postes, ce qui veut dire que selon cette indice-là, que l'éblouissement est acceptable, la valeur maximale a été enregistrée dans le poste

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

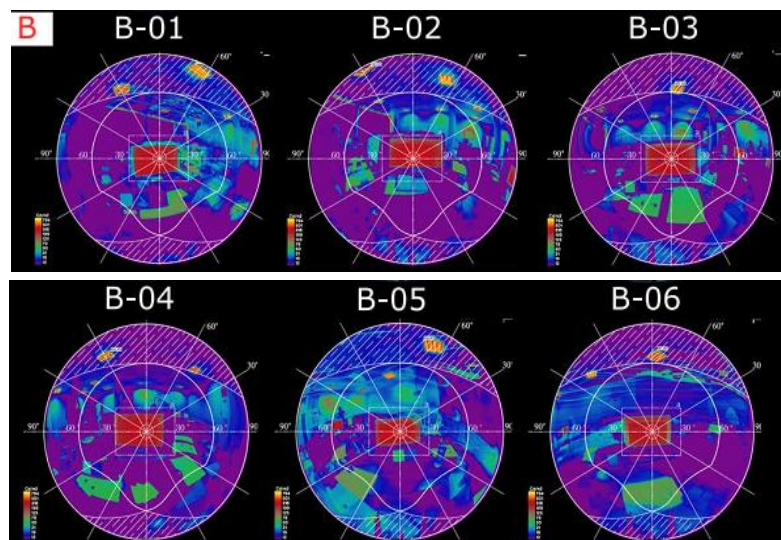
A 05 avec une valeur de 19.5 et la plus basse valeur a été enregistrée dans le poste A 02 une valeur égale à 22.31.

**2.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Pour la table A, les valeurs obtenues de UGR, sont comprises entre 19.83 et 23.75, ce qui traduit que tous les postes ont un éblouissement acceptable, sauf le poste A02, il a un éblouissement juste inconfortable, car la valeur maximale a été enregistrée dans ce dernier et elle est équivalente à 23.75, et la valeur minimale est de 18.91, poste A05.

**2.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Les résultats obtenus pour cet indice sont compris entre 16.41 et 19.65 ce qui indique que nous avons trois fourchettes d'évaluation d'inconfort, qui sont un éblouissement juste perceptible et cela dans les postes A01 et A05, avec des valeurs respectives de 16.92 et 16.41, et un éblouissement juste acceptable dans les postes A03, A04, A06, en dernier lieu, un éblouissement juste inconfortable, dans le poste A 02 avec une valeur de UGR maximale pour cette table égale à 19.65 .

**2.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** Toutes les valeurs obtenues dans cette table sont comprises entre 20.60 et 3.60, donc pour cet indicateur, tous les postes ont un risque d'éblouissement juste perceptible ; la valeur la plus haute a été enregistrée dans le poste A01 suivie du poste A02, avec des valeurs respectives de 20.60 et 19.65. La plus basse valeur a été enregistrée dans le poste A05 avec une valeur équivalente à 3.60

### 6.3.1.3. Configuration 01 : Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05-B06



*Figure 6.3 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table B configuration 01 (Source : Auteur)*

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

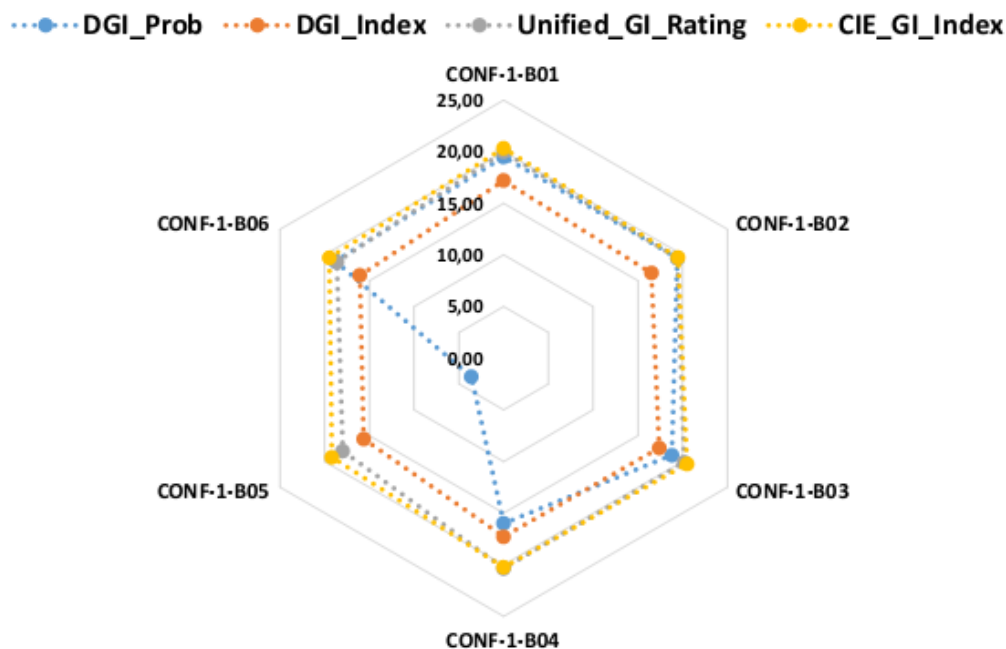


Figure 6.4 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel  $DGI_P$ ,  $DGI_I$ ,  $UGR$  et  $CGI$ , dans les 06 postes de la table B, configuration 01 (Source : Auteur)

### 6.3.1.4. Analyse des résultats de table B postes : B01-B02-B03-B04-B05-B06

Les résultats obtenus de la table (B), (Figure 6.3 et 6.4) indiquent que selon le paramètre :

**4.1. CIE Glare Index (CGI) :** Les résultats obtenus dans cette table sont compris entre 19.19 et 20.49, ce qui nous donne juste une seule valeur de classification de l'éblouissement qui est un éblouissement juste perceptible, pour tout l'ensemble des postes présents sur la table, la valeur maximale enregistrée est égale à 20.49 dans le poste A 02, et la valeur minimale est de 19.19, enregistrée dans le poste A05.

**4.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** pour UGR les valeurs enregistrées, pour la table B, sont comprises entre 17.98 et 20.35, ces résultats nous donnent aussi qu'une unique échelle de classification d'éblouissement pour tous les postes de la table, qui est un éblouissement juste acceptable, la valeur la plus haute a été enregistrée dans le poste B04 avec une valeur de 17.98, et la plus basse est dans le poste B05, avec une valeur égale à 17.98.

**4.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Toutes les valeurs obtenues pour ces indices sont comprises entre 15.63 et 17.38, elles sont inférieures à 18, c'est à dire que pour ces indicateurs, l'ensemble des postes de la table B, n'ont qu'une seule classification pour l'éblouissement, c'est un éblouissement juste perceptible. Pour tous les postes, la valeur maximale a été enregistrée dans le poste B03 avec une valeur de 17.38 suivie du poste B04, la valeur minimale est de 15.63, poste B05.



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

**4.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** pour ce dernier indicateur les résultats obtenus sont compris dans une fourchette de 3.60 à 19.50, comme toutes les valeurs obtenues de DGP de cette table sont inférieures à 35, là aussi cela ne nous donne qu'une seule échelle de classification, pour l'éblouissement, et c'est un éblouissement juste perceptible pour tous les postes de la table, la valeur minimale est enregistrée dans le poste A05 avec une valeur de 3.60, la valeur maximale a été enregistrée dans le poste A01 avec une valeur de 19.50, suivie du poste A02.

### 6.3.1.5. Configuration 01 : Table C postes : C01-C02-C03-C04-C05-C06

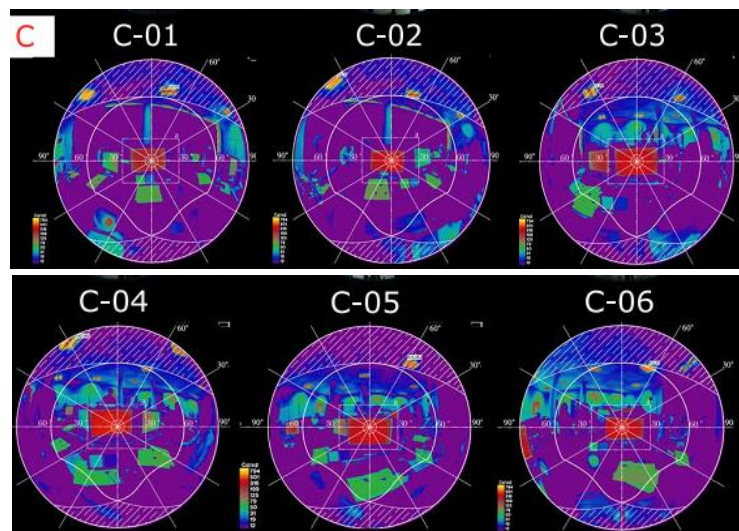


Figure 6.5 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table C configuration 01 (Source : Auteur)

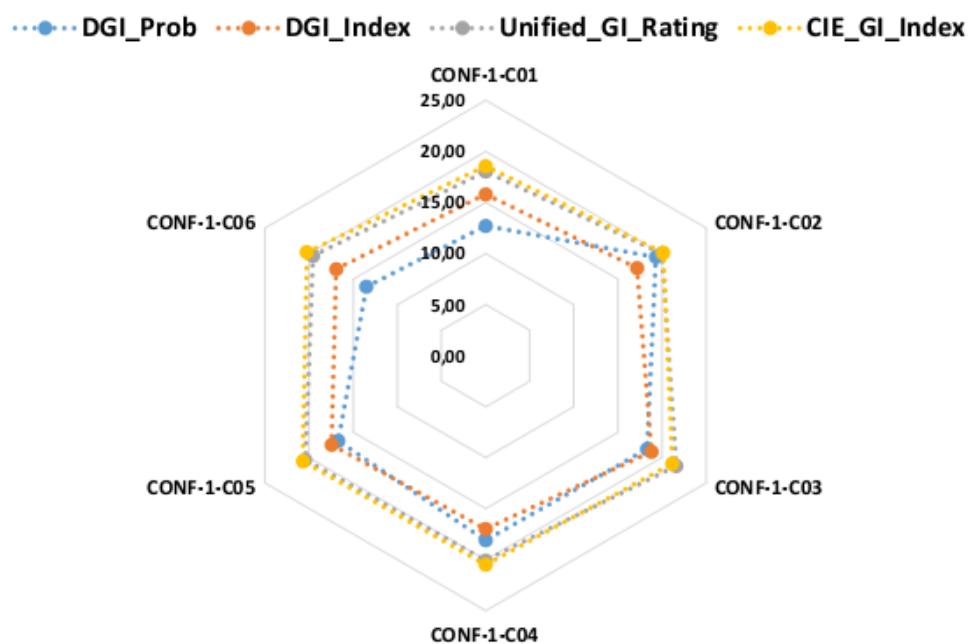


Figure 6.6 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table C, configuration 01 (Source : Auteur)



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

### 6.3.1.6. Analyse des résultats de Table C postes : C01-C02-C03-C04-C05-C06

Les résultats obtenus de la table (C), (Figure 6.5 et 6.6) indiquent que selon le paramètre :

**6.1. CIE Glare Index (CGI) :** Les résultats obtenus pour le CGI sont compris entre 18.56 et 21.16 ce qui nous donne une classification d'éblouissement juste inconfortable, pour tous les postes de la table C. La valeur maximale a été enregistrée dans le poste C03, elle est égale à 21.16 et la minimale dans le poste C01 avec une valeur de 18.56.

**6.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Toutes les valeurs obtenues de l'URG dans la table C sont comprises entre 18.03 et 21.62, ce qui nous donne une évaluation de tous les postes, d'un éblouissement juste acceptable pour tous les postes de la table. Une valeur maximale est de 21.62 dans le poste C03 et une valeur minimale de 18.03 dans le poste A01.

**6.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Les résultats enregistrés du DGI dans la table C sont entre 15.80 à 18.81 pour l'ensemble des postes de la table, ce qui nous donne deux échelles de classification éblouissement. Le premier c'est un éblouissement juste perceptible pour les postes A01, A02, A04, A05 et A06, car la valeur le DGI est inférieure à 18, dans le poste A03 la classification est un éblouissement acceptable, avec une valeur maximale de DGI de 18.81.

**6.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** Par rapport à ce dernier indice, les valeurs de DGP sont dans une gamme comprise entre 12.70 et 19.30, enregistrée respectivement dans les postes C01 et C2, donc l'ensemble des postes de la table C, ont des valeurs inférieures à 35 %, ce qui nous donne qu'une seule classification, c'est un éblouissement juste perceptible pour l'ensemble des postes.

### 6.3.1.7. Configuration 01 : Table D poste : D01-D02-D03-D04-D05-D06

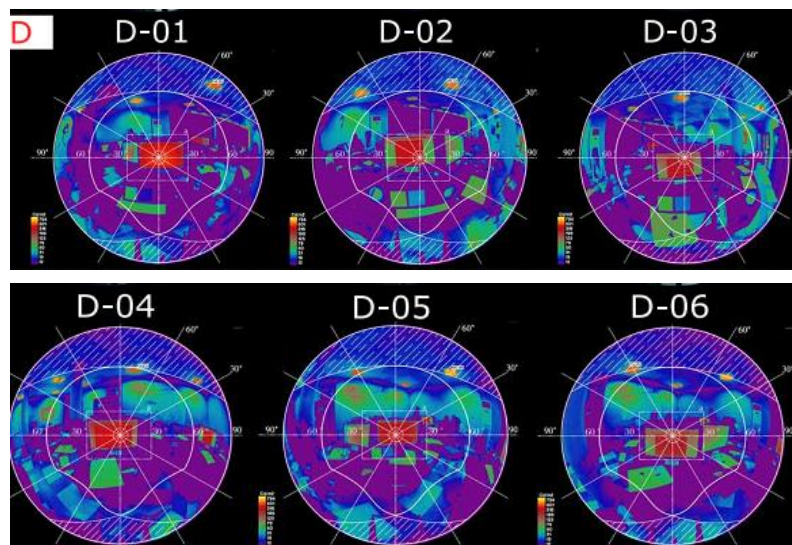


Figure 6.7 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table D configuration 01 (Source : Auteur)

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

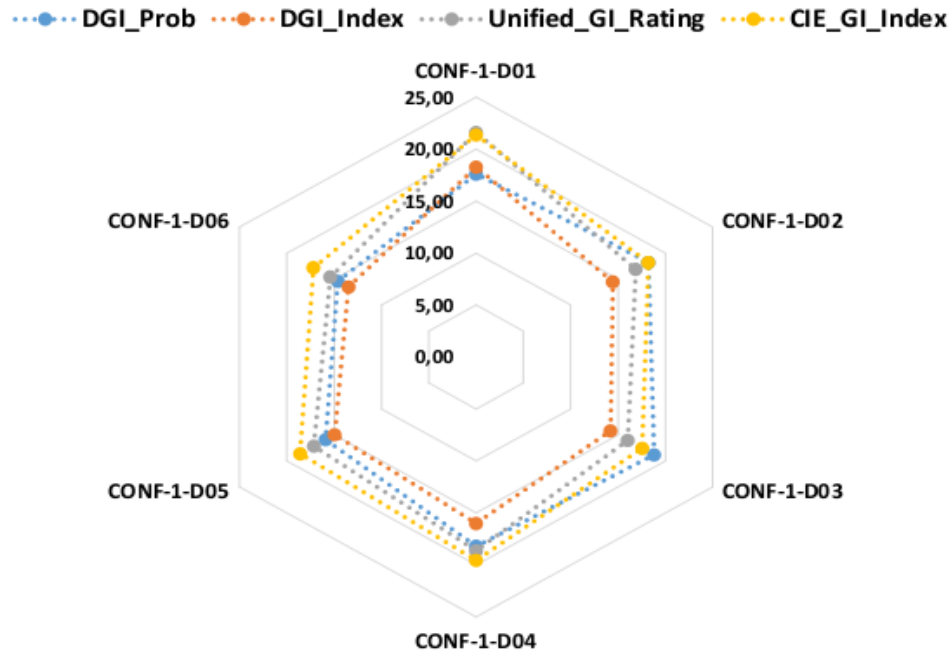


Figure 6.8 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table D, configuration 01 (Source : Auteur)

### 6.3.1.8. Analyse des résultats de table D postes : D01-D02-D03-D04-D05-D06

Les résultats obtenus de la table (D), (Figure 6.7 et 6.8) indiquent que selon le paramètre :

**8.1. CIE Glare Index (CGI) :** Les valeurs des CGI pour la table D sont dans un intervalle de 17.19 à 21.36 enregistré respectivement dans les postes D06 et D01, ce qui veut dire pour le CGI on a une classe d'éblouissement juste inconfortable pour tous les poste de la table D.

**8.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Toutes les valeurs obtenues de l'UGR dans cette table sont dans une tranche de (15.41 à 21.61) enregistrée dans les postes A01 et A06, ces derniers nous indiquent que pour l'indice UGR, nous n'avons là aussi qu'une seule catégorie de classification, qui est un éblouissement juste acceptable pour l'ensemble des postes de cette table.

**8.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Les résultats obtenus du DGI, sont entre 13.48 et 18.28 pour cet indicateur dans la table D, cela nous donne deux catégories de classifications d'éblouissement, le premier c'est un éblouissement juste perceptible pour les postes D02, D03, D4, D05, et D06 car ils ont une valeur de DGI inférieure à 18, le second c'est un éblouissement juste acceptable, pour le poste A01, où on a calculé une valeur de DGI de 21.61.

**8.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** pour ce dernier indice d'éblouissement, les valeurs enregistrées dans la table D sont entre 14.60 et 18.80, enregistrées dans les postes A06 et A03, comme tous les postes ont des valeurs inférieures à 35 %, nous n'avons là aussi qu'une classification qui est un éblouissement juste perceptible pour l'ensemble des postes de la table D.

6.3.1.9. Configuration 01 : Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06

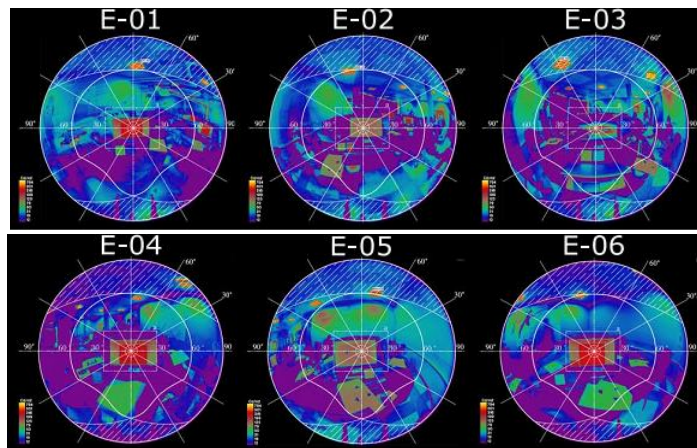


Figure 6.9 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table E configuration 01 (Source : Auteur)

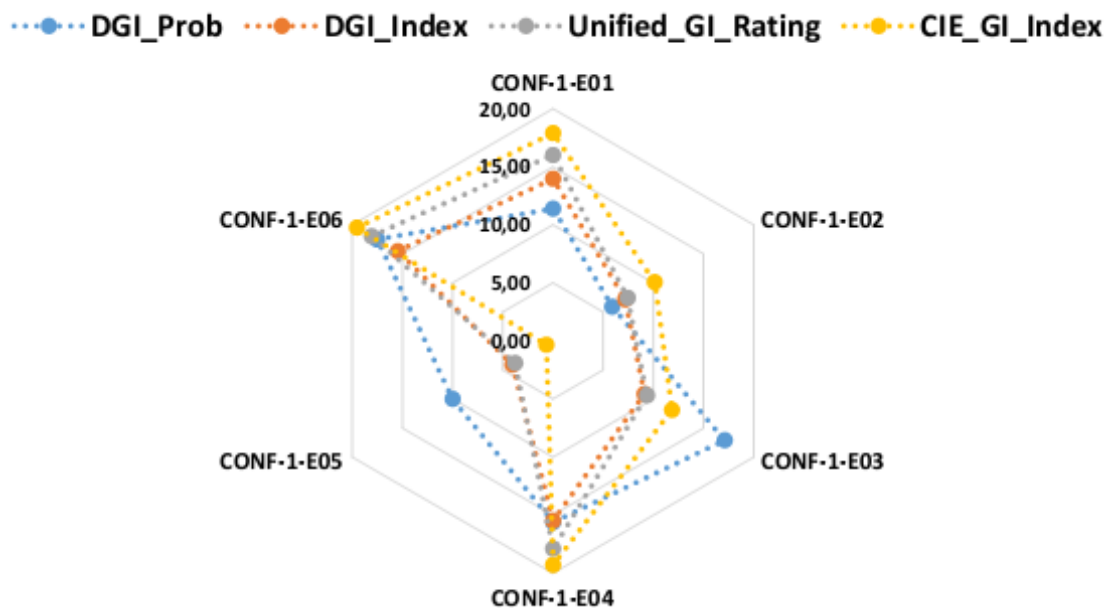


Figure 6.10 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table E, configuration 01 (Source : Auteur)

6.3.1.10. Analyse des résultats de Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06

Les résultats obtenus de la table (E), (Figure 6.9 et 6.10) indiquent que selon le paramètre :

**10.1. CIE Glare Index (CGI) :** par rapport au CGI. On a obtenu des valeurs entre 0.66 à 19.53 enregistrées dans les postes E05, E06 dans la table E, ce qui nous donne deux types de classifications pour cette table, un éblouissement juste perceptible pour les tables E2, E03, E05, avec un CGI inférieur à 13, et un éblouissement acceptable dans les postes E01, E04, E06.

**10.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** les valeurs obtenues de UGR sont comprises entre 3.87 et 18.07 respectivement dans les postes E05 et E06, ce qui donne aussi deux classifications

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

d'éblouissement, le premier c'est un éblouissement juste perceptible, cela dans les postes E02, E03, E05, le second c'est un éblouissement juste acceptable dans les postes E01, EE04, E06.

**10.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Pour le DGI on a enregistré des valeurs comprises entre 3.78 et 18.07, ils ont été enregistrés respectivement dans les postes E05 et E06, selon l'échelle de DGI, nous avons deux types de classifications d'éblouissement, un éblouissement juste perceptible pour les postes E01, E02, E03, E04, E05, là où les valeurs obtenues de DGI sont inférieures à 18, et un éblouissement juste acceptable pour le poste E06.

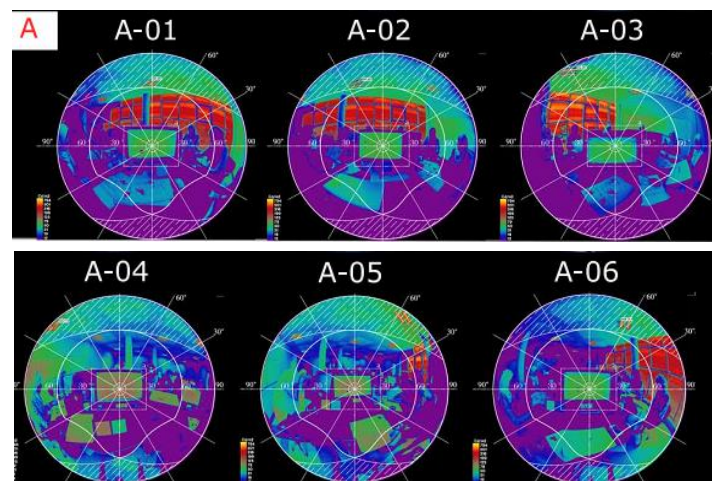
**10.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** les résultats obtenus pour ce dernier indicateur d'éblouissement sont compris dans un intervalle de 5.90 à 17.50, donc par rapport à l'échelle de classification des éblouissements du DGP, nous n'avons qu'une seule classification c'est un éblouissement juste perceptible pour l'ensemble des postes de la table E car toutes les valeurs du DGP sont inférieures à 35%.

### 6.4. Présentation des résultats de la configuration 02

La configuration 02 est la configuration sans les rideaux et avec le film semi transparent, avec l'utilisation de l'éclairage artificiel (on), dans cette dernière il y avait 30 sujets (étudiants), répartis sur 05 tables (table A, table B, table C, table D, table E), nous avons 06 étudiants dans chacune des tables, les usagers sont assis selon différentes positions (voir le chapitre 03). Ensuite nous avons pris des images Fisheye 180° (HDR), à partir du champ visuel (Hua, 2011), de chaque usager, afin de calculer les indicateurs d'éblouissement pour chacune des positions, les résultats obtenus dans la configuration 02 sont représentés par table ci-dessous :

#### 6.4.1. Analyse des résultats de la configuration 02

##### 6.4.1.1. Configuration 02: Table A poste: A01-A02-A03-A04-A05-A06



*Figure 6.11 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table A configuration 02 (Source : Auteur)*



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

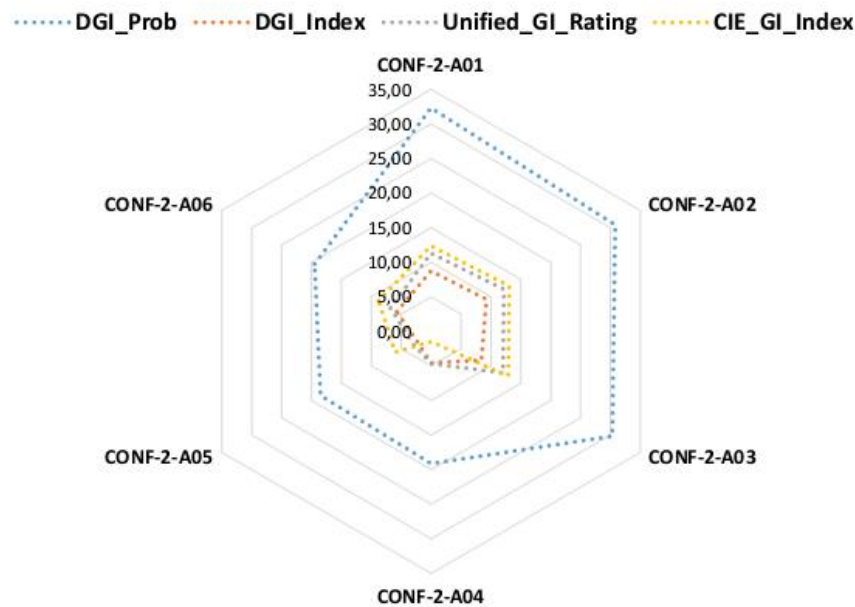


Figure 6.12 : Représentation radar, les indicateurs du confort visuel  $DGI_P$ ,  $DGI_I$ ,  $UGR$  et  $CGI$ , dans les 06 postes de la table A, configuration 02 (Source : Auteur)

### 6.4.1.2. Analyse des résultats de Table A postes : A01-A02-A03-A04-A05-A06

Les résultats obtenus de la table (A), (Figure 6.11 et 6.12) indiquent que selon le paramètre :

**2.1. CIE Glare Index (CGI) :** Pour la table A, on a enregistré des valeurs de CGI, comprises dans un intervalle compris entre 1.74, et 13.08 et cela dans les tables 2-A02 et 2-A04, ces résultats nous informent que pour cet indice l'évaluation d'éblouissement est un éblouissement (juste perceptible), donc un très faible risque d'éblouissement dans l'ensemble des postes de la table A dans la configuration 1. La plus grande valeur été enregistrée dans le poste 2-A04 avec une valeur de 13.08.

**2.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Les valeurs de UGR, obtenues dans la table A, ont été enregistré entre (3.25 et 12.16) dans les postes 2-A02, 2-A05, comme toutes les valeurs de UGR, sont au-dessous de 13 on peut dire que, selon l'échelle de UGR, nous n'avons qu'une seule évaluation d'éblouissement pour tous les postes de la table A, c'est un éblouissement juste perceptible.

**2.3. Daylight Glare Index (DGI) :** pour cet indice, dans la configuration 02, table A nous avons recueilli des valeurs comprises entre (2.49 et 9.28), dans les postes (2-A05 et 2-A02), ce qui nous donne là aussi qu'une seul et unique évaluation d'éblouissement, c'est un éblouissement juste perceptible pour l'ensemble des postes.

**2.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** pour ce dernier indicateur, nous avons recueilli des valeurs de DGP comprises entre (18.50 et 30.80) dans les postes suivants (2-A05, 2-A02), avec ces valeurs et comme toutes les valeurs sont en dessous de 35 %, le DGP aussi nous indique

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

que nous n'avons qu'une seule évaluation pour l'ensemble des postes, c'est un éblouissement juste perceptible pour tous les postes de la table A.

### 6.4.1.3. Configuration 02 : Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05-B06

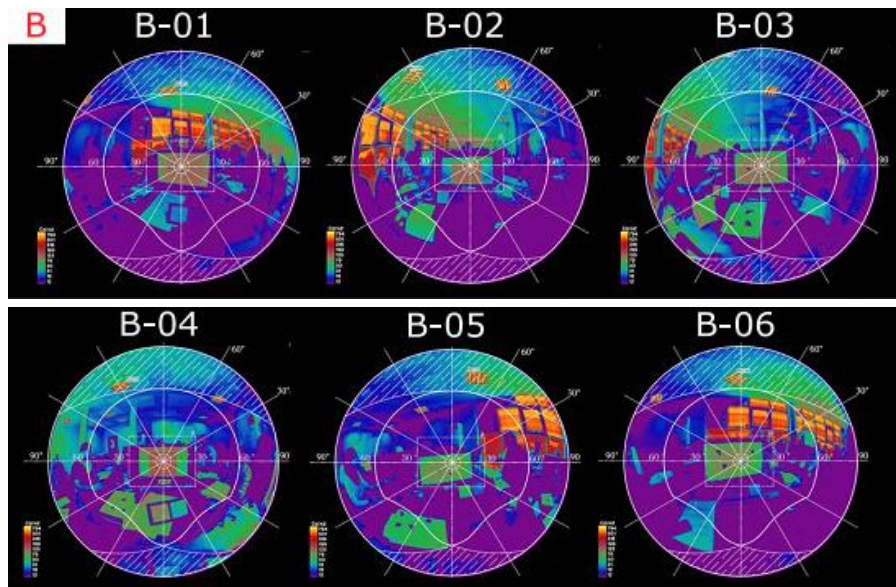


Figure 6.13 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table B configuration 02 (Source : Auteur)

### 6.4.1.4. Analyse des résultats de Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05-B06

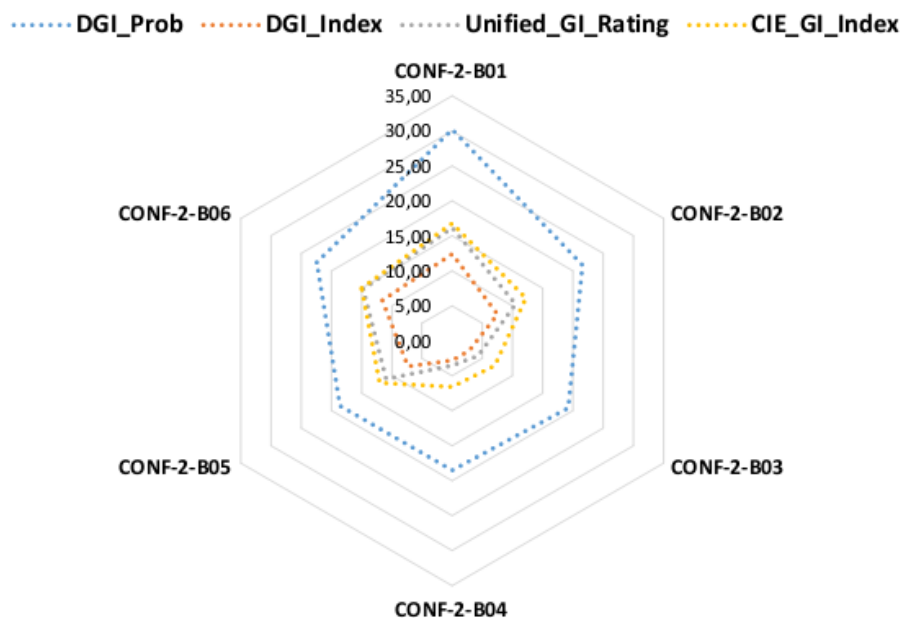


Figure 6.14 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table B, configuration 02 (Source : Auteur)



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

Les résultats obtenus de la table (B), (Figure 6.13 et 6.14) indiquent que selon le paramètre :

**4.1. CIE Glare Index (CGI) :** Les valeurs de CGI pour la table B, configuration 2, varient de 6.60 à 15.02, dans les tables 2-B04, 2-B06, ce qui nous donne selon échelle de CGI, deux évaluations d'éblouissement dans la même table, un éblouissement juste perceptible pour les postes 2-B02, 2-B03, 2-B04, 2-B05 et un éblouissement juste acceptable pour les deux postes 2-B01 et 2B-06.

**4.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Pour ce second indicateur nous avons enregistré des valeurs de UGR comprises entre 4.3 à 16.15 dans les postes 2-B03 et 2-B01, les valeurs de UGR obtenues nous donnent aussi deux évaluations d'éblouissement qui sont : un éblouissement juste perceptible pour les poste 2-B02, 2-B03, 2-B04, 2-B05 et un éblouissement juste acceptable pour les deux postes 2-B01et 2-B06.

**4.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Les résultats obtenus sont dans un intervalle compris entre 2.79 et 12.42 dans les postes 2-B04 et 2-B01, avec ces valeurs de DGI et à la différence des deux premiers indicateurs, nous donnent qu'une seule et même évaluation pour l'éblouissement, c'est l'éblouissement juste pour l'ensemble des postes de la table B.

**4.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** Pour cet indicateur les résultats obtenus dans la table B varient entre 30.20 et 18.50 cela dans les poste 2-B04 et 2-A01, ce qui nous donne là aussi et comme pour le DGI, qu'une seule évaluation un éblouissement juste perceptible pour tous les postes de la table B, car toutes les valeurs obtenues sont au-dessous des 35 %.

### 6.3.1.5. Configuration 02 : Tables C postes : C01-C02-C03-C04-C05-C06

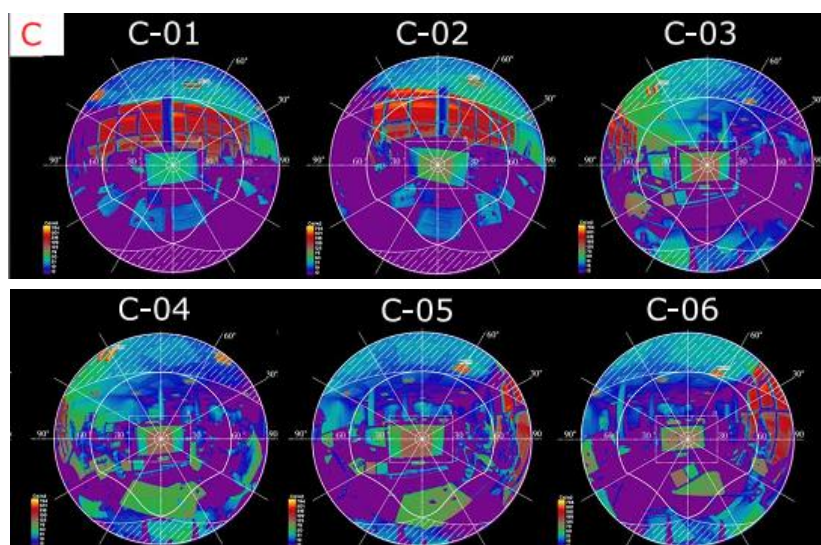


Figure 6.15 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table C configuration 02 (Source : Auteur)

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

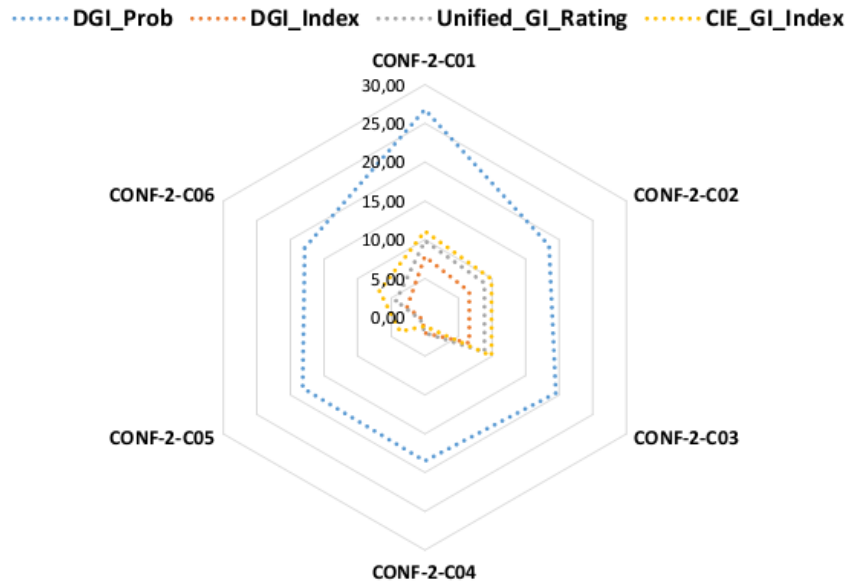


Figure 6.16 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table C, configuration 02 (Source : Auteur)

### 6.4.1.6. Analyse des résultats de Table C postes : C01-C02-C03-C04-C05-C06

Les résultats obtenus de la table (C), (Figure 6.15 et 6.16) indiquent que selon le paramètre :

**6.1. CIE Glare Index (CGI) :** Par rapport aux valeurs de CGI obtenues dans les différents postes de la table C, nous avons enregistré des valeurs entre 1.14 et 9.93 ces dernières ont été enregistrées dans les postes 2-C04, 2-C02 et 2-C03, comme toutes les valeurs obtenues de CGI sont inférieures à 13, on n'a qu'une seule évaluation pour l'ensemble de la table C, c'est un éblouissement juste perceptible, pour tous les postes.

**6.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Pour cet indicateur nous avons recueilli des valeurs entre (0.66 et 9.85) dans les postes (2-C05, 2-C01), les valeurs obtenues de UGR sont inférieures à 13, ce qui nous donne aussi qu'une seule évaluation pour l'ensemble des postes, c'est un éblouissement juste perceptible.

**6.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Les résultats obtenus de DGI, sont dans un intervalle compris entre (0.43 et 7.86) enregistré dans les postes 2-C05, 2-C01, pour cet indicateur aussi on n'a qu'une seule évaluation d'éblouissement, c'est un éblouissement juste perceptible pour tous les postes de la table C.

**6.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** pour ce dernier indicateur nous avons recueilli des valeurs qui sont comprises entre 18.20 et 26.80 dans les postes 2-C05 et 2-C06, vu que toutes les valeurs sont au-dessous de 35 %, ce dernier facteur aussi nous donne qu'une seule évaluation, pour l'ensemble des postes de la table C, c'est un éblouissement juste perceptible.

6.4.1.7. Configuration 02 : Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05-D06

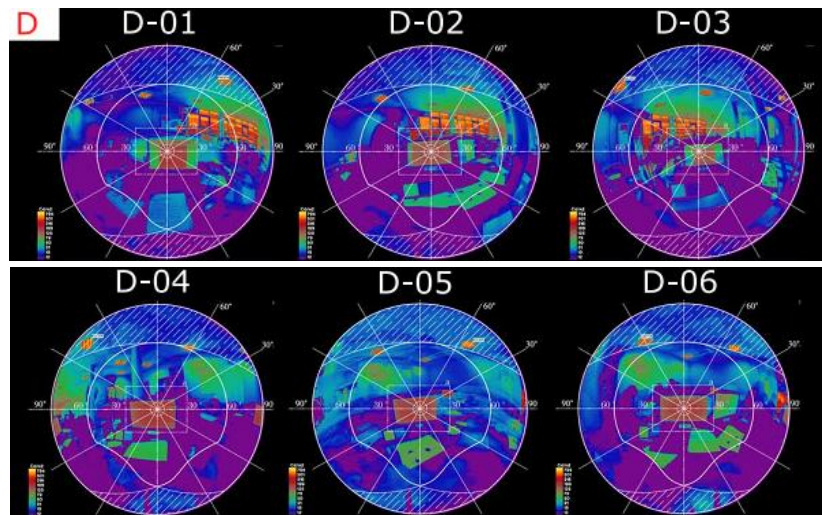


Figure 6.17 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table D configuration 02 (Source : Auteur)

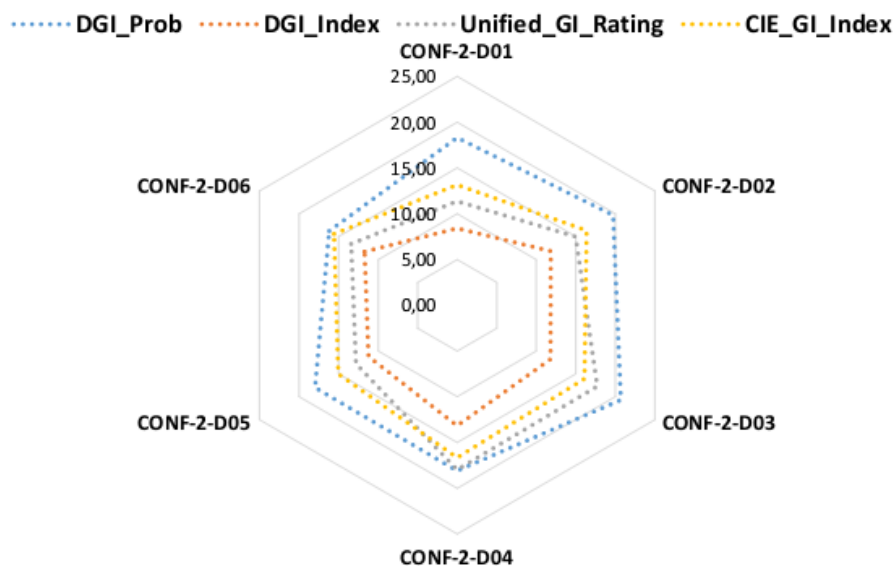


Figure 6.18 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table D, configuration 02 (Source : Auteur)

6.4.1.8. Analyse des résultats de Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05-D06

Les résultats obtenus de la table (D), (Figure 6.17 et 6.18) indiquent que selon le paramètre :

**8.1. CIE Glare Index (CGI) :** pour ce facteur nous avons obtenu des valeurs allant de 13.15 à 16.67, ces valeurs son enregistrées dans les postes 2-D01 et 2-D04, les données obtenues nous indiquent que pour cette table il n’y a qu’une seule évaluation pour l’ensemble des postes, c’est un éblouissement juste acceptable.

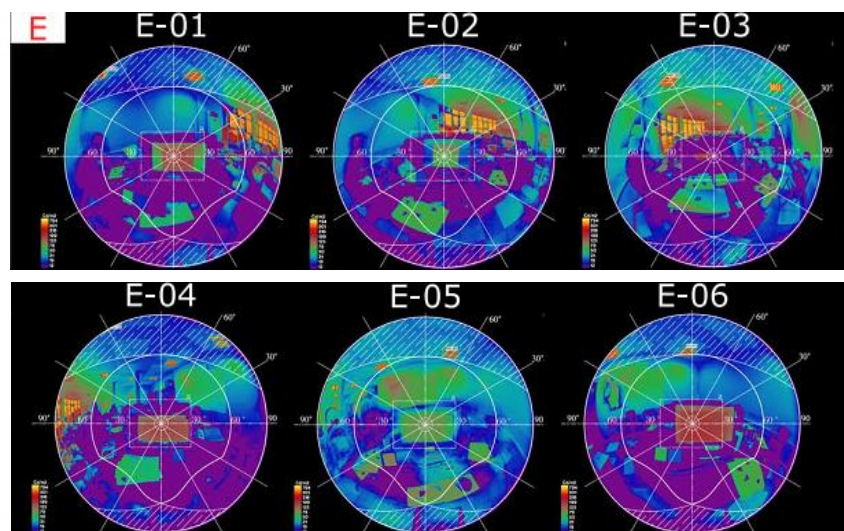
## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

**8.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Les valeurs obtenues pour ce second indicateur sont comprises dans un intervalle de 11.36 à 17.98 ces valeurs ont été enregistrées dans les postes 2-D01 et 2-D04), selon l'échelle UGR ces valeurs nous donnent deux types d'évaluations, la première c'est un éblouissement juste perceptible pour les postes 2-D01, 2-D05 et la seconde est un éblouissement juste acceptable dans les postes 2-D02, 2-D03, 2-D04, 2-D06.

**8.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Pour cette indication, dans la table D, nous avons enregistré des valeurs allant de 8.39 à 13.17 dans les postes (les valeurs minimales dans les postes : 2-D01 et D06), et les valeurs maximales dans les poste 2-D03. Comme toutes les valeurs sont au-dessous de 18, selon l'échelle de DGI, on peut dire nous n'avons qu'une seule évaluation pour l'ensemble des postes de la table D, c'est un éblouissement juste perceptible.

**8.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** pour ce dernier indicateur nous avons obtenu des valeurs sur la table D, comprises entre 16.20 et 20.70 dans les postes 2-D06 et 2-D03, pour ce dernier indice aussi, nous n'avons qu'une seule évaluation pour l'ensemble des postes de la table D, un éblouissement juste acceptable.

### 6.4.1.9. Configuration 02 : Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06



*Figure 6.19 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table E configuration 02 (Source : Auteur)*

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

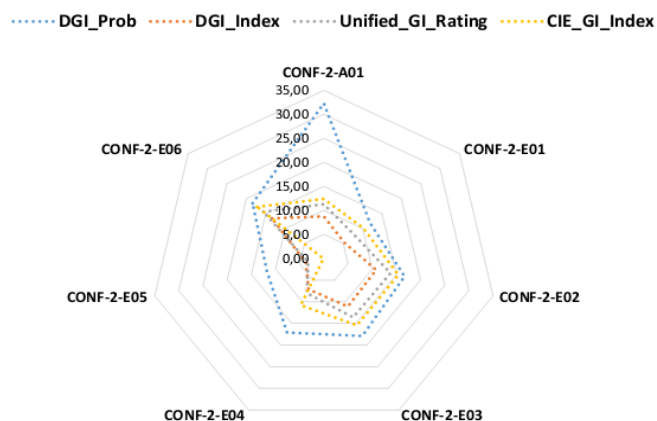


Figure 6.20 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table E, configuration 02 (Source : Auteur)

### 6.4.1.10. Analyse des résultats de Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06

Les résultats obtenus de la table (E), (Figure 6.19 et 6.20) indiquent que selon le paramètre :

**10.1. CIE Glare Index (CGI) :** Les résultats obtenus de CGI dans la table E sont compris entre (0.11 et 13.80) dans les postes 2-E05 et 2-E02, avec ces données Le CGI nous donne deux évaluations d'éblouissement, le premier est un éblouissement juste perceptible, dans les postes 2-E04, 2-E05 et 2-E-06 le second et un éblouissement juste acceptable pour les postes 2-E01, 2-E02 et 2-E03.

**10.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Les résultats obtenus pour la table E sont compris entre 3.24 et 13.80 et cela dans les postes 2-E05 et 2-E02, selon l'échelle de UGR, nous avons là aussi deux types d'évaluation qui sont, un éblouissement perceptible pour les postes 2-E01, 2-E04, 2-E05 et 2-E06, et un éblouissement acceptable pour les postes 2-E02 et 2-E03.

**10.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Pour cet indicateur, les résultats obtenus sont compris entre (11.80 et 18.40), cela dans les postes suivant 2-E05 et 2-E02, comme tous les postes de la table E ont des valeurs de DGI, inférieures à 18, on n'a qu'une seule et même évaluation pour tous les postes, un éblouissement juste acceptable.

**10.4 Daylight Glare Probability (DGP) :** Les résultats obtenus pour ce dernier indicateur, sont compris entre 11.80 et 18.40 ces valeurs sont enregistrées dans les postes 2-E05 et 2-E06, pour ce dernier indicateur aussi nous n'avons qu'une seule évaluation, un éblouissement juste acceptable pour l'ensemble des postes de la table E.

### 6.5. Présentations des résultats de la configuration 03

La configuration 03 est la configuration sans aucune protection, avec l'utilisation de l'éclairage artificiel (on), dans cette dernière il y avait 27 sujets (étudiants) répartis sur 05 tables (table A, table B, table C, table D, table E), nous avons 06 étudiants dans chacune des tables, les usagers sont assis selon différentes positions (voir le chapitre 03). Ensuite nous avons pris des images



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

Fisheye 180° (HDR), à partir du champ visuel (Hua, 2011), de chaque usager, afin de calculer les indicateurs d'éblouissement pour chacune des positions, les résultats obtenus dans la configuration 03 sont représentés par table ci-dessous :

### 6.5.1. Analyse des résultats de la configuration 03

#### 6.5.1.1. Configuration 03: Table A pastes: A01-A02-A03-A04-A05-A06

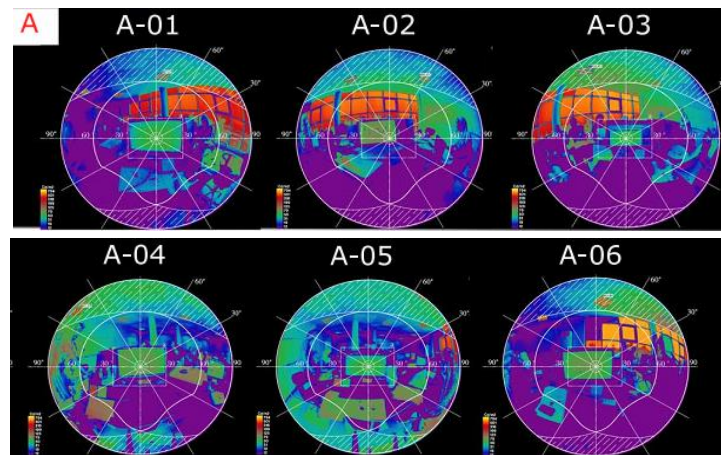


Figure 6.21: Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table A Configuration 03 (Source : Auteur)

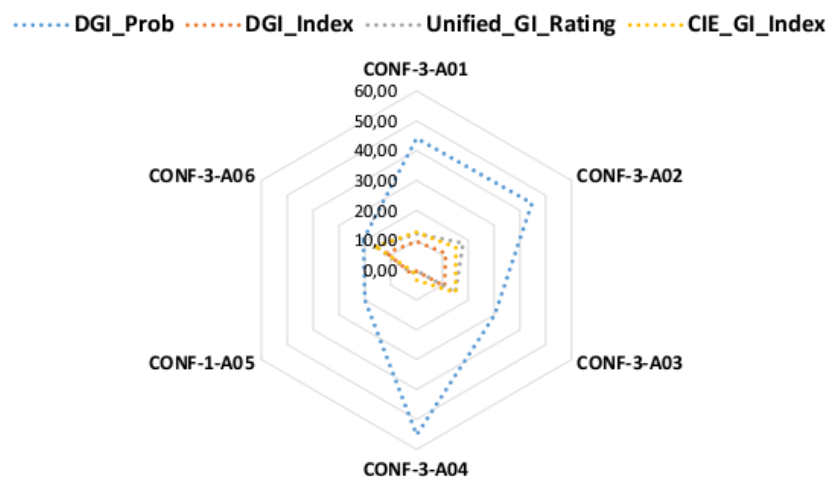


Figure 6.22 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table A, configuration 03 (Source : Auteur)

#### 6.5.1.2. Analyse des résultats de Table A postes : A01-A02-A03-A04-A05-A06

Les résultats obtenus de la table (A), (Figure 6.21 et 6.22) indiquent que selon le paramètre :

**2.1. CIE Glare Index (CGI) :** les données recueillies de CGI sur la table (A), dans la configuration 03, sont comprises entre 1.13 et 15.19 sur les postes suivants 3-A05 et 3-A02, ces valeur de CGI nous indiquent clairement qu'il existe deux types d'évaluations d'éblouissement sur cette table, un éblouissement juste perceptible dans les postes 3-A01,3-



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

A04,3-A05 où les valeurs de CGI enregistrées sont inférieures à 13, et un autre type qui est un éblouissement juste acceptable sur les trois autres postes 3-A02, 3-A03, et 3-A06.

**2.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** pour ce deuxième indice nous avons enregistré des valeurs allant de 0.22 à 17.97 ; ces valeurs ont été recueillies dans les postes 3-A04 et 3-A02, ce qui nous donne selon l'échelle de UGR, deux types d'évaluations, un éblouissement juste perceptible dans les postes 3-A01, 3A04, et 3-A05, le second est un éblouissement juste acceptable dans les postes suivants 3-A02,3-A03, et 3-A06.

**2.2. Daylight Glare Index (DGI) :** Dans la configuration 03 table A, on a enregistré des valeurs de DGI qui varient entre 0.33 à 11.57, dans les postes 3-A04 et 3-A06, à la différence des deux premiers indicateurs, les valeurs recueillies du DGI, nous donnent qu'une seule évaluation d'éblouissement pour l'ensemble des postes, c'est un éblouissement juste perceptible, car toutes les valeurs de DGI sont inférieures à 18.

**2.3. Daylight Glare Probability (DGP) :** Les données recueillies pour ces dernières indications sont entre 20 et 55.20, selon l'échelle d'évaluation d'éblouissement basée sur le DGI, nous avons et à la différence des trois indicateurs précédents, deux types d'éblouissements, le premier est un éblouissement juste perceptible dans les postes 3-A03, 3-A05, 3-A06, le second est un éblouissement juste inconfortable, postes 3-A01,3-A02, 3-A04.

### 6.5.1.3. Configuration 03 : Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05

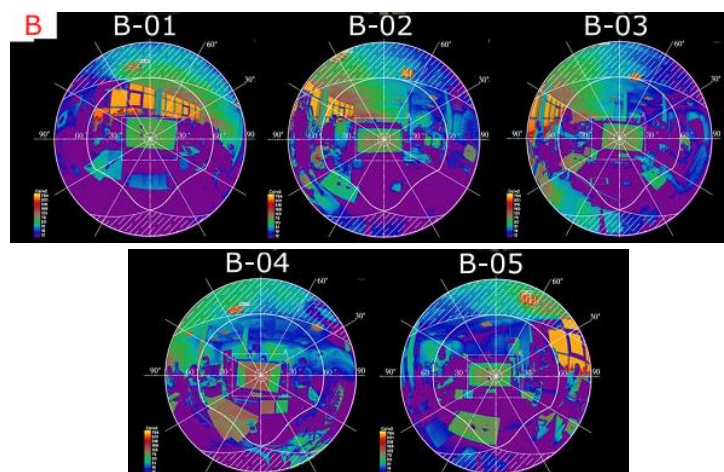


Figure 6.23 : Représentation des images fausses couleurs des 05 postes, de la table B Configuration 03 (Source : Auteur)

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

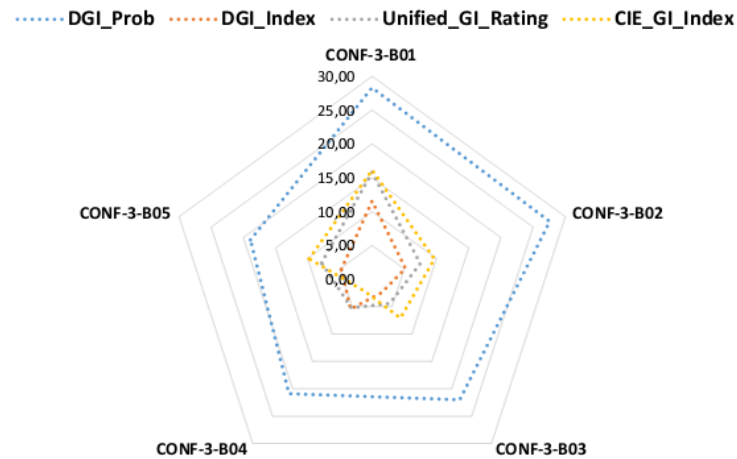


Figure 6.24 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 05 postes de la table B, configuration 03 (Source : Auteur)

### 6.5.1.4. Analyse des résultats de Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05

Les résultats obtenus de la table (B), (Figure 6.23 et 6.24) indiquent que selon le paramètre :

**4.1. CIE Glare Index (CGI) :** Les résultats de ce premier indicateur sont compris entre 2.07 et 16.14, et selon l'échelle d'évaluation de l'éblouissement de GCI, nous avons deux types d'éblouissements, le premier est un éblouissement juste perceptible et cela dans les postes 3-B02, 3-B03, 3-B04, 3-B05 et le second est un éblouissement juste acceptable dans le seul poste 3-B01.

**4.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Les résultats obtenus pour ce deuxième indice sont compris entre 4.41 et 15.80, dans les postes 3-B03 et 3-B01 ces résultats nous donnent deux échelles d'éblouissement pour la table B, comme pour le premier indice, un éblouissement juste perceptible dans les tables 3-B02, 3-B03, 3-B04, 3-B05, et un éblouissement juste acceptable dans le seul poste 3-B01.

**4.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Les données de DGI recueillies sur la table E ont été entre 4.77 et 11.57, enregistrées dans les postes 3-B05 et 3-B01, pour cet indicateur et à la différence des deux premiers, nous n'avons qu'une seule évaluation d'éblouissement pour l'ensemble des postes de la table, un éblouissement juste perceptible.

**4.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** Pour ce dernier indice nous avons enregistré des valeurs comprises entre 18.90 et 28.30, cela sur les postes 3-B05 et 3-B01, comme toutes les valeurs enregistrées de DGP sont au-dessous de 30, on peut conclure que nous n'avons qu'une seule évaluation d'éblouissement pour l'ensemble des postes de la table B, c'est un éblouissement juste perceptible.

6.5.1.5. Configuration 03 : Table C postes : C01- C03-C04-C05-C06

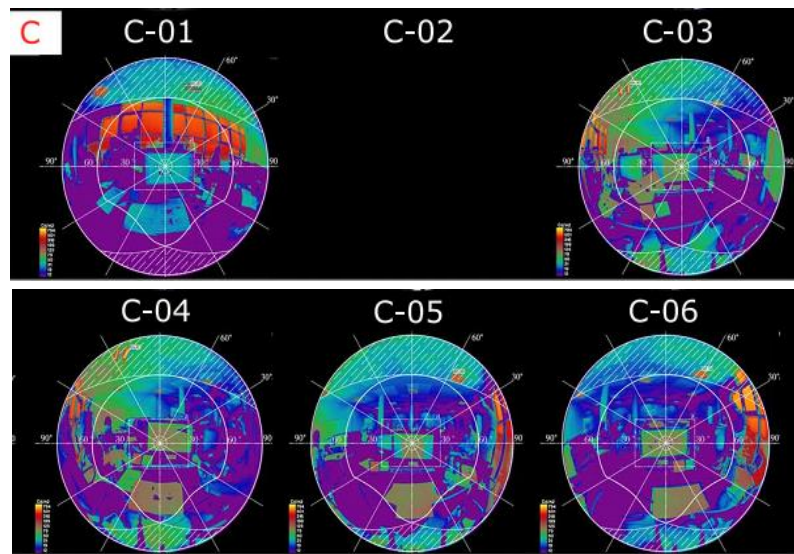


Figure 6.25 : Représentation des images fausses couleurs des 05 postes, de la table C Configuration 03 (Source : Auteur)

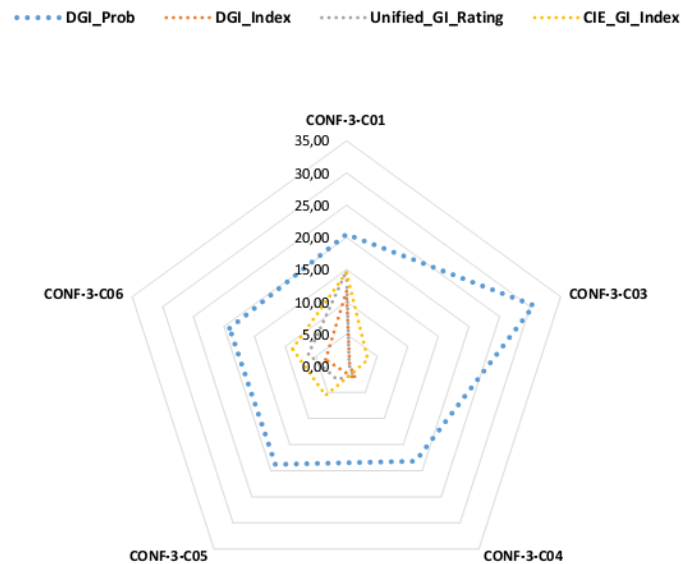


Figure 6.26 : Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 05 postes de la table C, configuration 03 (Source : Auteur)

6.5.1.6. Analyse des résultats de Table C postes : C01-C03-C04-C05-C06

Les résultats obtenus de la table (C), (Figure 6.25 et 6.26) indiquent que selon le paramètre :

**6.1. CIE Glare Index (CGI) :** Les résultats obtenus pour ce premier indicateur sur la table C, sont compris entre 1.41, 14.55, enregistrés sur les postes 3-C04 et 3-C01, selon l'échelle d'évaluation de CGI, on peut déduire que pour la table C, nous avons deux types d'éblouissements, le premier est un éblouissement juste perceptible dans les postes 3-C03, 3C04, 3-C05 et 3-C06, le second est un éblouissement acceptable pour le poste 3-C01.

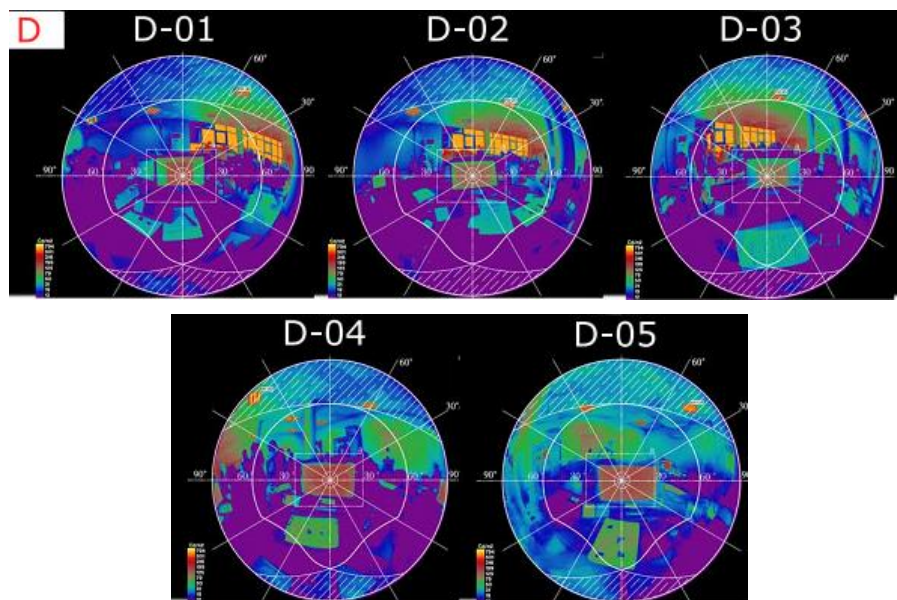
## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

**6.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Les résultats obtenus sur la table C sont entre 0.43 et 14.78), enregistrés dans les postes 3-C03 et 3-C01. Après les résultats obtenus d'UGR, on a aussi deux types d'évaluations d'éblouissement, un éblouissement juste perceptible pour les postes 3-C03, 3-C04, 3-C05, et 3-C06, et un éblouissement acceptable pour le poste 3-C01.

**6.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Pour ce troisième indicateur nous avons relevé des valeurs de DGI entre 0.52 et 11.68, dans les postes 3-C03 et 3C01. Vu les valeurs on peut dire que selon l'échelle de DGI, et à la différence des deux premiers indices, nous n'avons qu'une seule évaluation pour l'ensemble des postes de la table C, c'est un éblouissement juste perceptible.

**6.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** pour ce dernier indicateur nous avons recueilli des résultats compris entre 18.20 et 30.60, cela dans les postes 3-C04 et 3-C03. Vu les résultats de DGI on peut déduire, que nous n'avons qu'une seule évaluation d'éblouissement pour l'ensemble des postes de la table C, c'est un éblouissement juste perceptible.

### 6.5.1.7. Configuration 03 : Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05



*Figure 6.27 : Représentation des images fausses couleurs des 05 postes, de la table D, Configuration 03 (Source : Auteur)*

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

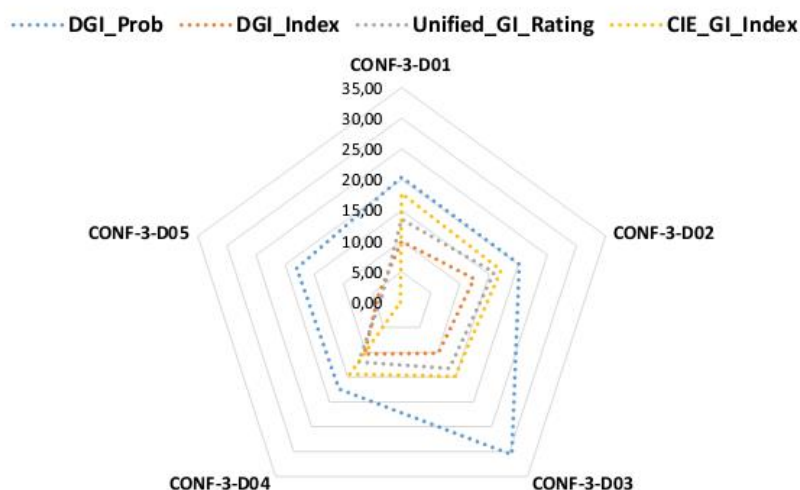


Figure 6.28 : Représentation radar les indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 05 postes de la table D, configuration 03 (Source : Auteur)

### 6.5.1.8. Analyse des résultats de Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05

Les résultats obtenus de la table (D), (Figure 6.27 et 6.28) indiquent que selon le paramètre :

**8.1. CIE Glare Index (CGI) :** Les résultats recueillis dans le table D, sont compris entre 0.22 et 17.75 ces valeurs ont été enregistrées dans les postes 3-D05 et 3D-01, selon l'échelle de CGI, nous avons deux évaluations d'éblouissement pour cette table, la première est un d'éblouissement juste acceptable dans le seul poste 3-D05, et le second un éblouissement acceptable, pour les postes 3-C01, 3-C02, 3-C3,3-C04.

**8.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Les données enregistrées pour ce second indicateur sont entre 3.36 et 18.85 cela dans les postes 3-D05 et 3-D02, en se référant à l'échelle de UGR, on peut dire que nous avons deux évaluations, un éblouissement juste perceptible dans les postes 3-D04 et 3-D05 et un éblouissement juste acceptable dans les postes 3-D01, 3-D02, 3-D03.

**8.3. Daylight Glare Index (DGI) :** On a enregistré des valeurs de DGI entre 3.97 et 12.45 dans les postes 3-D05 et 3-D02, selon les résultats obtenus on peut dire que, à la différence des deux premiers indicateurs, nous avons une seule évaluation d'éblouissement, c'est un éblouissement juste perceptible pour l'ensemble des postes de la table D.

**8.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** Les résultats recueillis de ce dernier indicateur sont compris entre 17.40 et 30.60, postes 3-D04, 3-D03, en se référant à l'échelle de DGP, on peut dire que nous n'avons qu'une seule évaluation de l'éblouissement pour tous les postes de la table D, un éblouissement perceptible.

### 6.5.1.9. Configuration 03 : Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

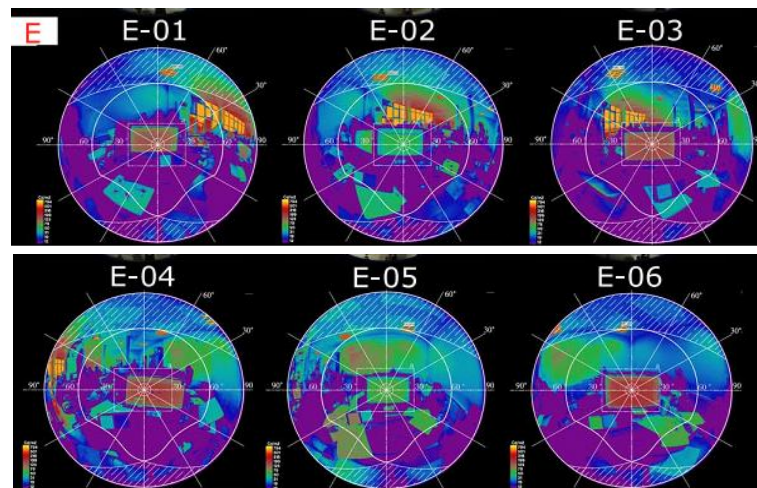


Figure 6.29 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table E, Configuration 03 (Source : Auteur)

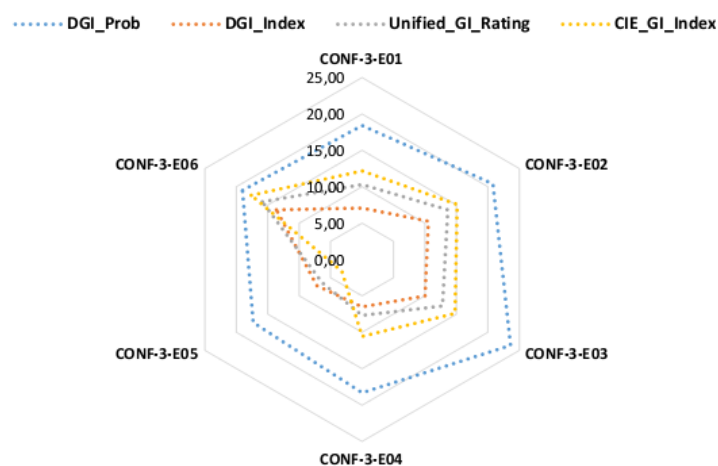


Figure 6.30 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel  $DGI_P$ ,  $DGI_I$ ,  $UGR$  et  $CGI$ , dans les 06 postes de la table E, configuration 03 (Source : Auteur)

### 6.5.1.10. Analyse des résultats de Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06

Les résultats obtenus de la table (E), (Figure 6.29 et 6.30) indiquent que selon le paramètre :

**10.1. CIE Glare Index (CGI) :** Les valeurs enregistrées de CGI dans la table E, sont comprises entre 3.21 et 15.11 ces données ont été enregistrées dans les postes 3-D05 et 3-D02, en se référant à l'échelle de CGI, ce dernier nous donne deux type d'évaluations d'éblouissement, le premier est un éblouissement juste perceptible, pour les postes 3-E01, 3-E04, 3-E05, 3-E06, le second est un éblouissement juste acceptable pour les postes 3-E02, 3-E03.

**10.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Pour ce second indicateur, les résultats enregistrés varient entre 6.36 dans le poste 3-E05 et 15.86 enregistrés dans le poste 3-E06, D'après les résultats de UGR obtenus dans la table E, nous avons deux types d'éblouissements, le premier est un éblouissement juste perceptible dans les postes 3-E01, 3-E03, 3-E04, 3-E05, et un éblouissement juste acceptable dans les postes 3-E02 et 3-E06.



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

**10.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Les valeurs de DGI recueillies sur la table E ont été entre 6.50 et 13.63, enregistrées dans les postes 3-E04 et 3-E06, pour cet indicateur et à la différence des deux premiers, nous n'avons qu'une seule évaluation d'éblouissement juste perceptible pour l'ensemble des postes de la table E.

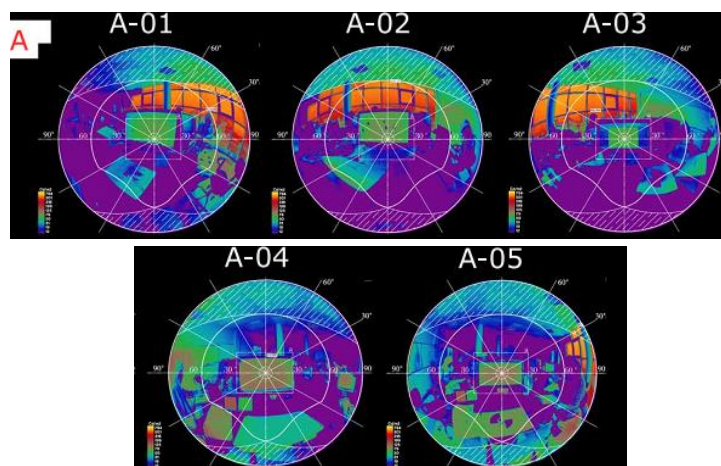
**10.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** Pour ce dernier indice nous avons enregistré des valeurs comprises entre 17.30 et 23.60, cela sur les postes 3-E05 et 3-E03, comme toutes les valeurs enregistrées de DGP sont inférieures à 30, on peut dire que nous n'avons qu'une seule évaluation d'éblouissement pour l'ensemble des postes de la table E, c'est un éblouissement juste perceptible.

### 6.3.4. Présentation des résultats de la configuration 04

La configuration 04 est la configuration sans aucune protection, mais sans éclairage artificiel, l'éclairage artificiel (OFF). Dans cette dernière, il y avait 28 sujets (étudiants), répartis sur 05 tables (table A, table B, table C, table D, table E), nous avons 06 étudiants dans chacune des tables, les usagers sont assis selon différentes positions (voir le chapitre 03). Ensuite nous avons pris des images Fisheye 180° (HDR), à partir du champ visuel (Hua, 2011) de chaque usager afin de calculer les indicateurs d'éblouissement pour chacune des positions, les résultats obtenus dans la configuration 04 sont représentés par table ci-dessous :

## 6.6. Analyse des résultats de la configuration 04

### 6.6.1. Configuration 04: Table A postes: A01-A02-A03-A04-A05-A06



*Figure 6.31 : Représentation des images fausses couleurs des 05 postes, de la table A Configuration 04 (Source : Auteur)*

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

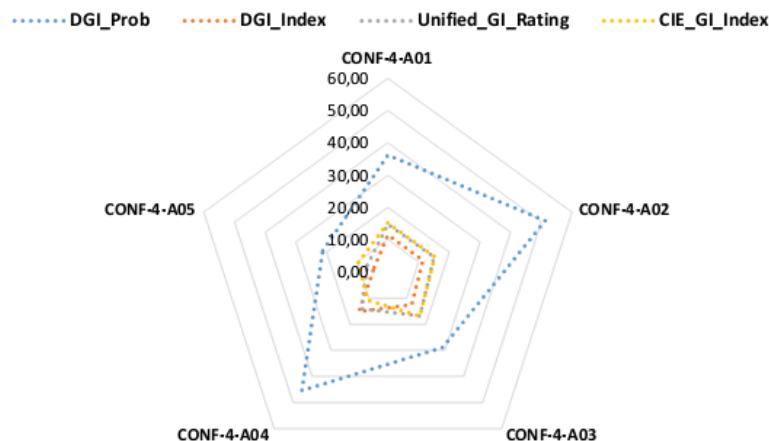


Figure 6.32 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 05 postes de la table A, configuration 04 (Source : Auteur)

### 6.6.1.2. Analyse des résultats de Table A postes : A01-A02-A03-A04-A05

Les résultats obtenus de la table (A), (Figure 6.31 et 6.32) indiquent que selon le paramètre :

**2.1. CIE Glare Index (CGI) :** Les valeurs enregistrées de CGI dans la table A, configuration 04 sont comprises entre 10.97 et 15.26 ces valeurs ont été enregistrées dans les postes 4-A04 et 4-A02, selon les résultats obtenus on peut dire que nous avons deux types d'évaluations d'éblouissement dans la table A, le premier est un éblouissement juste perceptible sur un seul poste 4-A04, le second est un éblouissement juste acceptable dans les postes 4-A01, 4-A02, 4-A03 et 4-A05.

**2.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Les données recueillies pour ce second indicateur, sont comprises entre 14.04 dans le poste 4-A04 et 16.81 enregistrées dans le poste 4-A03, d'après les résultats de UGR obtenus dans la table A, et à la différence du premier indicateur, nous n'avons qu'un seul type d'éblouissement, pour l'ensemble des postes de la table A, c'est un éblouissement juste acceptable.

**2.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Pour les valeurs de DGI recueillies sur la table A, elles varient entre 4.74 et 15.19, enregistrées dans les postes 4-A05 et 4-A04, pour cet indicateur et à la différence des deux premiers, nous n'avons qu'une seule évaluation d'éblouissement, un éblouissement juste perceptible pour l'ensemble des postes de la table A.

**2.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** Pour ce dernier indicateur, nous avons enregistré des valeurs de DGI comprises entre 28.90 et 51.30, cela sur les postes 4-A03 et 4-A02, ce qui nous donne deux types d'évaluations, la première évaluation est un éblouissement juste perceptible dans le seul poste 4-A03, et la deuxième évaluation est un éblouissement juste acceptable dans les postes 4-A01, 4-A02, 4-A04, 4-A05.

6.6.1.3. Analyse des résultats de Table B postes : B01-B02-B03-B04-B05

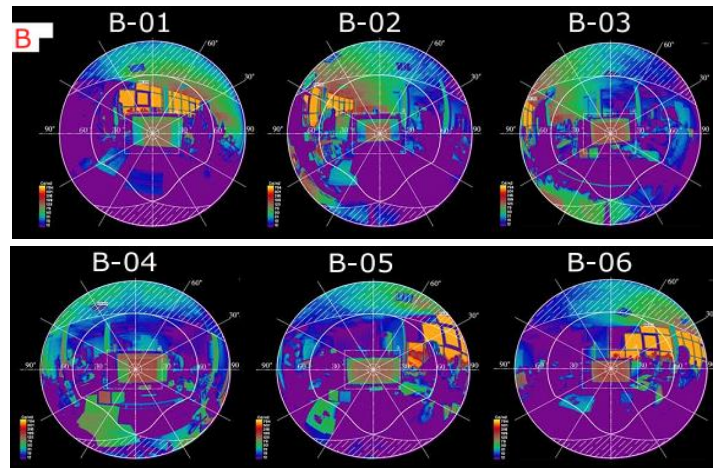


Figure 6.33 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table B Configuration 04 (Source : Auteur)

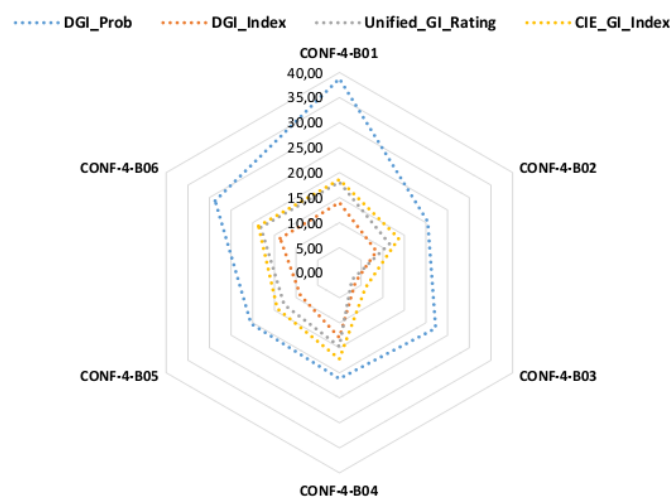


Figure 6.34 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table B, configuration 04 (Source : Auteur)

6.6.1.4. Analyse des résultats de Table B postes : B01-B02- B03-B04-B05-B06

Les résultats obtenus de la table (B), (Figure 6.33et 6.34) indiquent que selon le paramètre :

**4.1. CIE Glare Index (CGI) :** les données recueillies pour ce premier indicateur sur la table B, sont comprises entre 06.00, 18.68, enregistrées sur les postes 4-B03 et 4-B06, selon l'échelle d'évaluation de CGI, on peut conclure que pour la table B, nous avons deux types d'éblouissements, le premier est un éblouissement juste perceptible sur le seul poste 4-B03, le second est un éblouissement acceptable pour les postes 4-B01,4-B02,4-B04,4-B05,4-B06.

**4.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Les résultats obtenus sur la table B sont entre 2.87 et 14.73, enregistrés dans les postes 4-B03 et 4-B04. D'après les résultats obtenus d'UGR, on a aussi deux types d'évaluations d'éblouissement, un éblouissement juste perceptible pour les

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

postes 4-B02, 4-B03, et 4-B05 et un éblouissement acceptable pour les postes 4-B01, 4-B05, 4-B06.

**4.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Les données enregistrées pour ce troisième indicateur sont comprises entre 3.71 et 14.0, dans les postes 4-B03 et 4-B01. Vu les valeurs, on peut dire que selon l'échelle de DGI, et à la différence des deux premiers indices, nous n'avons qu'une seule évaluation pour l'ensemble des postes de la table B, c'est un éblouissement juste perceptible.

**4.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** Les valeurs enregistrées pour ce dernier indicateur sont comprises entre (20.40 et 38.80), dans les postes (4-B05 et la même valeur pour les postes 4-B01, 4-B06). Vu les résultats de DGI on peut déduire, que nous avons deux type d'évaluations pour cette table, la première est un éblouissement juste perceptible, sur les tables (4-B02, 4-B03, 4-B04, 4-B05) le second est un éblouissement juste acceptable pour les postes (4-A01 et 4-A06).

### 6.6.1.5. Analyse des résultats de Table C postes : C01-C03-C04-C05-C06

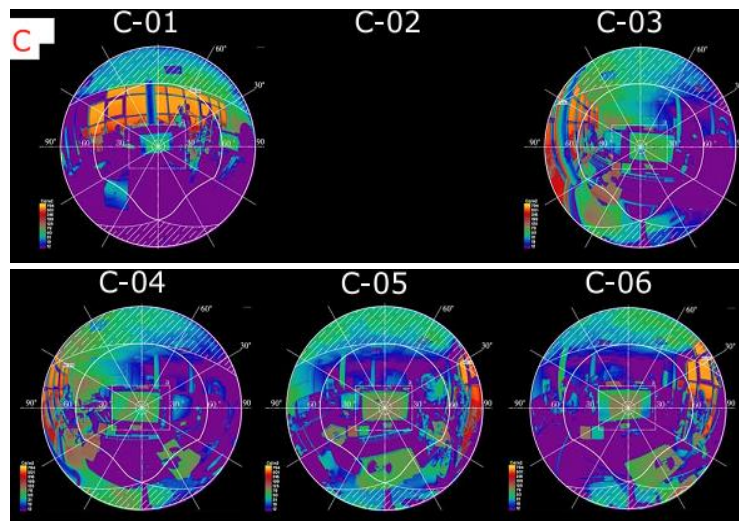


Figure 6.35 : Représentation des images fausses couleurs des 05 postes, de la table C Configuration 04 (Source : Auteur)

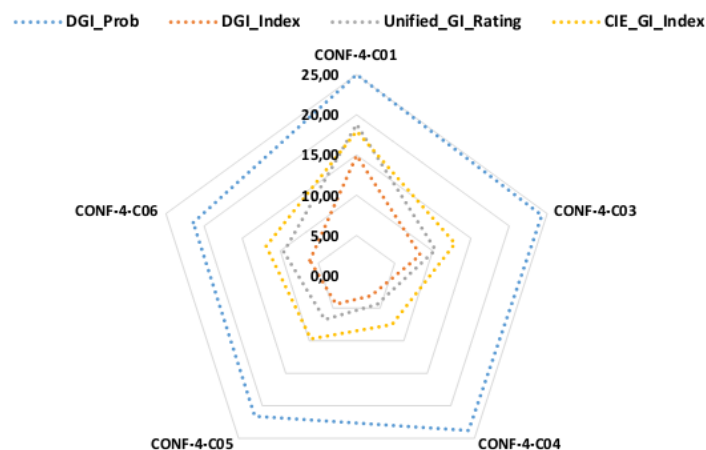


Figure 6.36 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 05 postes de la table C, configuration 04 (Source : Auteur)

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

### 6.6.1.6. Analyse des résultats de Table C postes : C01-C03-C04-C05 -C06

Les résultats obtenus de la table (C), (Figure 6.35 et 6.36) indiquent que selon le paramètre :

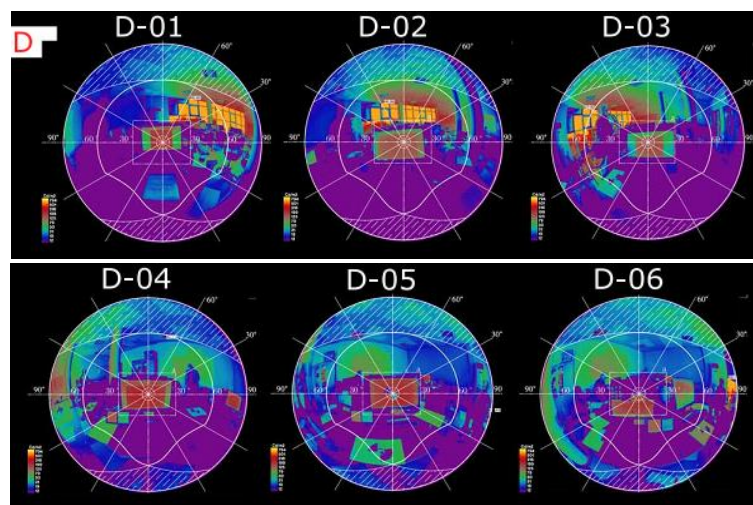
**6.1. CIE Glare Index (CGI) :** Les valeurs de CGI pour la table C, configuration 4, varient entre 7.50 et 17.96, dans les tables 4-C04, 4-C01, ce qui nous donne selon échelle de CGI, deux évaluations d'éblouissement sur la table, un éblouissement juste perceptible pour les postes 4-C03, 4-C04, 4-C05, et un éblouissement juste acceptable pour le poste 4-C01.

**6.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Pour ce second indicateur nous avons enregistré des valeurs de UGR comprises entre 4.41 et 18.83 dans les postes 4-C04 et 4-C01, les données de UGR obtenues nous donnent deux évaluations d'éblouissement qui sont : un éblouissement juste perceptible pour les poste 4-C03, 4-C04, 4-C05 et un éblouissement juste acceptable pour le poste 4-C01.

**6.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Les résultats obtenus sont dans un intervalle compris entre 3.09 et 14.97 dans les postes 4-C04 et 4-C01, avec ces valeurs de DGI et à la différence des deux premiers indicateurs, ce dernier ne nous donne qu'une seule et même évaluation pour l'éblouissement, c'est l'éblouissement juste pour l'ensemble des postes de la table C.

**6.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** Pour cet indicateur les résultats obtenus dans la table C varient entre 21.60 et 25.00 cela dans les postes 4-C05 et 4-C01, ce qui nous donne là aussi et comme pour le DGI, qu'une seule évaluation un éblouissement juste perceptible pour tous les postes de la table C, car toute les valeurs obtenues sont au-dessous des 35 %.

### 6.6.1.7. Analyse des résultats de Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05-D06



*Figure 6.37 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table D Configuration 04 (Source : Auteur)*



## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

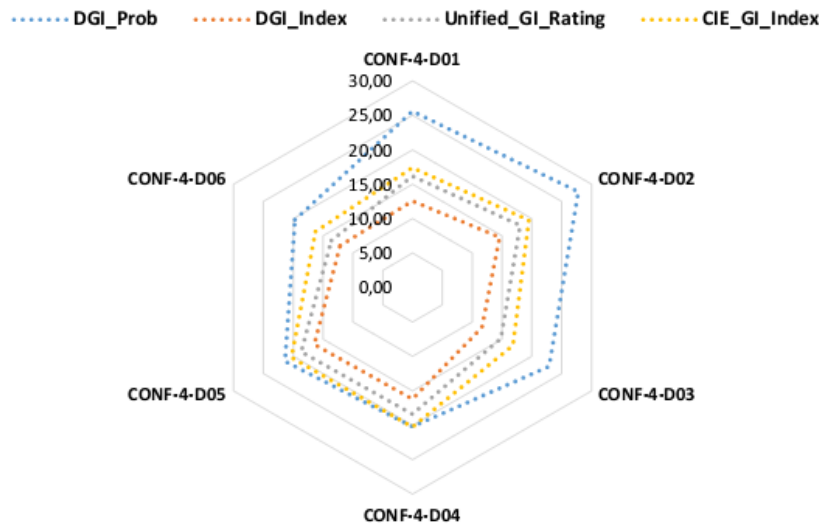


Figure 6.38 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table D, configuration 04 (Source : Auteur)

### 6.6.1.8. Analyse des résultats de Table D postes : D01-D02-D03-D04-D05-D06

Les résultats obtenus de la table (D), (Figure 6.37 et 6.38) indiquent que selon le paramètre :

**8.1. CIE Glare Index (CGI) :** les données recueillies de CGI sur la table D, configuration 04, sont comprises entre 16.27 et 20.33 sur les postes suivant 4-D06 et 4-D05, vu que toutes les valeurs obtenues de CGI, sont supérieures à 13, on a qu'une seule évaluation pour tous les postes de la table D, c'est un éblouissement juste acceptable.

**8.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** Pour ce deuxième indice nous avons enregistré des valeurs allant de 13.62 à 18.68, ces valeurs ont été recueillies dans les postes 4-D06 et 4-D05, ce qui nous donne selon l'échelle de UGR, une seule et même évaluation, un éblouissement juste acceptable pour l'ensemble des postes. La même évaluation que pour le premier indicateur

**8.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Dans la configuration 04 table D, on a enregistré des valeurs de DGI qui varient entre 11.63 à 16.50, dans les postes 4-D03 et 4-D05, à la différence des deux premiers indicateurs, les valeurs recueillies du DGI, nous donnent un autre type d'éblouissement, c'est un éblouissement juste acceptable, pour tous les postes de la table D.

**8.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** Les données recueillies pour ce dernier indicateur sont entre 19.70 et 17.80, selon l'échelle d'évaluation d'éblouissement du DGP, nous avons un seul type d'éblouissement, juste perceptible pour tous les postes de la table D.



6.6.1.9. Analyse des résultats de Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06

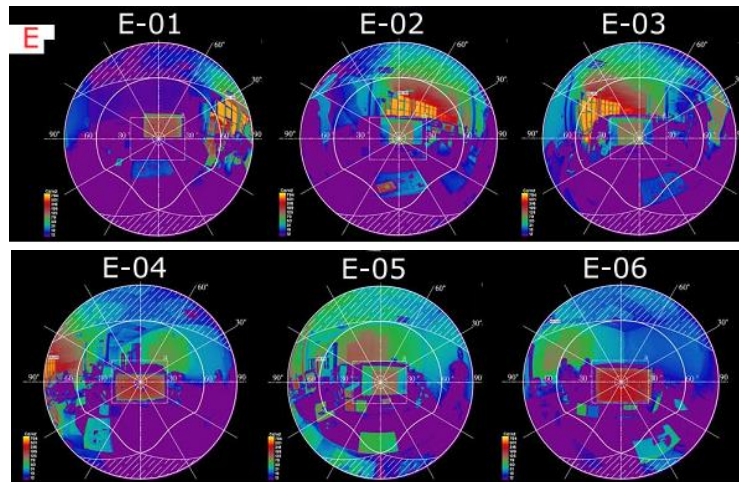


Figure 6.39 : Représentation des images fausses couleurs des 06 postes, de la table E Configuration 04 (Source : Auteur)

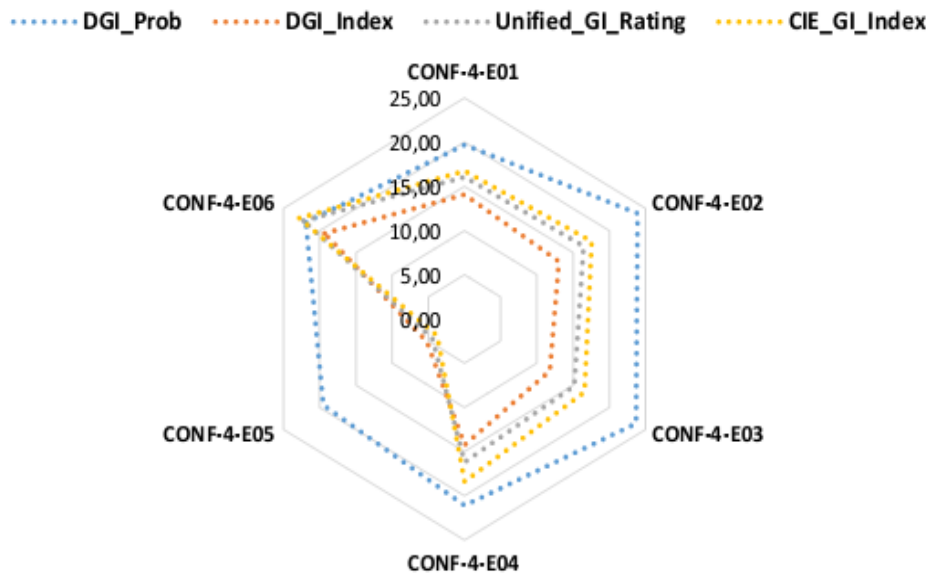


Figure 6.40 : Représentation radar des indicateurs du confort visuel DGI\_P, DGI\_I, UGR et CGI, dans les 06 postes de la table E, configuration 04 (Source : Auteur)

6.6.1.10. Analyse des résultats de Table E postes : E01-E02-E03-E04-E05-E06

Les résultats obtenus de la table (E), (Figure 6.39 et 6.40) indiquent que selon le paramètre

**10.1. CIE Glare Index (CGI) :** par rapport au CGI, on a obtenu des valeurs comprises entre (3.74 à 22.83) enregistrées dans les poste (4-E05, 4-E06) dans la table E, ce qui nous donne deux types de classifications pour cette table, un éblouissement juste perceptible pour la table (4-E05) avec un CGI inférieur à 13, et un éblouissement acceptable dans les postes (4-E01, 4-E02, 4-E03, 4-E04, 4-E06).

**10.2. CIE Unified Glare Rating (UGR) :** les valeurs obtenues de UGR sont comprises entre (4.44 et 22.26) respectivement pour les postes (4-E05 et E06), ce qui donne aussi deux

## **Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle**

classifications d'éblouissement, le premier c'est un éblouissement juste perceptible pour le poste (4-E05), le second c'est un éblouissement juste acceptable dans les postes (4-E01, 4-E02, 4-E03, 4-E04, 4-E06).

**10.3. Daylight Glare Index (DGI) :** Pour le DGI, on a enregistré des valeurs comprises entre (5.18 et 19.33), elles ont été enregistrées respectivement dans les postes (4-E05 et 4-E06), selon l'échelle de DGI, nous avons deux types de classifications d'éblouissement, un éblouissement juste perceptible pour les postes (4-E01, 4-E02, 4-E03, 4-E04, 4-E05), là où les valeurs obtenues de DGI sont inférieures à 18, et un éblouissement juste acceptable pour le poste (4-E06).

**10.4. Daylight Glare Probability (DGP) :** les résultats obtenus pour ce dernier indicateur d'éblouissement sont compris dans un intervalle de (19.50 à 21.90), donc par rapport à l'échelle de classification des éblouissements du DGP, nous n'avons qu'une seule classification, c'est un éblouissement juste perceptible pour l'ensemble des postes de la table (E) car toutes les valeurs obtenues du DGP sont inférieures à 35%.

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

### Conclusion

Dans une phase préliminaire (chapitre précédent) dans notre première partie pratique, nous avons réalisé une série de mesures d'éclairages et de luminances dans l'ensemble de la salle informatique afin de comprendre la répartition des contrastes, et de comparer les valeurs d'éclairage pour les différentes activités dans différentes configurations avec les valeurs recommandées dans chaque poste. L'objectif principal de ce chapitre consiste à mettre en évidence les relations qui existent entre les descripteurs lumineux d'éblouissement, et le types de configuration lumineuse de la salle (dans les différentes configurations de la salle informatique), et la position de l'utilisateur dans la salle. Pour cela nous avons mesuré les quatre indices d'éblouissement lumineux qui sont ; (Daylight Glare Index (DGI), CIE Glare Index (CGI), Unified Glare Rating (UGR) and the Daylight Glare Probability (DGP)), grâce à l'image HDR, ensuite nous avons procédé à la comparaison entre les évaluations subjectives, proposées par ces indices, les résultats expérimentaux de ce chapitre ont montré que : Par rapport au (DGI), nous avons constaté que de manière générale, il existe un très faible risque d'éblouissement, dans les 04 configurations, car la majorité des valeurs enregistrées sont en dessous de 18, sauf pour 06 postes où on a enregistré des valeurs supérieures à 18, ce qui veut dire un risque d'éblouissement juste acceptable. Ces postes sont le poste 4-D01, configuration 04, avec une valeur de (DGI) égale à 19.33, et les postes (1-A02, 1C03, 1D01,1-A03,1-C04) avec des valeurs comprises entre 18 et 19.61 dans la configuration 01. De ces résultats, on peut dégager deux points très importants, le premier est que le plus grand risque d'éblouissement selon le DGI est dans la configuration 01, poste 1-A-02, suivi par le poste 4-D-01 configuration 04. Le second point est si le DGI nous donne des évaluations presque identiques de l'éblouissement entre différents postes, en revanche on peut selon ce dernier classer les configurations de celles qui représentent moins de risque d'éblouissement à celle qui représentent le plus grand risque comme suit : configuration 02, configuration 03, configuration 04, configuration 01. Par rapport au (CGI), selon ce dernier, et à la différence du premier indice, on peut conclure qu'il existe 03 types d'évaluations d'inconfort pour les différents postes des 04 configurations, où près de la moitié des postes ont un inconfort juste perceptible, l'autre moitié un inconfort juste acceptable. Les postes (1-A02 et 1-A01), configuration 01, et 4-D01 configuration 04, on selon le CGI, une évaluation d'éblouissement juste inconfortable. Selon le CGI le poste qui a le plus grand risque d'éblouissement est le poste 4-D01 configuration 04, suivi par le poste 1-A02 configuration 01. en se référant à ce dernier indicateur on peut classer les configurations de la plus confortable à la moins confortable comme suit : configuration 02, configuration 03, configuration 04, configuration 01. Par rapport au (UGR)

## Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle

on a pu constater que, pour cet indicateur aussi on a trois types d'évaluations d'éblouissement, qui sont un éblouissement juste perceptible pour presque la moitié des postes, et un risque d'éblouissement juste acceptable pour l'autre moitié. Et un risque d'éblouissement juste inconfortable pour les poste 1-A02, configuration 01, et le poste 4-D 01, configuration 04. On peut constater que le poste qui représente plus de risque d'éblouissement est le poste 1-A02 suivi par le poste 4-D01. Selon le UGR, on peut classer les configurations de la plus confortable à la plus inconfortable comme suit : configuration 02, configuration 03, configuration 04, configuration 01. Par rapport à ce dernier indicateur (DGP), on a constaté l'existence d'une certaine irrégularité des résultats entre les différents indicateurs, à l'inverse des trois premiers indices, car ce dernier nous a fourni 04 évaluation d'éblouissement d'inconfort, qu'on peut diviser selon les configurations en deux parties, la première partie configurations 01 et 02 ou nous avons la même évaluation d'inconfort pour l'ensembles des postes des deux configurations, un inconfort juste perceptible. Dans la seconde partie nous avons les résultats obtenus dans les configurations 03 et 04, où nous avons enregistré un risque d'inconfort intolérable pour les postes 4-1B02 configuration 04 et le poste 3-E02 configuration 03, et un risque d'inconfort juste inconfortable pour les postes 3-A05 et 3-B05 configuration 03 le même risque d'inconfort pour les postes 4-B02 et 4-C02 dans la configuration 04. Une évaluation d'un risque d'inconfort juste acceptable dans les deux postes 4-1A02 et 4-D03 , configuration 4, pour le reste des postes des configurations 03 et 04 l'évaluation est la même c'est à dire un risque d'inconforts juste perceptible, les valeurs maximales d'inconfort (inconfort intolérable) ont été enregistrées dans les postes 3-E02 avec une valeur de DGP égale à 55.20 configuration 03, suivie par le poste 4-B02 avec une valeur de 51.30 configuration 04, selon le DGP, on peut classer les configurations de la plus confortable à la moins confortable comme suit : configuration 01 , configuration 02 , et en troisième position, on trouve les deux configurations 03 configuration 04, avec plusieurs postes avec un inconfort.

D'après les résultats de luminance obtenus dans les différentes configurations, on a pu constater que pour la luminances du fond, les trois configurations (01, 02et 03) ont une luminance comprise entre  $20 \text{ cd/m}^2$  et  $50 \text{ cd/m}^2$ , par contre celle de la configuration 03 elle est supérieure à  $150 \text{ cd/m}^2$  ; pour le second point, le contraste entre la luminance moyenne du panorama et la luminance maximale sur le champ visuel, on a pu déduire, que pour les configurations (02, 03,04) la valeurs du ratio n'a pas dépassé la valeur (01), ce qui veut dire, que les deux luminances panorama, et la luminance maximale sont très proches, mais pour la configuration 01, pour la totalité des postes, les valeurs supérieures à 01, elles sont dans une fourchette de (01 à 5.50) enregistrées sur l'ensemble des postes de la configuration 01. Ce qui

## **Paramètre physique et évaluation qualitative des ambiances lumineuses dans la salle**

traduit existence d'un grand contraste dans cette configuration. La plus grande valeur de ratio est de 5.50 a été enregistrée dans le poste 1-D05 configuration 01. Pour le dernier point , le ratio de contraste entre les luminances moyennes panorama et la luminance maximale sur le champ visuel, on n'a pas pu faire une interprétation précise des résultats car l'ensemble des résultats obtenus sont impliqués les uns dans les autres, dans la même configuration, ce qui traduit une grande variation de luminance sur le champ (ergorama), dans la même configuration entres ces différents postes, pour une étude plus approfondie du contraste sur l'ergorama, il est impératif de faire une étude de poste par poste.

### Références

- Arsenault, H. a.-C. (2012). Effects of glazing colour type on perception of daylight quality, arousal, and switch-on patterns of electric light in office rooms. *Building and Environment*, 56, 223-231.
- Boyce. (2003). Lighting for the elderly. *Technology and Disability*, 15(3), 165-180.
- DAICH, S. (2011). *Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra*. biskra: Université Mohamed Khider Biskra.
- Hua, Y. a. (2011). Effectiveness of daylighting design and occupant visual satisfaction in a LEED Gold laboratory building. *Building and Environment*.



# Chapitre 08

## **Introduction**

Notre recherche a comme objectif de faire jaillir l'émotion (sensations des usagers) de la salle, ensuite d'essayer de quantifier les phénomènes physiques lumineux extérieurs qui ont produit telle ou telle émotion, lors de l'exercice des différentes tâches lumineuses demandées aux usagers voir les chapitres 03 et 04. Après avoir ressorti dans le chapitre précédent, les variables quantitatives significativement corrélées, dans ce chapitre de notre travail va se baser essentiellement sur la liaison des évaluations subjectives aux grandeurs photométriques correspondantes. L'objectif de ce chapitre est de vérifier grâce au test de Anova-one-way, l'existence ou non de relations entre les variables qualitatives dégagées dans les étapes (03 chapitre précédent) et les variables quantitatives testées précédemment dans les étapes (01 et 02 du chapitre précédent). Afin de développer des matrices 'Qualitatifs/Quantitatifs' nous avons eu recours à l'analyse des variances (Anova one way). On tient à rappeler que la normalité des distributions des variables numériques est une condition préalable à l'application de ce test, dans notre travail cette dernière condition a été vérifiée (Voir chapitre 8.2.2), la seconde condition de l'application du test Anova est la distribution de variable continue sur les groupes. Nous avons alors employé le test F., la méthode adoptée dans ce chapitre se base sur l'étude des corrélations entre les différentes variables qualitatives d'éclairage dégagées lors de l'analyse factorielle. Ces variables qui sont corrélées de manière significative entre elles et croiser ces variables avec les neuf variables numériques continues mesurées dans la salle lors du questionnaire : Eclairage sur papier, Eclairage sur clavier, Eclairage sur écran, Eclairage sur œil direct, Eclairage sur œil indirect, Luminance Max, Luminance Moy. panorama, Luminance Moy. ergorama, Luminance du fond). Cela pour chacune des sept activités demandées aux usagers de la salle et par la suite tracer les 'Box-Plot' afin de quantifier visuellement les variations. Sur la base des résultats de matrices Qualitatifs/Quantitatifs obtenus, nous avons développé notre modèle d'évaluation du confort lumineux, ce dernier est un modèle graphique qui représente le champ visuel humain des usagers avec les distributions lumineuses (éclairage ou luminances) optimales recommandées pour chaque indicateur lumineux significativement lié avec l'exécution de la tâche lumineuse, pour conclure notre travail nous avons développé un modèle spécifique pour chacune des sept tâches lumineuses demandées aux usagers de la salle.

## **8.1. Corrélations des variables qualitatives et quantitatives d'éclairage (Test Anova)**

Après avoir ressorti dans le chapitre précédent, les variables quantitatives significativement corrélées ; le but de la présente partie est de vérifier grâce au test de Anova-one-way, l'existence ou non de relations entre les variables qualitatives dégagées dans l'étape 03 et les variables quantitatives (les mesures numériques continues), testées précédemment (chapitre 07)

### **8.1.1. Processus de la formation des matrices (qualitatives / quantitatives)**

Une fois que nous avons ressorti les matrices d'évaluations qualitatives et les évaluations quantitatives significatives correspondantes, nous allons à présent les lier, de telle sorte à former des matrices liées entre elles avec une échelle d'évaluation, c'est à dire que nous allons donner aux sensations subjectives ressenties par les usagers de la salle CAO, des valeurs numériques correspondantes, cela pour chacune des matrices significatives dégagées dans les tests statistiques précédents.

## **8.2. Développement des matrices Qualitatifs/Quantitatifs (Test Anova one way)**

Pour lier les variables qualitatives d'éclairage avec les grandeurs photométriques d'éclairage luminance et éclairement mesuré (variable continue), nous avons eu recours à l'analyse de variance (Anova). On tient à rappeler que la normalité des distributions des variables numériques est une condition préalable à l'application de ce test (cette corrélation des deux facteurs). Dans notre travail une dernière condition a été vérifiée (Voir chapitre 8.2.2), la seconde condition de l'application du test Anova est la distribution de variable continue sur les groupes. Nous avons alors employé le test F, ce dernier suppose que la variable continue suit une distribution nominale (qualitative), que l'étendue de la distribution est la même pour chaque catégorie de la variable nominale et qu'il y a approximativement le même nombre de points pour chaque catégorie. En pratique, il est souvent considéré que les tests (ANOVA) fonctionnent correctement même si les deux premières hypothèses ne sont pas vérifiées (Zar, 1984; Fontoyntot & Berruto, 1996). En revanche une attention particulière est recommandée lorsque le nombre de points varie fortement entre les catégories. C'est pourquoi il faut vérifier dans chaque test positif, si les catégories possèdent un nombre de points approximativement similaire ou pas. Le cas échéant nous nous sommes basés que sur les variables d'évaluation qui a un grand nombre d'observateurs représentatifs (le plus élevé). Nous avons appliqué ce test à l'ensemble des variables qualitatives significatives dégagées dans la section (voir les sections 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5), nous avons aussi focalisé notre étude sur les variables dans le cas sans éblouissement, car ce dernier englobe les deux situations (sans et avec éblouissement) pour les sept tâches citées précédemment, les résultats obtenus pour chaque tâche sont exposés ci-dessous :

### 8.3. Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) d'impression générale dans la salle CAO

D'après l'étude des corrélations entre les différentes variables qualitatives d'éclairage lors de l'analyse factorielle (section précédente), afin d'évaluer les impressions générales dans la salle informatique, nous a permis de dégager deux variables (stimulante et confortable) qui sont corrélées de manière significative et qui traduisent aussi le mieux l'évaluation des sensations des usagers de la salle. Nous avons croisé ces variables avec les neuf variables continues numériques (1-Eclairage sur papier, 2-Eclairage sur clavier, 3-Eclairage sur écran, 4-Eclairage sur œil direct, 5-Eclairage sur œil indirect, 6-Luminance Max, 7-Luminance Moy. panorama, 8-Luminance Moy. ergorama, 9- Luminance du fond). Les corrélations significatives de l'analyse (Anova) sont représentées dans le tableau (Annexe V).

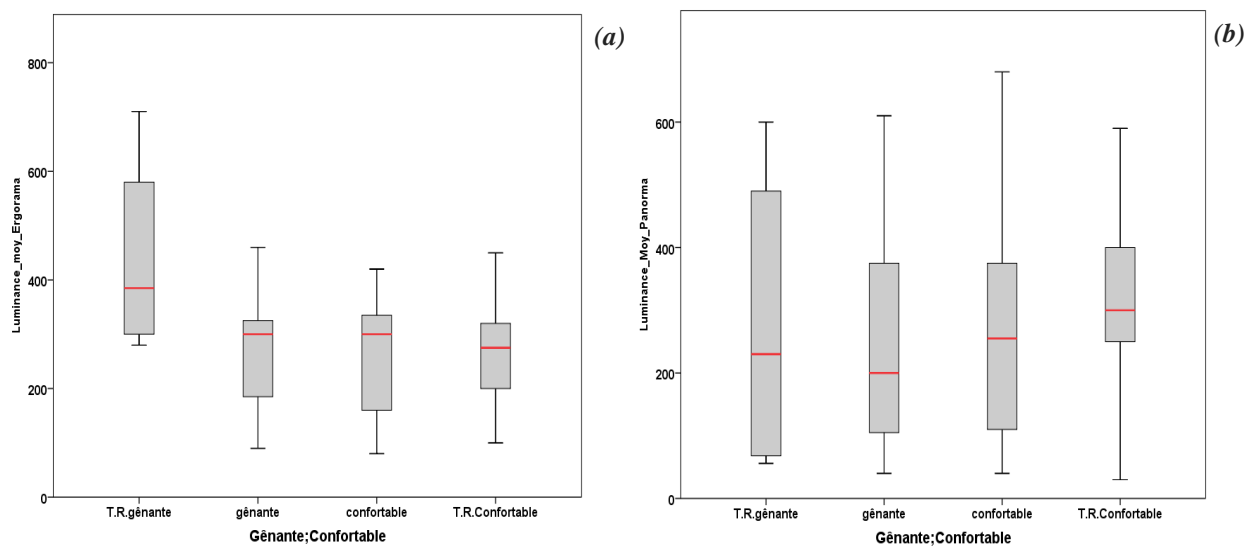


Figure 8.1 : a (à gauche), Représentation Box-Plot (luminance moy. ergorama /confortable); b (à droite), représentation Box-Plot (luminance moy. panorama/confortable) pour électivité évaluation des impressions générale dans la salle CAO (Source : Auteur)

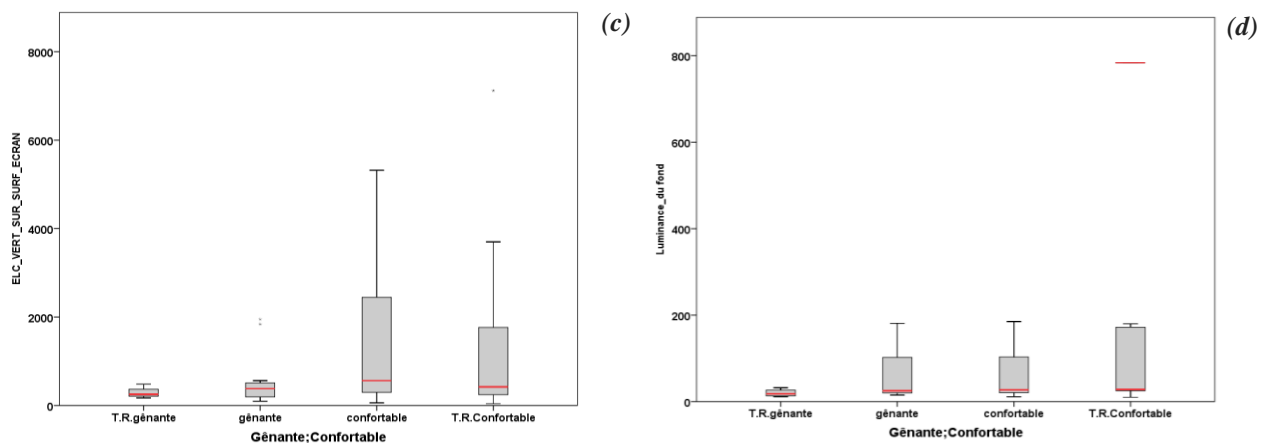


Figure 8.2 : c (à gauche), Représentation Box-Plot (Eclairage verticale écran /confortable); d (à droite), Représentation Box-Plot (luminance du fond /confortable) pour électivité évaluation des impressions générale dans la salle CAO (Source : Auteur)

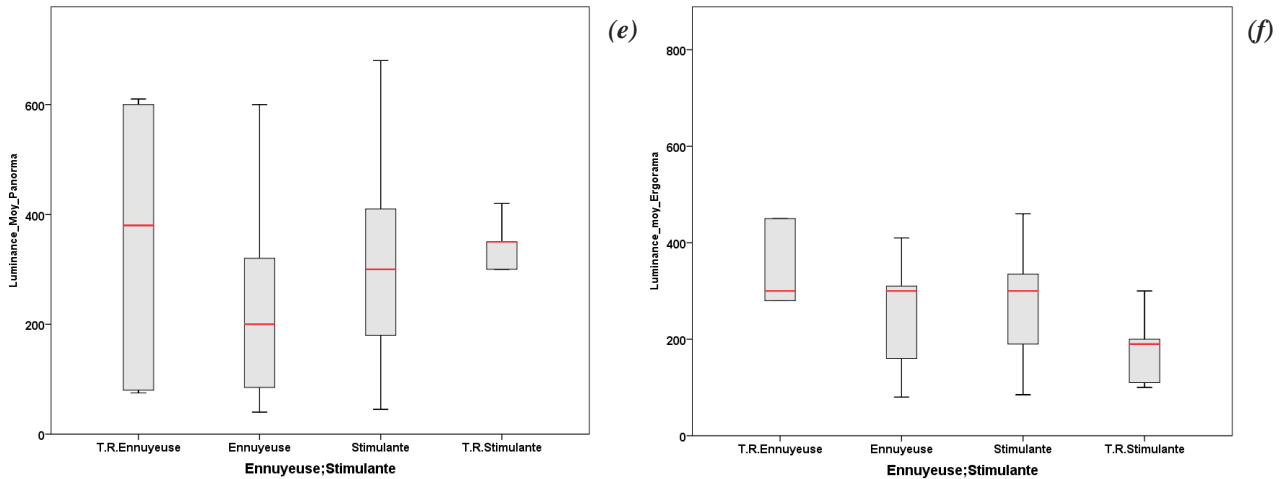


Figure 8.3 : e (à gauche), Représentation Box-Plot (luminance Moy panorama / Stimulante) ; f (à droite), Représentation Box-Plot (luminance moy ergorama / Stimulante) pour électivité évaluation des impressions générale dans la salle CAO (Source : Auteur)

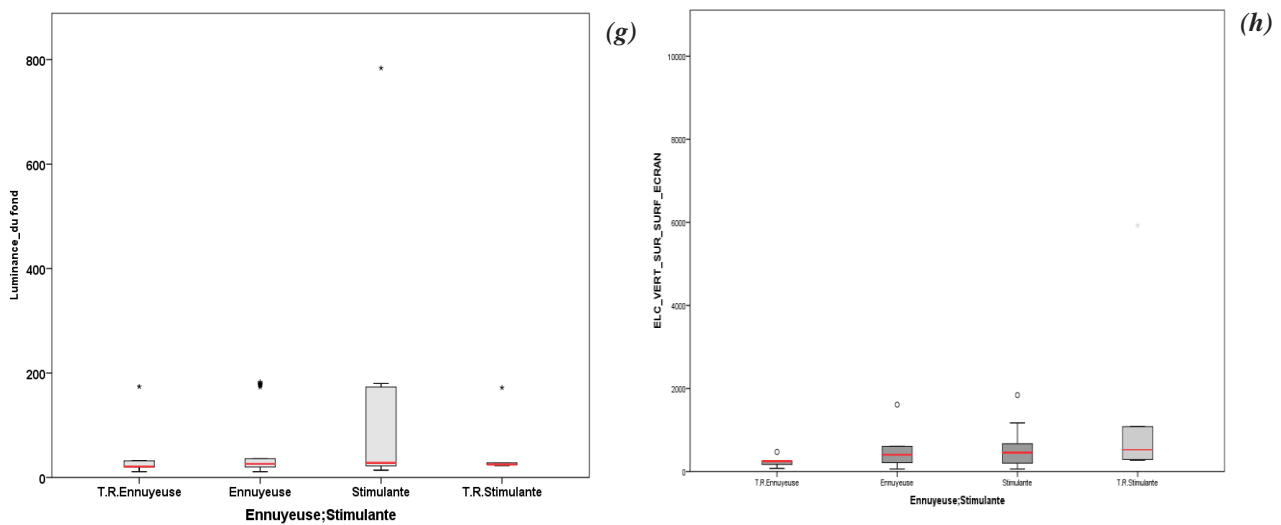


Figure 8.4 : g (à gauche), Représentation Box-Plot (luminance du fond / Stimulante) ; h (à droite), Représentation Box-Plot (Eclairment verticale écran / Stimulante) pour électivité évaluation des impressions générale dans la salle CAO (Source : Auteur)

### 8.3.1. Résultat de la Matrice (Qualitatifs/Quantitatifs) d'impression générale dans la salle CAO

Le test statistique factoriel appliqué à la variable qualitatifs et quantitatifs pour l'évaluation de l'ambiance lumineuse de manière générale dans la salle CAO nous a permis de dégager deux variables significatives, stimulante et confortable. Afin de lier les évaluations qualitatives de ces deux variables (subjective) aux grandeurs photométriques (quantitatives) correspondantes et de former des paires (effet subjectif, grandeurs photométriques) nous avons eu recours au test Anova one way et les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8.1: Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche évaluations des impressions générale dans la salle CAO (Source : Auteur)

Facteurs	Confortable		Stimulante	
	TR. Gênante Gênante	Confortable TR Confortable	Ennuyeuse TR. Ennuyeuse	Stimulante TR. Stimulante
<b>LuminanceMoy Ergorama</b>	Plus de 400 cd/m <sup>2</sup>	De 100 à 400 cd/m <sup>2</sup>	Plus de 350cd/m <sup>2</sup>	De 100 à 300 cd/m <sup>2</sup>
<b>Luminance Moy Panorama</b>	Dépend d'autres facteurs	Dépend d'autres facteurs	Dépend d'autres facteurs	Dépend d'autres facteurs
<b>Eclairage sur écran</b>	Moins de 100 lux	Entre 200 à 600 lux	Moins de 80 lux	Entre 200 à 500 lux
<b>Luminance du fond</b>	Moins de 80 cd/m <sup>2</sup>	Entre 100 à 200 cd/m <sup>2</sup>	Dépend d'autres facteurs	Dépend d'autres facteurs

#### 8.4. Corrélations des variables pour tâche lecture du texte sur la table

L'analyse statistique factorielle, appliquée aux variables qualitatives d'éclairage pour la tâche lecture du texte sur la table dans la salle CAO, nous a permis de dégager six variables qui sont significatives, c'est à dire avec un p-Value moins de 0.05. Ces variables sont les suivantes : (bien définie, Agréable, nette, appropriée, confortable, brillance) (voir la section précédente). Nous allons focaliser notre étude seulement sur quatre variables qualitatives qui sont les plus significatives. Le critère de choix a été basé essentiellement sur les valeurs P-value obtenues, les variables (Bien définie, Agréable, Nette, Appropriée), ces dernières seront donc croisées à l'aide du test Anova -One-Way avec les neuf variables continues (1-Eclairage sur papier, 2-Eclairage sur clavier, 3-Eclairage sur écran, 4-Eclairage sur œil direct, 5-Eclairage sur œil indirect, 6-Luminance Max, 7-Luminance Moy panorama, 8-Luminance Moy ergorama, 9- Luminance du fond). Les corrélations significatives de l'analyse (Anova) sont représentées ci-dessous :



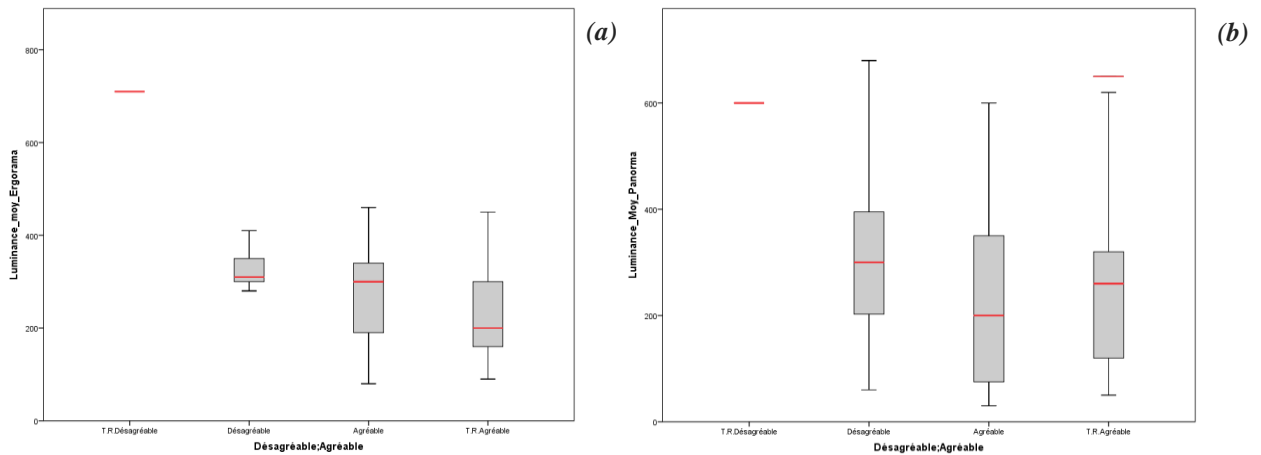


Figure 8.5 : a (à gauche), Représentation Box-Plot (luminance moyenne ergorama / Agréable) ; b (à droite), Représentation Box-Plot (luminance moyenne panorama / Agréable) pour tâche lecture du texte sur la table (Source : Auteur)

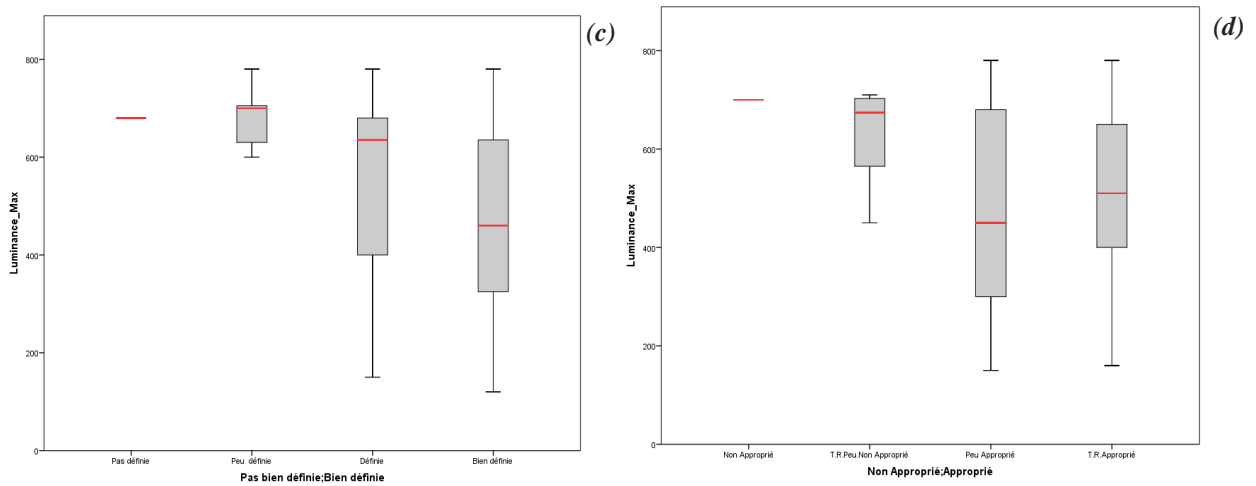


Figure 8.6 : c (à gauche), Représentation Box-Plot (luminance maximale / bien définie ; d (à droite), Représentation Box-Plot (luminance maximale / Approprié) pour tâche lecture du texte sur la table (Source : Auteur)

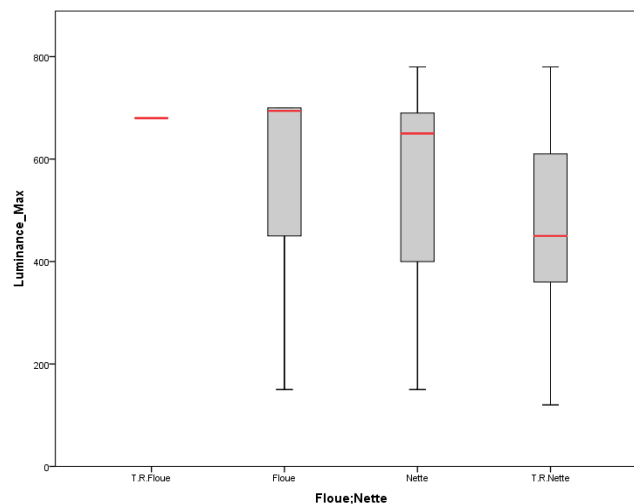


Figure 8.7: Représentation Box-Plot (luminance maximale / Nette), pour tâche lecture du texte sur la table (Source : Auteur)

**8.4.1. Résultat de la Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche lecture du texte sur la table**

L’analyse statistique factorielle appliquée aux variables qualitatives et quantitatives d’éclairage afin d’évaluer l’ambiance lumineuse lors de l’exercice de la tâches lecture du texte sur la table, nous a permis de dégager quatre variables significatives, qui sont : Bien définie, Agréable, Nette, Appropriée. Afin de lier les évaluations qualitatives (subjectives) à la grandeur photométrique (quantitatives) correspondante et de former des paires (effets subjectifs, grandeurs photométriques) nous avons eu recours au test Anova-one-way et les résultats sont présentés ci-dessous :

Tableau 8.2: Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche lecture du texte sur la table (Source : Auteur)

Facteurs	Bien définie		Agréable	
	Pas définie Peut définie	Définie Bien définie	Désagréable TR. désagréable	Agréable TR. Agréable
Luminance max	Plus de 650 cd /m <sup>2</sup>	Entre 300 à 450 cd /m <sup>2</sup>	Plus de 650 cd /m <sup>2</sup>	Entre 300 à 450 cd /m <sup>2</sup>
Luminance Moy Ergorama	/		Plus de 600 cd /m <sup>2</sup>	Entre 200 à 350 cd /m <sup>2</sup>
Luminance Moy Panorama			Plus de 600 cd /m <sup>2</sup>	Entre 200 à 350 cd /m <sup>2</sup>
Facteurs	Nette		Appropriée	
	Tr. Floue Floue	Nette TR. Nette	Non appropriée Peu appropriée	Appropriée TR. Appropriée
Luminance max	Plus de 600 cd /m <sup>2</sup>	Entre 500 à 400 cd /m <sup>2</sup>	Plus de 600 cd /m <sup>2</sup>	Entre 500 à 400 cd /m <sup>2</sup>

**8.5. Corrélations des variables pour tâche lecture de dessin (schéma) sur table**

Après une étude approfondie des corrélations entre les différentes variables qualitatives d’éclairage lors d’analyse factorielle (section précédente), cette étude avait comme but d’évaluer les sensations des usagers de la salle informatique lors de l’exercice de la tâche lecture de dessin (schéma) sur table, cette étude nous a permis de dégager trois variables qualitatives qui sont corrélées de manière significative entre elles et qui traduisent le mieux les différentes sensations ressenties par des usagers de la salle. Ces variables sont les suivantes (bien définie,

agréable, appropriée). La seconde étape de notre étude est de croiser ces variables avec les neuf variables continues numériques mesurables, (1-Eclairage sur papier, 2-Eclairage sur clavier, 3-Eclairage sur écran, 4-Eclairage sur œil direct, 5-Eclairage sur œil indirect, 6-Luminance Max, 7-Luminance Moy panorama, 8-Luminance Moy ergorama, 9- Luminance du fond). Les corrélations significatives de l'analyse (Anova) sont représentées dans le tableau 8.3 ci-dessous :

Le test Anova a démontré que seules deux variables sur les trois citées précédemment sont significatives. Ces viables sont : bien définie, agréable. (Voir tableau 16), afin de relier la variable qualitative aux variables quantitatives on va recourir à la représentation Box-Plot.

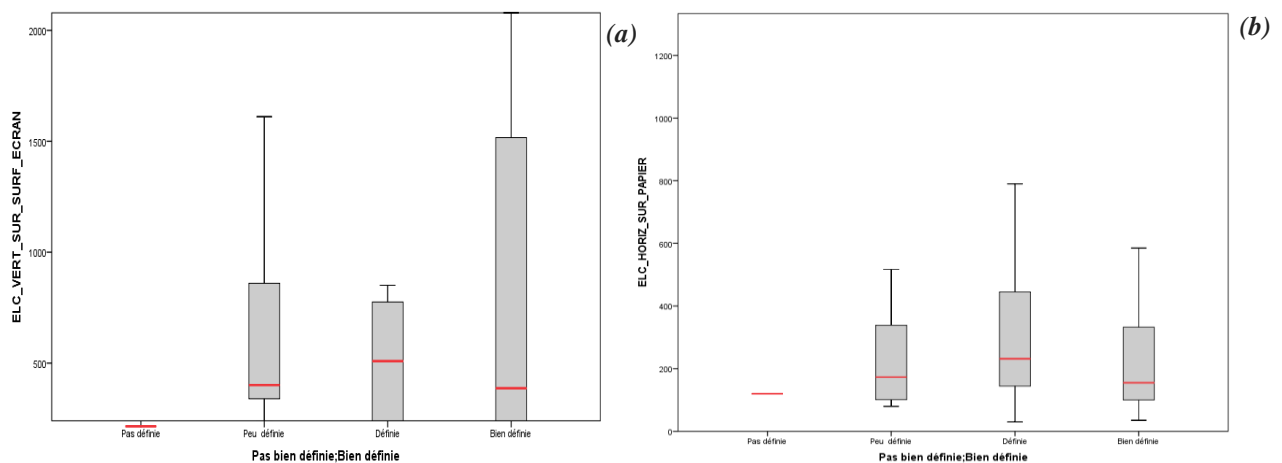


Figure 8.8 : a (à gauche), Représentation Box-Plot (éclairage vertical sur surface écran / bien définie) ; b (à droite), Représentation Box-Plot (éclairage horizontal sur papier / Bien définie) pour lecture de dessin (schéma) sur table la table (Source : Auteur)

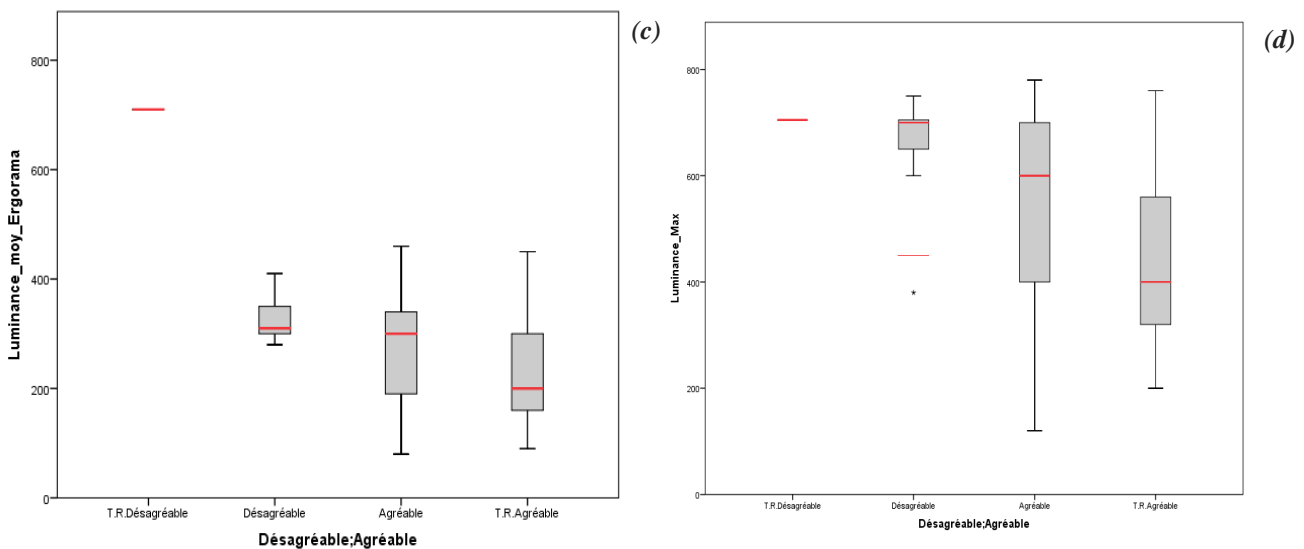


Figure 8.9 : c (à gauche), Représentation Box-Plot (luminance moyenne ergorama / agréable) ; d (à droite), Représentation Box-Plot (luminance max / agréable) pour lecture de dessin (schéma) sur table la table (Source : Auteur)

### 8.5.1 Résultat de la Matrice (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche de lecture de dessin (schéma) sur la table

L'analyse factorielle appliquée aux variables qualitatives et quantitatives afin d'évaluer l'ambiance lumineuse lors de l'exercice de la tâche lecture de dessin (schéma) sur la table, nous a permis de dégager deux variables significatives, qui sont : Bien définie et Agréable. Afin de lier les évaluations qualitatives (subjectives) aux grandeurs photométriques (quantitatives) correspondantes et de former des paires (effets subjectifs, grandeurs photométriques) nous avons eu recours au test Anova-one-way et les résultats sont présentés ci-dessous :

Tableau 8.3 : Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche lecture de dessin (schéma) sur la table (Source : Auteur)

Facteurs	Bien définie		Agréable	
	Pas définie Peu définie	Définie Bien définie	Désagréable TR. désagréable	Agréable TR. Agréable
<b>Eclairage horizontal sur papier</b>	Moins de 180 lux	Entre 200 à 300 lux	/	/
<b>Eclairage vertical sur écran</b>	Moins de 200 lux	Entre 300 à 500 lux	/	/
<b>Luminance Moy Ergorama</b>	/	/	Entre 350 à 500 cd/m <sup>2</sup>	Entre 200 à 350 cd/m <sup>2</sup>
<b>Luminance Max</b>	/	/	Plus de 600 cd/m <sup>2</sup>	Entre 350 à 500 cd/m <sup>2</sup>

### 8.6. Corrélations des variables pour tâche saisie du texte sur PC

D'après l'analyse statistique appliquée aux variables qualitatives d'éclairage lors de l'exercice de la tâche saisie du texte sur PC dans la salle CAO. Cette analyse nous a permis de dégager six variables qui sont significatives, c'est à dire avec un p-Value moins de 0.05. Ces variables sont les suivantes : (Naturelle, Confortable, Agréable, Appropriée, Bien définie, Nette) (voir la section précédente). Nous allons focaliser notre étude seulement sur quatre variables qualitatives les plus significatives. Le critère de choix a été basé sur les valeurs P-value obtenues, les variables (Agréable, Appropriée, Confortable, naturelle), ces dernières seront donc croisées à l'aide du test Anova -One-Way avec les neuf variables continues (1-Eclairage sur papier, 2-Eclairage sur clavier, 3-Eclairage sur écran, 4-Eclairage sur

œil direct, 5-Eclairage sur œil indirect, 6-Luminance Max, 7-Luminance Moy panorama, 8-Luminance Moy ergorama, 9- Luminance du fond). Les corrélations significatives de l'analyse (Anova) sont représentées dans le tableau 8.4 ci-dessous :

D'après le test statistique Anova, il existe cinq variables parmi celles citées précédemment qui ont des corrélations significatives. Afin de relier ces dernières aux variables quantitatives correspondantes on va recourir à la représentation Box-Plot ci-dessous :

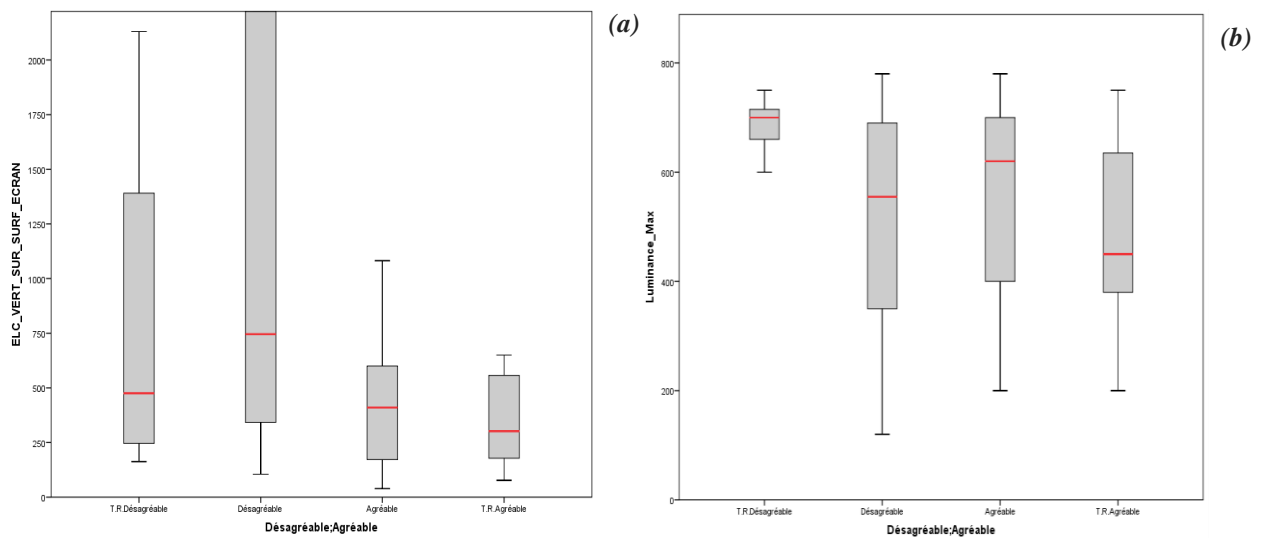


Figure 8.10 : a (à gauche), Représentation Box-Plot (éclairage vertical sur écran / agréable); b (à droite), Représentation Box-Plot (luminance max / agréable) pour saisie du texte sur Pc (Source : Auteur)

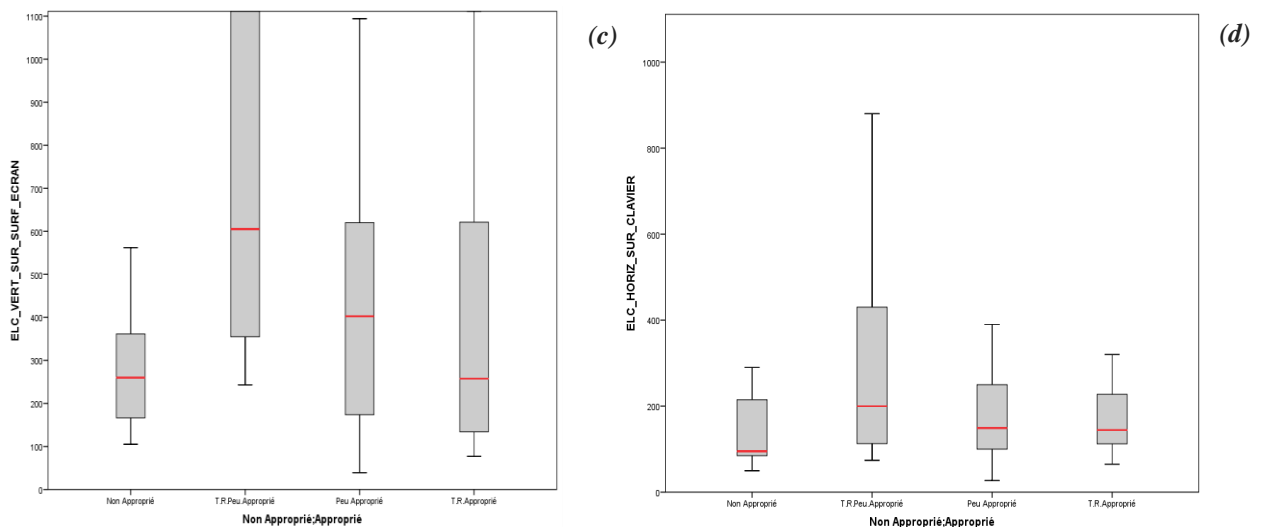


Figure 8.11 : c (à gauche), Représentation Box-Plot (éclairage vertical sur surface écran / Appropriée); d (à droite), (Eclairage horizontal sur clavier / Appropriée) pour tâche saisie du texte sur Pc (Source : Auteur)

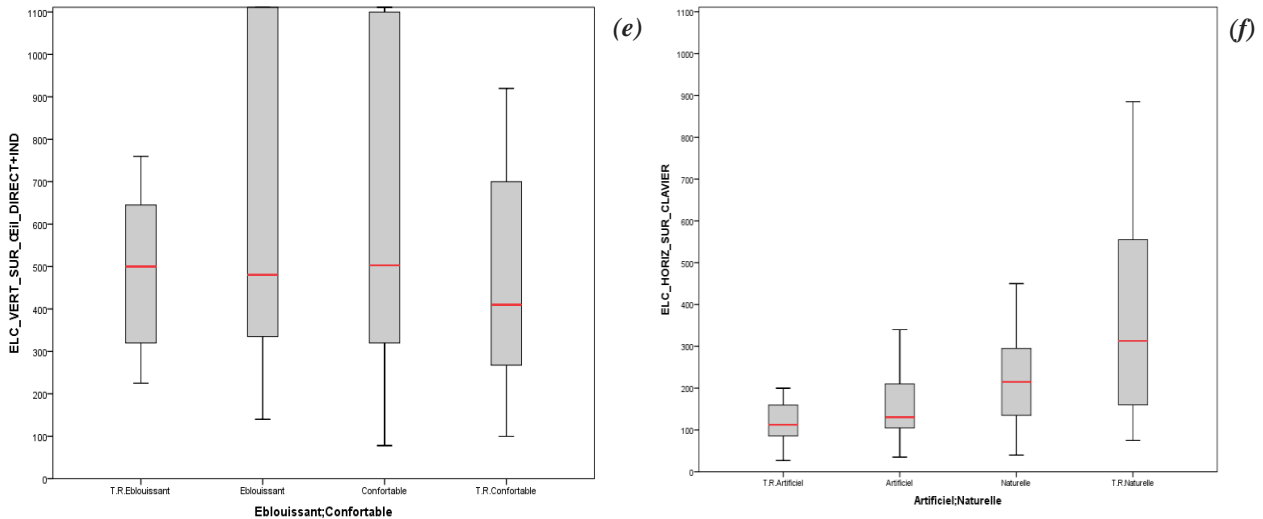


Figure 8.12 : e (à gauche), Représentation Box-Plot (Eclairage vertical sur œil direct + indirect / confortable) ; f (à droite), Représentation Box-Plot (Eclairage horizontal sur clavier / nette) pour tâche saisie du texte sur Pc (Source : Auteur)

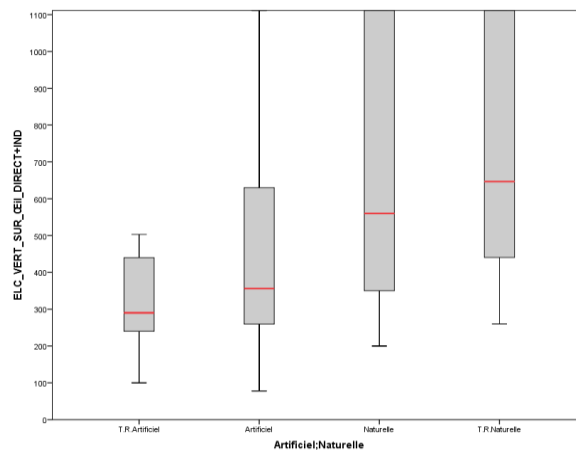


Figure 8.13 : Représentation Box-Plot (Eclairage vertical sur œil direct + indirect / naturelle) pour tâche saisie du texte sur Pc (Source : Auteur)

### 8.6.1. Résultat de la Matrice (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche saisie du texte sur PC

Afin d'évaluer l'ambiance lumineuse lors de l'exercice de saisie du texte sur PC, nous avons opté pour une analyse statistique, une analyse factorielle a été appliquée aux variables qualitatives et quantitatives d'éclairage. Cette dernière nous a permis de dégager quatre variables significatives, qui sont : Naturelle, Agréable, Appropriée et confortable. Afin de lier les évaluations qualitatives (subjectives) aux grandeurs photométriques (quantitatives) correspondantes et de former des paires (effets subjectifs, grandeurs photométriques) nous avons eu recours au test Anova-one-way et les résultats sont présentés ci-dessous :



Tableau 8.4 : Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche saisie du texte sur Pc (Source : Auteur)

Facteurs	Agréable		Appropriée	
	Désagréable TR. désagréable	Agréable TR. Agréable	Non appropriée Peu appropriée	Non appropriée Peu appropriée
Luminance max	Plus 650 cd/m <sup>2</sup>	Moins de 500 cd/m <sup>2</sup>	/	/
Eclairage sur écran	Entre 550 lux et 750 lux	Entre 500 lux et 300 lux	/	/
	/	/	Entre 350 Lux et 600 Lux	Entre 300 Lux et 400 Lux
Eclairage sur clavier	/	/	Moins 120 Lux	Plus de 150 lux et Dépend d'autres facteurs
Facteurs	Confortable		Naturelle	
	Tr. Eblouissant Eblouissant	Confortable TR. Confortable	T.R Artificielle Artificielle	Naturelle TR. Naturelle
Eclairage Vertical DIR + IND	Plus de 500 Lux Dépend d'autres facteurs	Moins de 500 lux Dépend d'autres facteurs	Entre 300 lux et 400 lux	Entre 500 lux et 600 lux
Eclairage sur écran	/	/	Entre 100 lux et 150 lux	Plus de 200 Lux

### 8.7. Corrélations des variables pour la tâche dessin assisté par ordinateur

L'étude statistique, appliquée aux différents variables d'éclairage lors de l'exercice de la tâche dessin assisté par ordinateur dans la salle CAO a démontré l'existence de six variables qui sont significativement corrélées, c'est à dire avec un p-Value moins de 0.05. Ces variables sont les suivantes : (Naturelle, Confortable, Agréable, Appropriée, Bien définie, Nette) (voir la section précédente). Nous allons focaliser notre étude seulement sur quatre variables qualitatives les plus significatives. Le critère de choix a été basé sur les valeurs P-value obtenues, les variables (Appropriée, Agréable, Confortable, bien définie), ces dernières seront donc croisées à l'aide du test Anova-One-Way avec les neuf variables continues (1-Eclairage sur papier, 2-Eclairage sur clavier, 3-Eclairage sur écran, 4-Eclairage sur œil direct, 5-Eclairage sur œil indirect, 6-Luminance Max, 7-Luminance Moy panorama, 8-Luminance Moy ergorama, 9- Luminance du fond). Les corrélations significatives de l'analyse (Anova) sont représentées dans le tableau 8.5 ci-dessous :

Les résultats obtenus grâce au test Anova, ont démontré qu'il existe plusieurs variables parmi celles citées précédemment qui ont des corrélations significatives, afin de relier ces dernières

aux variables quantitatives correspondantes on va recourir à la représentation Box-Plot ci-dessous :

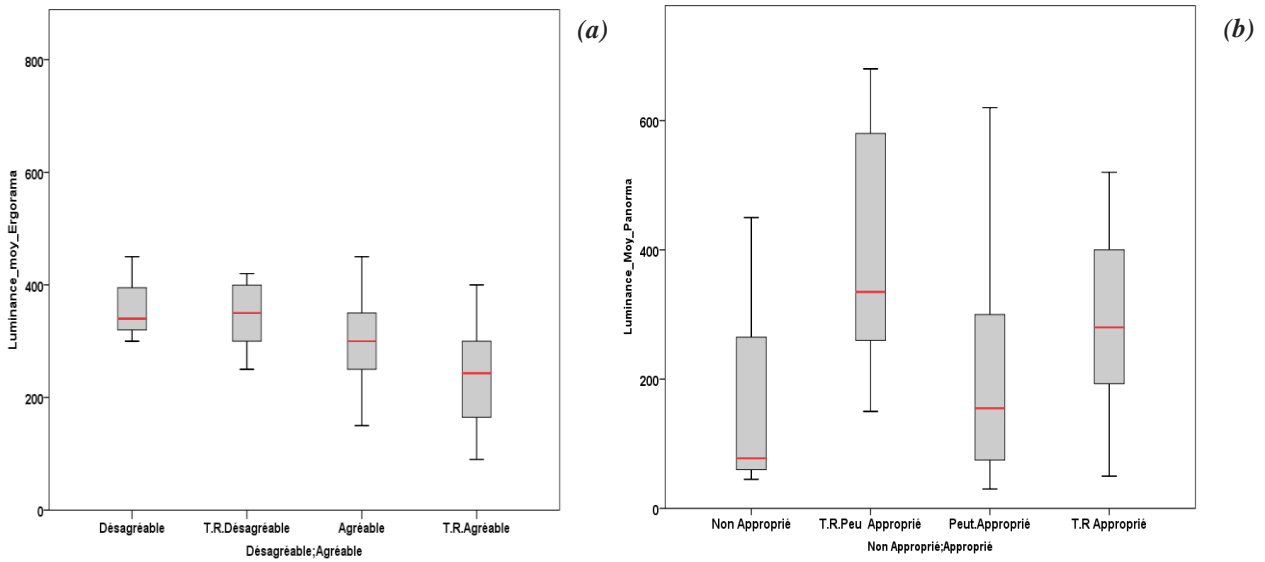


Figure 8.14 : a (à gauche), Représentation Box-Plot (Luminance \_Luminance \_Moy\_Ergorama / agréable) ; b (à droite), (Luminance \_Moy\_Panormama / Approprié) pour tâche dessin assisté par ordinateur (Source : Auteur)

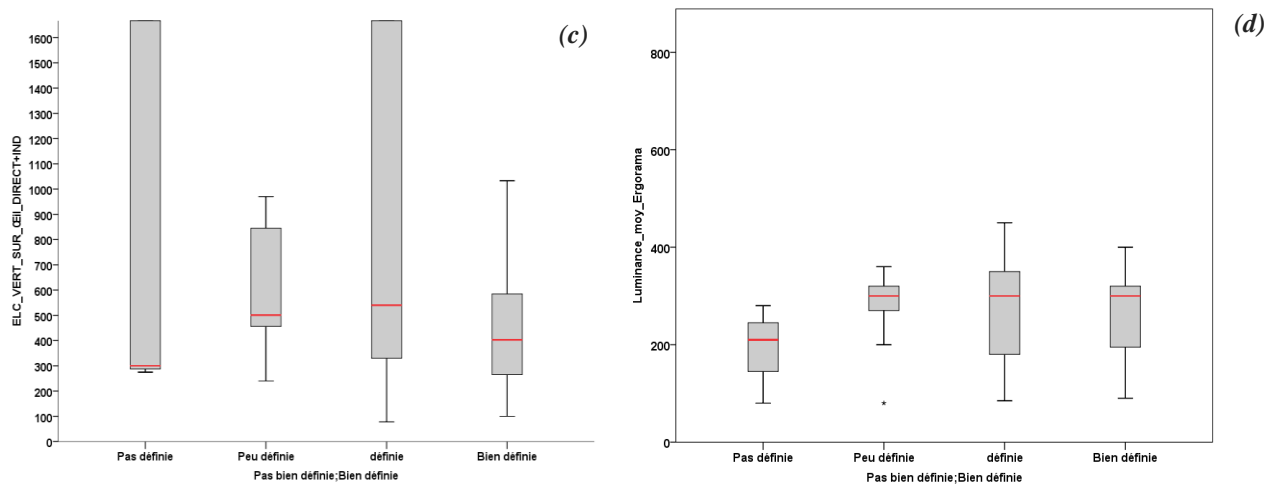


Figure 8.15 : c (à gauche), Représentation Box-Plot (Eclaircement vertical sur œil (Dir+ Ind) / bien définie) ; d (à droite), (Moy Ergorama / bien définie) pour tâche dessin assisté par ordinateur (Source : Auteur)

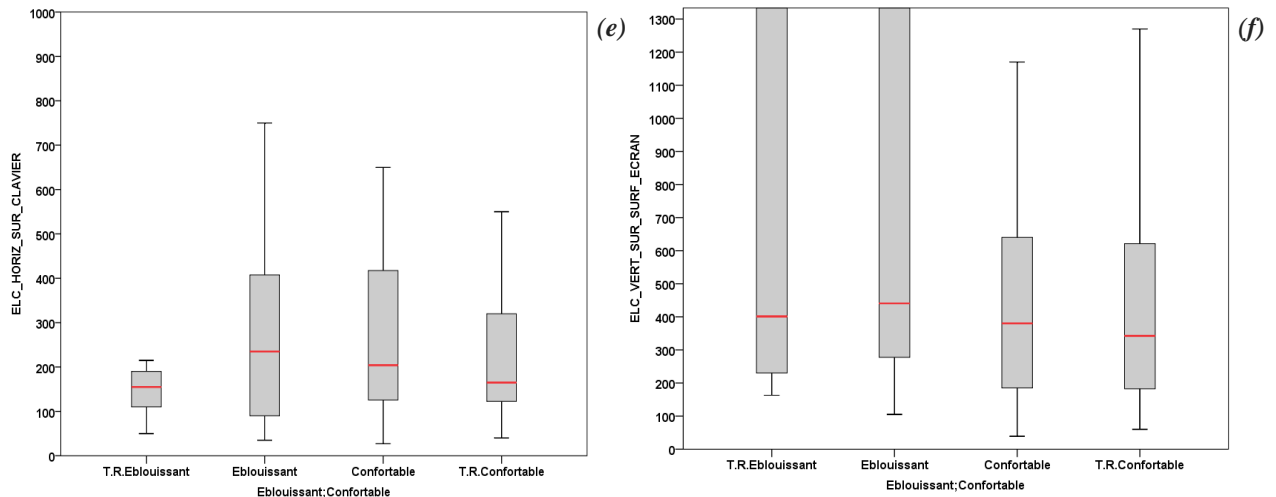


Figure 8.16 : e (à gauche), Représentation Box-Plot (Eclairage horizontal sur clavier / confortable) ; d (à droite), (Eclairage \_vertical écran / Confortable) pour tâche dessin assisté par ordinateur (Source : Auteur)

### 8.7.1. Résultat de la Matrice (Qualitatifs/Quantitatifs) pour la tâche dessin assisté par ordinateur.

Pour évaluer l’ambiance lumineuse lors du dessin assisté par ordinateur dans la salle CAO, nous avons utilisé l’analyse statistique, une analyse factorielle a été appliquée aux variables qualitatives et quantitatives d’éclairage. Cette dernière nous a permis de dégager quatre variables significatives, qui sont : Appropriée, Agréable, confortable et bien définie. Afin de lier les évaluations qualitatives (subjectives) aux grandeurs photométriques (quantitatives) correspondantes et de former des paires (effets subjectifs, grandeurs photométriques) nous avons eu recours au test Anova-one-way et les résultats sont présentés ci-dessous :

Tableau 8.5 : Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour la tâche dessin assisté par ordinateur (Source : Auteur)

Facteurs	Agréable		Appropriée	
	Désagréable TR. désagréable	Agréable TR. Agréable	Non appropriée Peut appropriée	Appropriée TR. Appropriée
<b>Luminance moyenne Ergorama</b>	Entre 380 cd/m <sup>2</sup> et 400 cd/m <sup>2</sup>	Entre 350 cd/m <sup>2</sup> et 300 cd/m <sup>2</sup>	Entre 380 cd/m <sup>2</sup> et 350 cd/m <sup>2</sup>	Entre 250 cd/m <sup>2</sup> et 300 cd/m
<b>Luminance moyenne Panorama</b>	/	/	Moins de 80 cd/m <sup>2</sup> Dépend d'autres facteurs	Entre 180 cd/m <sup>2</sup> et 250 cd/m <sup>2</sup> Dépend d'autres facteurs
Facteurs	Confortable		Bien définie	
	Tr. Eblouissant Eblouissant	Confortable TR. Confortable	Pas définie Peut définie	Définie Bien définie
<b>Eclairage sur clavier</b>	Entre 150 lux et 200 lux Dépend d'autres facteurs	Entre 150 lux et 200 lux Dépend d'autres facteurs	Entre 300 lux et 400 lux	Entre 500 lux et 600 lux
<b>Eclairage sur écran</b>	Entre 300 lux et 400 lux Dépend d'autres facteurs	Entre 300 lux et 400 lux Dépend d'autres facteurs	/	/
<b>Eclairage aux niveaux d'œil (IND +Vertical DIR)</b>	/	/	Entre 300 lux et 500 lux Dépend d'autres facteurs	Entre 300 lux et 500 lux Dépend d'autres facteurs
<b>Luminance moyenne ergorama</b>	/	/	Entre 200 cd/m <sup>2</sup> et 250 cd/m <sup>2</sup> Dépend d'autres facteurs	Entre 200 cd/m <sup>2</sup> et 250 cd/m <sup>2</sup> Dépend d'autres facteurs

**8.8. Corrélations des variables pour la tâche vision de projections de data show et vision du tableau blanc.**

L'analyse statistique appliquée aux différentes variables d'éclairage lors de l'exercice de la tâche vision de tableau blanc et de la projection du data show dans la salle CAO a démontré qu'il existe trois variables qui sont significativement corrélées pour la tâche vision du Data show : (bien définie, agréable, Appropriée), et quatre variables corrélées significativement pour la tâche vision du tableau blanc (appropriée, nette, bien définie, agréable), avec des p-Value

moins de 0.05. Ces dernières seront donc croisées à l'aide du test Anova-One-Way avec les neuf variables continues (1-Eclairage sur papier, 2-Eclairage sur clavier, 3-Eclairage sur écran, 4-Eclairage sur œil direct, 5-Eclairage sur œil indirect, 6-Luminance Max, 7-Luminance Moy panorama, 8-Luminance Moy ergorama, 9- Luminance du fond). Les corrélations significatives de l'analyse (Anova) sont représentées dans les tableaux ci-dessous (annexes V) :

### 8.8.1. Tâche vision de projection Data show

Les résultats du test Anova, ont démontré qu'il existe plusieurs variables parmi celles citées précédemment qui ont des corrélations significatives, afin de lier ces dernières avec les variables quantitatives correspondantes, pour la tâche Data show on va recourir à la représentation Box-Plot, ci-dessous

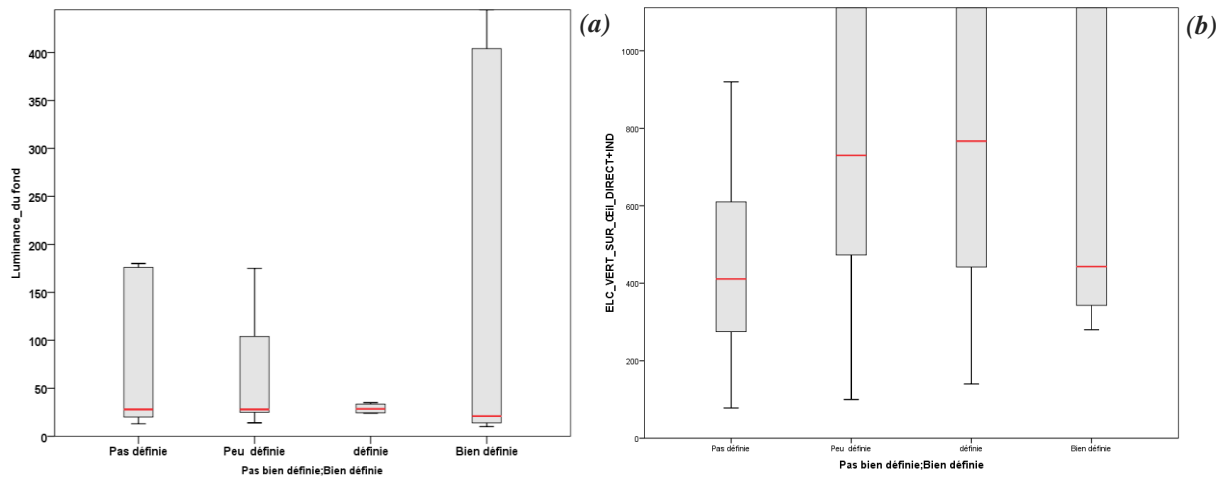


Figure 8.17 : a (à gauche), la Représentation Box-Plot (luminance du fond / bien définie) ; b (à droite), (éclairage sur œil direct + indirect / bien définie) ; pour la tâche vision de projections de data show (Source : Auteur)

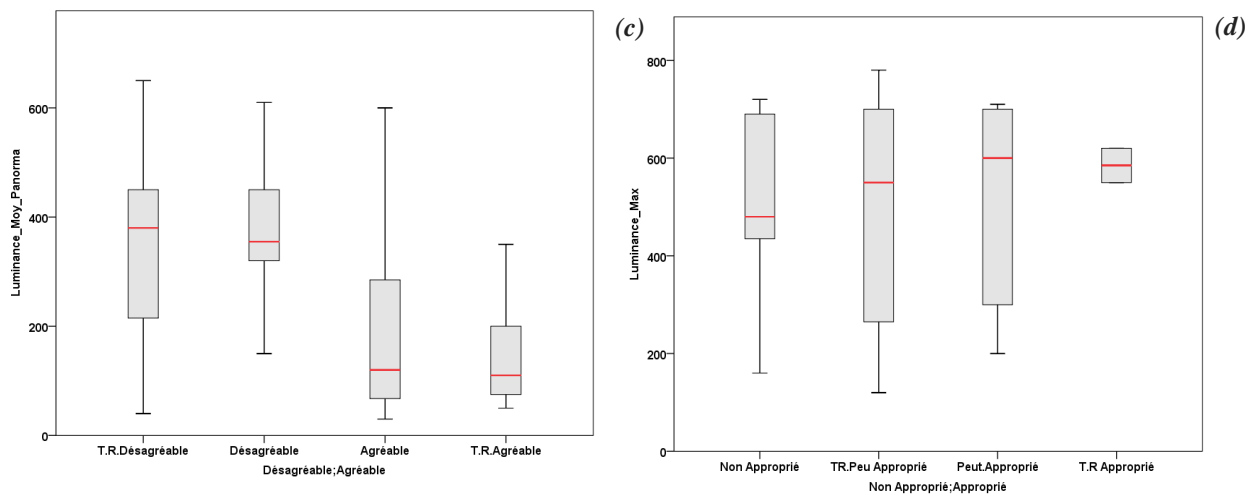


Figure 8.18 : c (à gauche), la Représentation Box-Plot (luminance moy panorama / Agréable) ; d (à droite), (luminance max / approprié) ; pour la tâche vision de projections de data show (Source : Auteur)

**8.8.2. Résultat de la Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche vision de projections de data show.**

Afin d'évaluer l'ambiance lumineuse lors de l'exercice de la tâche vision des projections de data show ordinateur dans la salle CAO, nous avons utilisé l'analyse statistique, une analyse factorielle appliquée aux variables qualitatives et quantitatives d'éclairage recueillies par les mesures ou grâce au questionnaire, cette analyse nous a permis de dégager trois variables significatives, qui sont : bien définie, agréable, appropriée. Dans le but de lier les évaluations qualitatives (subjectives) aux grandeurs photométriques (quantitatives) correspondantes et de former des paires (effets subjectifs, grandeurs photométriques) nous avons eu recours au test Anova-one-way et les résultats sont présentés ci-dessous :

Tableau 8.6 : Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche vision de projections de data show (Source : Auteur)

Facteurs	Bien définie		Agréable	
	Pas définie Peut définie	Définie Bien définie	Désagréable TR. désagréable	Agréable TR. Agréable
<b>Luminance du fond</b>	Moins de 50 cd/m <sup>2</sup> Dépend d'autres facteurs	Moins de 50 cd/m <sup>2</sup> Dépend d'autres facteurs	/	/
<b>Eclairage aux niveaux d'œil (IND +Vertical DIR)</b>	Entre 400 lux 600 lux Dépend d'autres facteurs	Entre 400 lux 600 lux Dépend d'autres facteurs	/	/
<b>Luminance panorama</b>	/	/	Entre 250 Cd/m <sup>2</sup> et 400 Cd/m <sup>2</sup>	Entre 150 Cd/m <sup>2</sup> et 180Cd/m <sup>2</sup>
<b>Facteurs</b>	/		<b>Appropriée</b>	
	/	/	Non appropriée Peut appropriée	Appropriée TR. Appropriée
<b>Luminance Max</b>	/	/	Entre 450 Cd/m <sup>2</sup> et 500 Cd/m <sup>2</sup>	Entre 580 Cd/m <sup>2</sup> et 600 Cd/m <sup>2</sup>



### 8.8.3. Tâche vision du tableau blanc

Le test statistique Anova a démontré qu'il existe plusieurs variables parmi celles citées dans la section (2.6), qui ont une ou plusieurs corrélations significatives. Afin de lier ces dernières avec les variables quantitatives correspondantes, pour la tâche vision du tableau blanc, on a eu recours à la représentation Box-Plot, représentée ci-dessous :

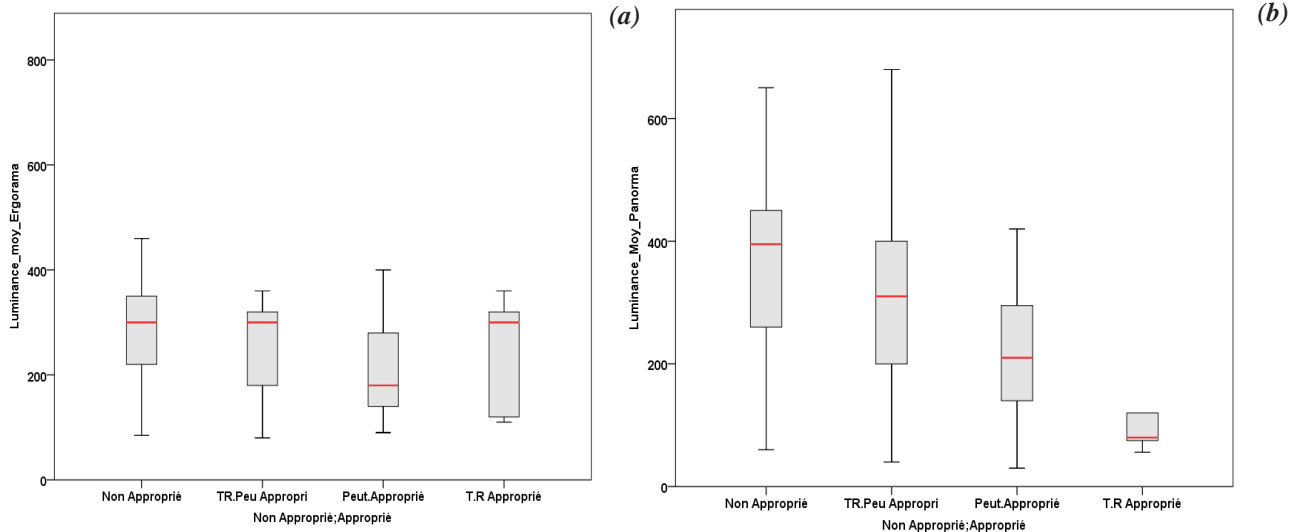


Figure 8.19 : a (à gauche), la Représentation Box-Plot (luminance Moy Ergrama / Approprié) ; b (à droite), (luminance Moy panorama / Approprié) ; pour la tâche vision de projections de data show (Source : Auteur)

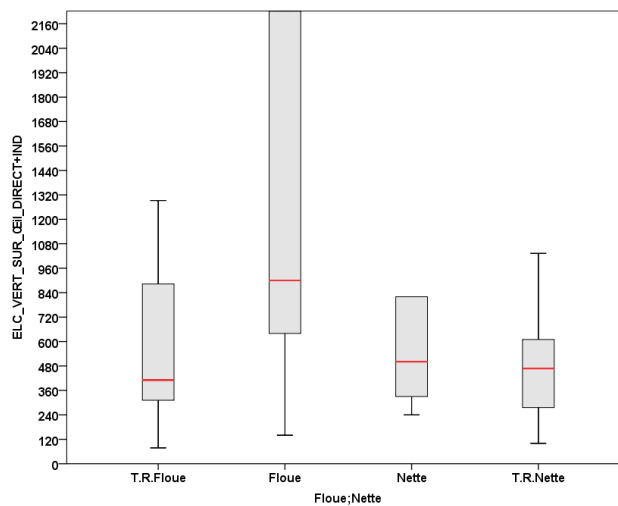


Figure 8.20 : Représentation Box-Plot (éclairage vertical sur œil direct plus indirect / Nette) (Source : Auteur)

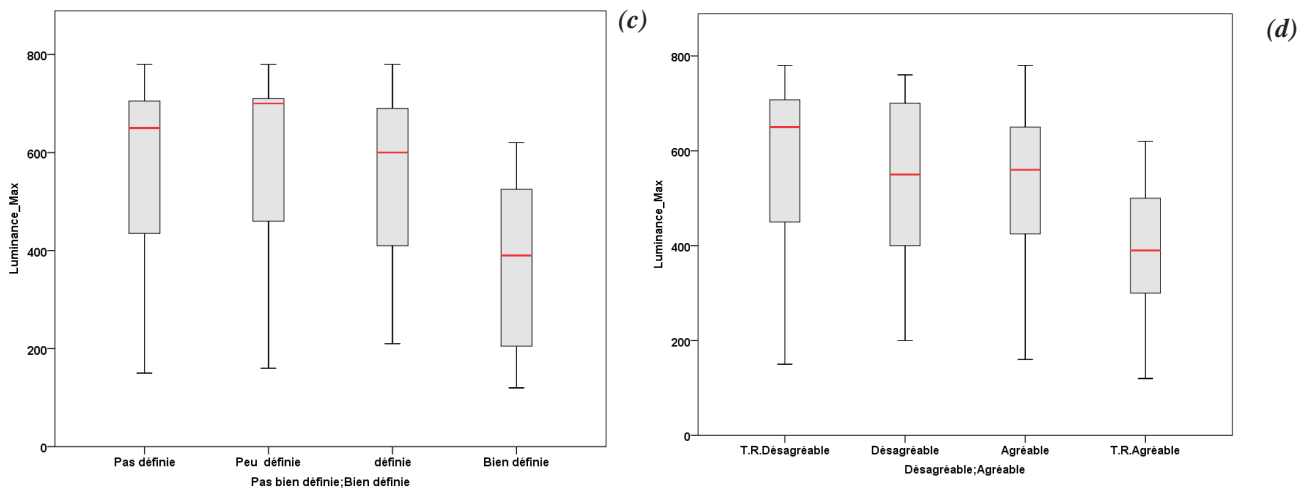


Figure 8.21 : a (à gauche), la Représentation Box-Plot (luminance Max / définie) ; d (à droite), (luminance max / bien définie) ; pour la tâche vision de projections de data show (Source : Auteur)

#### 8.8.4. Résultat de la Matrice (Qualitatifs/Quantitatifs) pour la tâche vision du tableau blanc

Pour l'évaluation des ambiances lumineuses lors de l'activité de la tâche vision du tableau blanc dans la salle CAO, nous avons eu recours à l'analyse statistique, l'analyse factorielle appliquée aux différentes variables qualitatives et quantitatives d'éclairage recueilli par les mesures et grâce au questionnaire. Cette analyse statistique nous a permis de dégager quatre variables significatives, qui sont : Appropriée, Nette, bien définie et Agréable. Dans le but de lier les évaluations qualitatives (subjectives) aux grandeurs photométriques (quantitatives) correspondantes et de former des paires (effets subjectifs, grandeurs photométriques) nous avons eu recours au test Anova-one-way et les résultats sont présentés ci-dessous :

Tableau 8.6 : Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche vision du tableau blanc (Source : Auteur)

Facteurs	Appropriée		Nette	
	Non appropriée Peut appropriée	Appropriée TR. Appropriée	TR. Floue Floue	Nette TR. Nette
<b>Luminance moyenne Eregorama</b>	Entre 200 cd/m <sup>2</sup> Et 350 cd/m <sup>2</sup> Dépend d'autres facteurs	Entre 200 cd/m <sup>2</sup> Et 350 cd/m <sup>2</sup> Dépend d'autres facteurs	/	/
<b>Luminance moyenne panorama</b>	Entre 350 cd/m <sup>2</sup> Et 400 cd/m <sup>2</sup>	Entre 100 cd/m <sup>2</sup> Et 200 cd/m <sup>2</sup>	/	/
<b>Eclairage aux niveaux d'œil (IND)</b>	/	/	Entre 400 lux et 840 lux	Entre 300 lux et 500 lux
Facteurs	Bien définie		Agréable	
	Pas définie Peu définie	Définie Bien définie	Désagréable TR. désagréable	Agréable TR. Agréable
<b>Luminance Max</b>	Plus de 600 cd/m <sup>2</sup>	Entre 580 cd/m <sup>2</sup> et 350 cd/m <sup>2</sup>	Entre 580 cd/m <sup>2</sup> et 700 cd/m <sup>2</sup>	Entre 350 cd/m <sup>2</sup> et 580 cd/m <sup>2</sup>

### 8.9. Développent du modèle

En se basant sur les résultats du chapitre 07, l'analyse statistique factorielle et l'analyse des corrélations entre variables qualitatives/quantitatives d'éclairage, et aussi la formation des matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour chacune des huit tâches demandées aux usagers de la salle C.A.O, (voir section 02 du chapitre 08). L'objectif de notre modèle est de synthétiser tous ces résultats obtenus précédemment sous forme de schéma. Un schéma qui représente pour chaque tâche étudiée précédemment les valeurs d'éclairage ou de luminances recommandées et valeurs maximales et minimales. Le modèle développé se base essentiellement sur les mesures prises dans la salle qui ont été ensuite corrélées avec les grandeurs photométriques correspondantes et couplées avec les sensations des usagers de la salle.

### 8.9.1. Le model proposer pour la d'impression générale dans la salle CAO

Pour le développement du modèle de l'évaluation des impressions générales des usagers de la salle C.A.O, nous nous sommes basés sur deux variables qualitatives qui sont : confortable et stimulante, car ces dernières se sont révélées significatives lors de notre analyse statistique précédente. Les valeurs recommandées pour les grandeurs photométriques ainsi que leur localisation sur le champ visuel sont représentées sur le schéma ci-dessous :

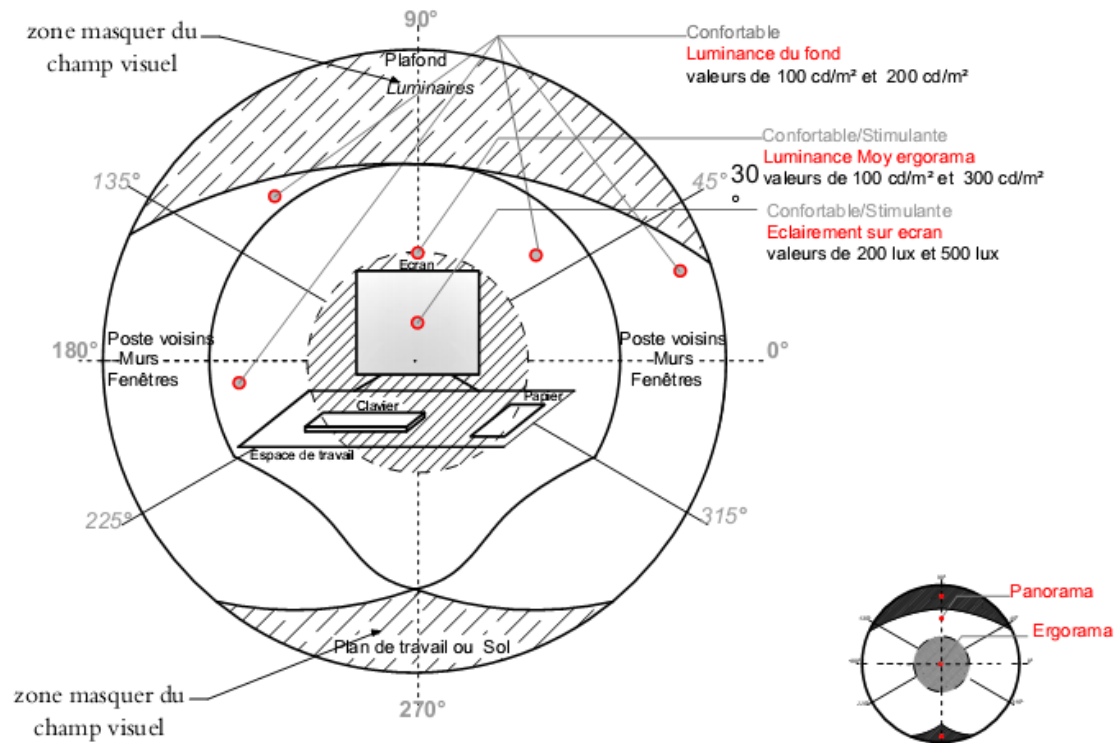


Figure 8.22 : Schéma qui représente les valeurs recommandées de grandeur photométrique sur le champ visuel à 180° pour les variables confortables /stimulantes, évaluation d'impression générale dans la salle CAO (Source : Auteur)

### 8.9.2. Le modèle proposé pour la tâche lecture du texte sur la table

Le développement du modèle de l'évaluation des impressions visuelles des usagers de la salle C.A.O, lors de la lecture du texte sur la table a été fondé sur quatre variables qualitatives qui sont : bien définie, agréable, nette et appropriée, car ces dernières se sont révélées significatives lors de notre analyse statistique précédente. Les valeurs recommandées pour les grandeurs photométriques ainsi que leur localisation sur le champ visuel, lors de la lecture du texte sur la table est représenté sur le schéma ci-dessous :

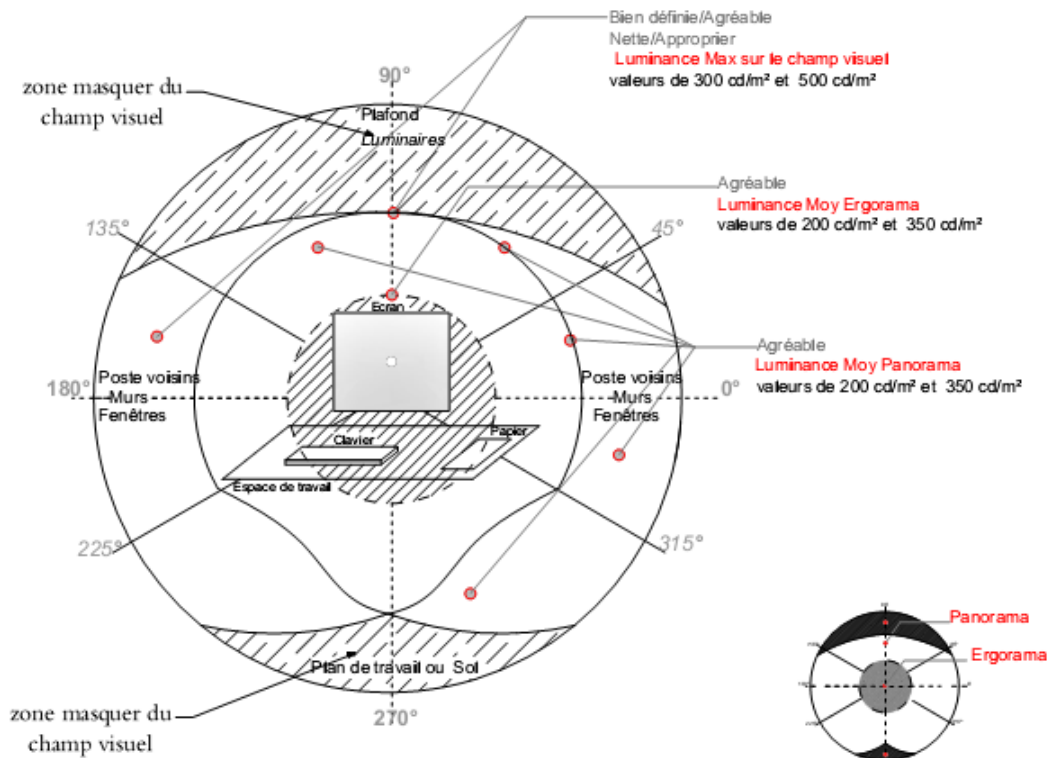


Figure 8.23 : Schéma qui représente les valeurs recommandées de grandeur photométrique sur le champ visuel à 180° pour les variables bien définie, agréable, nette et appropriée, pour tâche de lecture de texte sur la table dans la salle CAO (Source : Auteur)

### 8.9.3. Le modèle proposé pour la tâche de lecture de dessin (schéma) sur table

Afin de développer le modèle de l'évaluation des impressions de l'usage de la salle de C.A.O durant l'activité de lecture de dessin (schéma) sur la table, nous nous sommes basés sur deux variables qualitatives qui sont : bien définie et agréable, car ces dernières se sont révélées corrélées significativement entre elles, lors de la précédente analyse statistique. Les valeurs recommandées pour les grandeurs photométriques ainsi que leur localisation sur le champ visuel pour la tâche de lecture de dessin (schéma) sur table sont représentées sur le schéma ci-dessous :

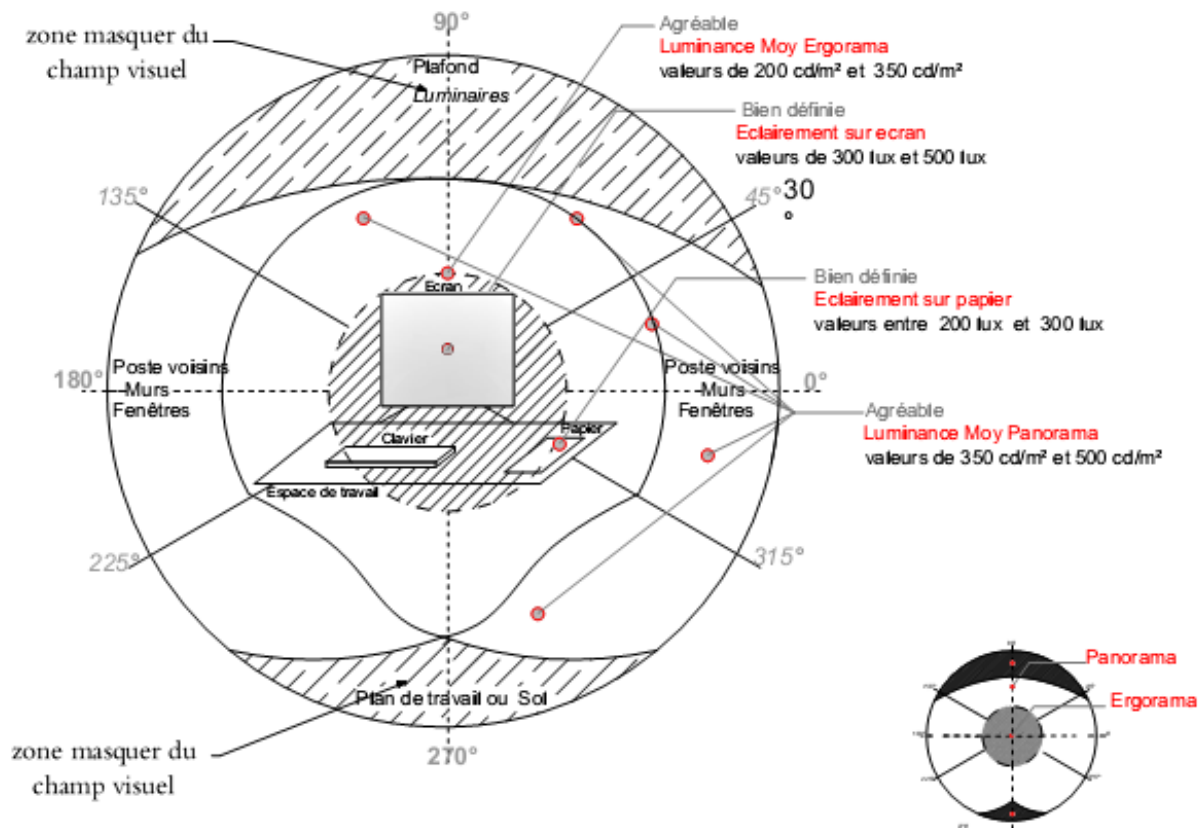


Figure 8.24 : Schéma qui représente les valeurs recommandées de grandeur photométrique sur le champ visuel à 180° pour les variables bien définie, agréable, pour la tâche lecture de dessin (schéma) sur table dans la salle CAO (Source : Auteur)

#### 8.9.4. Le modèle proposé pour la tâche saisie du texte sur PC

Le modèle d'évaluation des impressions visuelles des usagers de la salle C.A.O, lors de l'activité saisie du texte sur PC sur la table, a été basé sur quatre variables qualitatives qui sont : agréable, appropriée, confortable, naturelle. Car ces quatre variables se sont révélées corrélées significativement lors de la précédente analyse statistique. Les valeurs recommandées pour les grandeurs photométriques ainsi que leur localisation sur le champ visuel, lors la tâche saisie du texte sur PC sont représentés sur le schéma ci-dessous :



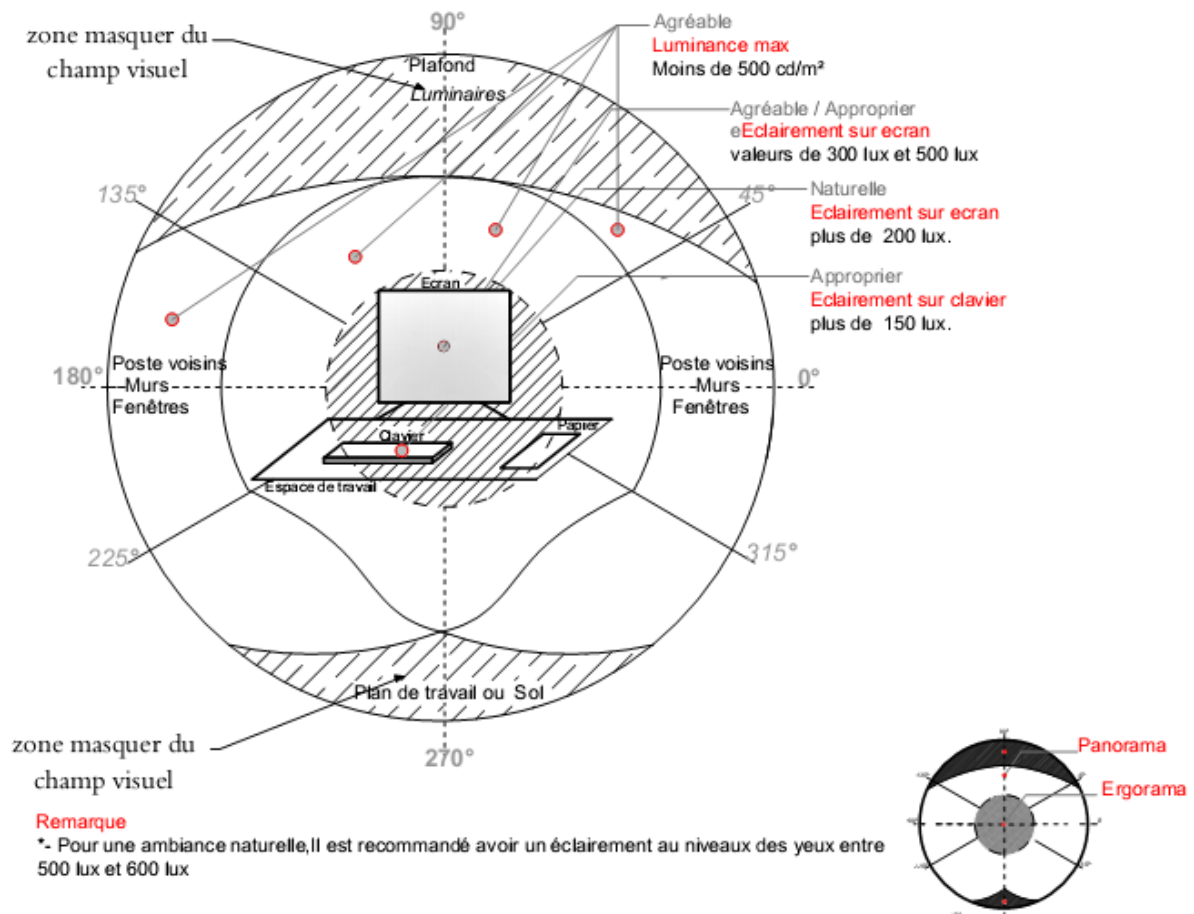


Figure 8.25 : Schéma qui représente les valeurs recommandées de grandeur photométrique sur le champ visuel à 180° pour les variables : agréable, approprié, naturelle, pour la tâche lecture de dessin (schéma) sur table dans la salle CAO (Source : Auteur)

### 8.9.5. Le modèle proposé pour la tâche dessin assisté par ordinateur

Pour le développement du modèle de l'évaluation des impressions de l'usage de la salle de C.A.O pour l'activité dessin assisté par ordinateur dans la salle C.A.O, nous nous sommes basés sur quatre variables qualitatives qui sont : agréable, appropriée, bien définie et confortable, car ces dernières se sont révélées corrélées de manière très significatives entre elles lors de notre précédente analyse statistique. Les valeurs recommandées pour les grandeurs photométriques ainsi que leur disposition sur le champ visuel pour l'activité dessin assisté par ordinateur sont représentés sur le schéma ci-dessous :

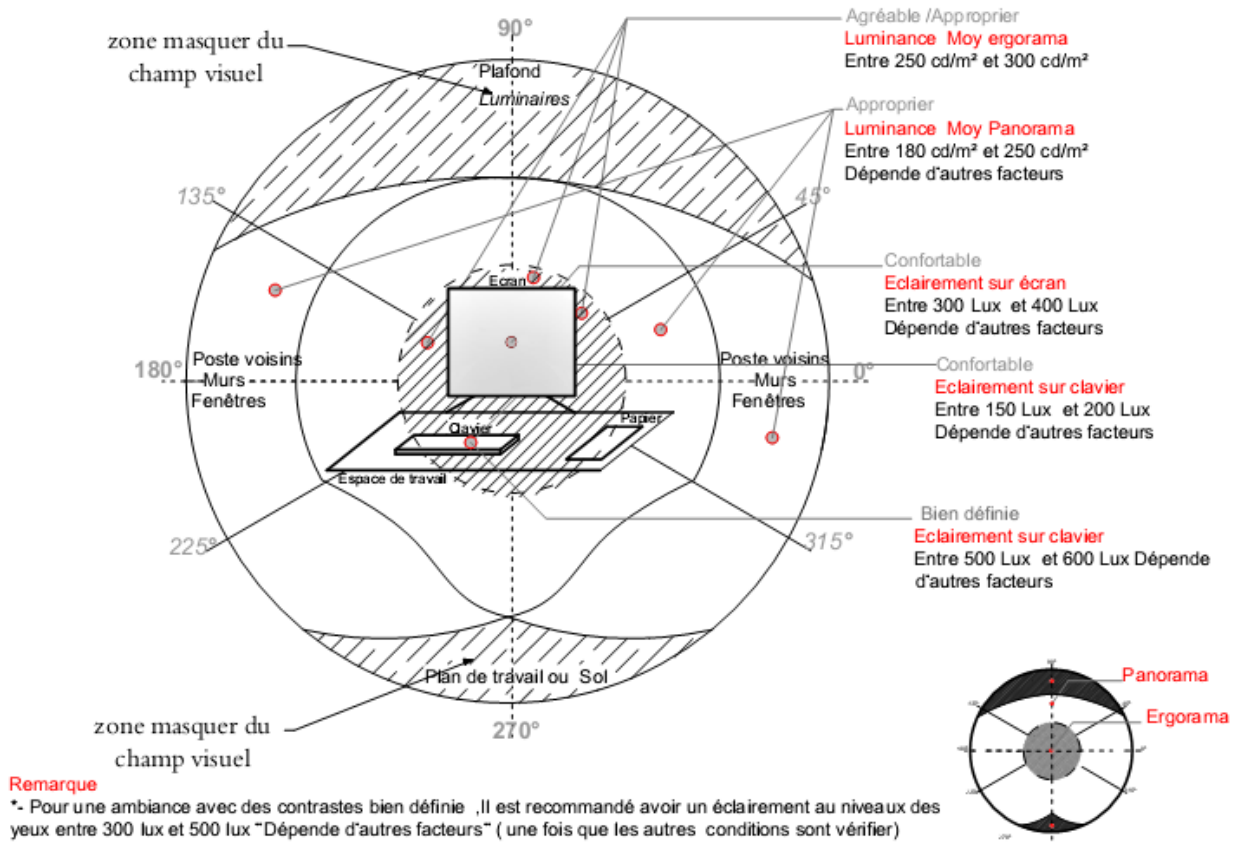


Figure 8.26 : Schéma qui représente les valeurs recommandées de grandeur photométrique sur le champ visuel à 180° pour les variables : agréable, appropriée, bien définie et confortable pour la tâche dessin assisté par ordinateur (Source : Auteur)

### 8.9.6. Le modèle proposé pour la tâche vision des projections du data show

Le modèle d'évaluation des impressions visuelles des usagers de la salle C.A.O lors de l'activité vision des projections du data show, a été fondé principalement sur trois variables qualitatives qui sont : bien définie, agréable, appropriée. Car ces dernières se sont révélées corrélées significativement lors de la précédente analyse statistique. Les valeurs recommandées pour les grandeurs photométriques ainsi que leur localisation sur le champ visuel, lors de la tâche vision des projections du data show sont représentées sur le schéma ci-dessous :

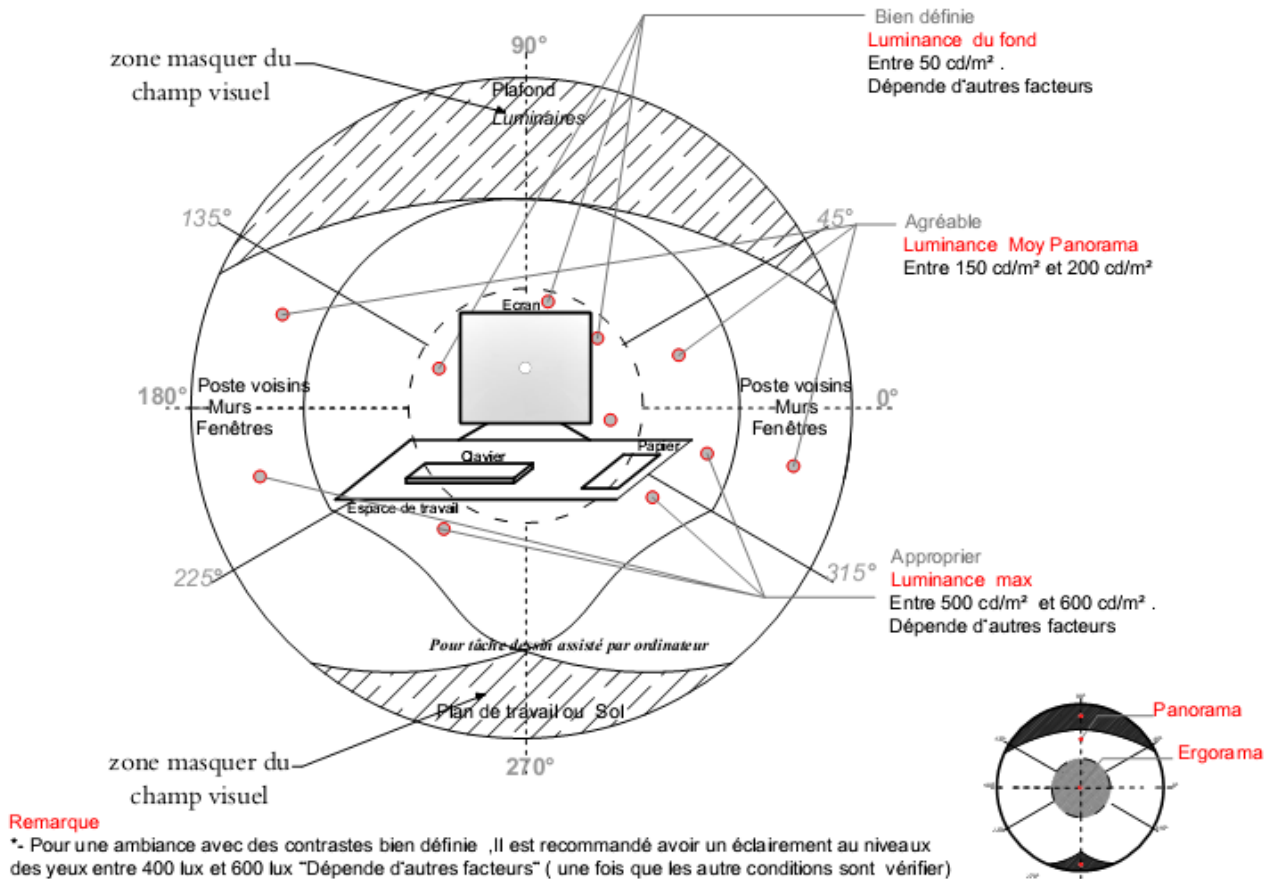


Figure 8.27 : Schéma qui représente les valeurs recommandées de grandeur photométrique sur le champ visuel à 180° pour les variables : bien définie, agréable, appropriée pour la tâche vision des projections du data show (Source : Auteur)

### 8.9.7 Le modèle proposé pour la tâche vision du tableau blanc

Pour le développement du modèle de l'évaluation des impressions de l'usage de la salle de C.A.O durant l'activité vision du tableau blanc dans la salle C.A.O, nous nous sommes basés sur quatre variables qualitatives qui sont : appropriée, nette, bien définie et agréable, car ces dernières se sont révélées corrélées de manière très significative entre elles lors de notre précédente analyse statistique. Les valeurs recommandées pour les grandeurs photométriques ainsi que leur disposition sur le champ visuel pour l'activité vision du tableau blanc sont représentés sur le schéma ci-dessous :

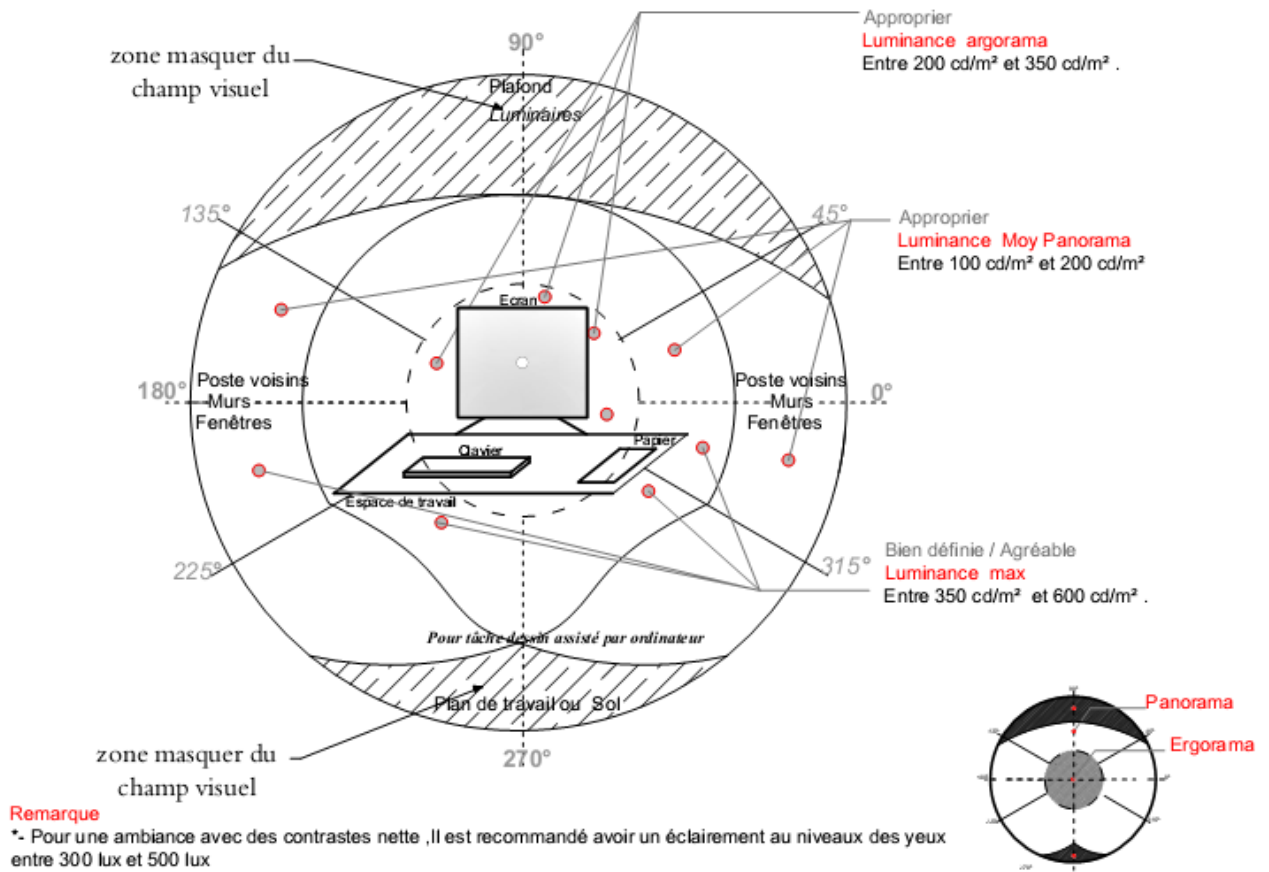


Figure 8.28 : Schéma qui représente les valeurs recommandé de grandeur photométrique sur le champ visuel à 180 ° pour les variables : appropriée, nette, bien définie et agréable pour la tâche vision du tableau blanc (Source : Auteur)

## **Conclusion**

Le principal objectif de ce chapitre a été de développer une série de matrices (Qualitatifs /Quantitatifs). Cette dernière lie les évaluations émotionnelles subjectives des utilisateurs recueillies dans différents postes de travail de la salle C.A.O, sous différentes conditions d'éclairage, avec les paramètres lumineux mesurés. Pour une fiabilité optimale de notre étude nous nous sommes focalisés seulement sur les variables qui sont corrélées significativement entre elles. Le résultat de l'étude statistique a montré que pour l'évaluation de l'ambiance générale de la salle, il existe deux variables qualitatives : confortable et stimulante, qui ont une corrélation significative entre elles et aussi avec trois autres variables quantitatives qui sont : la luminance moyenne de l'ergorama, éclairage sur écran et la luminance du fond. Sur la base de ces résultats, on a conclu que pour avoir une ambiance générale confortable et stimulante dans la salle, il est recommandé d'avoir : A) une luminance moyenne de l'ergorama comprise entre : 100 à 400 cd/m<sup>2</sup>, B) Un éclairage sur écran Entre 200 à 600 lux, C) Une luminance du fond comprise entre 100 à 200 cd/m<sup>2</sup>. Pour la seconde activité, lecture du texte sur la table l'analyse statistique a démontré clairement l'existence de quatre variables qualitatives et quatre autres quantitatives corrélées entre elles de manière significative. D'après ces résultats, on peut déduire que pour la tâche lecture du texte sur papier il est recommandé d'avoir un contraste bien défini et une ambiance agréable et pour arriver à cette fin, la luminance maximale sur le champ des usagers doit être comprise entre 300 et 450 cd /m<sup>2</sup>. Et afin d'avoir une ambiance agréable lors de la lecture du texte, il est recommandé d'avoir sur les deux champs visuels ergorama/ panorama une luminance moyenne comprise entre 200 et 350 cd /m<sup>2</sup>.

A la différence de l'activité lecture de texte sur papier, l'analyse statistique des variables de la tâche lecture de dessin ou schéma sur la table a démontré l'existence de corrélations significatives entre deux variables qualitatives 'bien définie' et 'agréable' séparément l'une de l'autre avec quatre variables quantitatives. D'après ces résultats, on peut dire que pour la tâche lecture de dessin (schéma), il est recommandé d'avoir un contraste bien défini et pour cela il faut avoir un éclairage horizontal sur papier entre 200 et 300 lux et en même temps un éclairage vertical sur écran entre 300 à 500 lux. Et pour créer une ambiance agréable durant cette même activité il est recommandé d'avoir une luminance moyenne sur les champs ergorama comprise entre 200 et 350 cd/m<sup>2</sup> avec une luminance maximale sur le champ visuel des usagers de 350 à 500 cd/m<sup>2</sup>. Les corrélations statistiques des variables pour l'activité saisie du texte sur PC, a démontré l'existence d'une corrélation significative entre un grand nombre de variables dont quatre qualitatives : Agréable, Appropriée, Confortable, Naturelle, et cinq

autres quantitatives. D'après l'interprétation de ces données, on peut dire que pour avoir une ambiance agréable et un bon contraste, il est recommandé d'avoir une luminance maximum sur le champ visuel des usagers inférieur à 500 cd/m<sup>2</sup> avec un éclairage sur écran compris entre 300 et 400 lux, en assurant un éclairage sur le clavier supérieur à 150 lux. Pour avoir une ambiance lumineuse confortable, il est impératif d'avoir un éclairage au niveau des yeux moins de 500 lux, et une ambiance naturelle. Il est recommandé d'avoir un éclairage vertical sur écrans supérieur à 200 lux, avec un éclairage reçu au niveau des yeux compris entre 500 et 600 lux. D'après l'étude statistique des différentes variables d'éclairage lors de l'exercice de la tâche dessin assisté par ordinateur dans la salle, on a pu dégager des corrélations très significatives entre quatre variables qualitatives et six autres quantitatives. L'interprétation des données récoltées nous informe que pour avoir créé une ambiance agréable lors du dessin assisté par ordinateur, il est recommandé d'avoir une luminance moyenne sur l'ergorama comprise entre 300 et 350 cd/m<sup>2</sup>. Et pour un contraste approprié pour cette tâche visuelle, il faut assurer une luminance moyenne du couple : ergorama entre 250 cd/m<sup>2</sup> et 300 cd/m<sup>2</sup>, panorama entre 180 cd/m<sup>2</sup> et 250 cd/m<sup>2</sup> (peut dépendre d'autres facteurs). Aussi afin de créer une ambiance confortable et un contraste bien défini pour l'activité dessin assisté par ordinateur, il est important d'assurer un éclairage sur clavier compris entre 500 et 600 lux avec un éclairage reçu au niveau des yeux entre 300 et 500 lux et une luminance moyenne sur l'ergorama entre 200 cd/m<sup>2</sup> et 250 cd/m<sup>2</sup>. Pour l'avant dernière activité demandée aux usagers de la salle C.A.O, celle de la vision du data show une corrélation entre trois variables qualitatives : bien définie, agréable et appropriée et quatre autres variables quantitatives ont été enregistrées. D'après ces données, on peut conclure que pour créer une ambiance agréable pour l'activité vision du data show, il est recommandé d'avoir une luminance sur le panorama comprise entre 150 et 180 cd/m<sup>2</sup>. Pour un contraste bien défini, il est aussi recommandé d'avoir un éclairage vertical au niveau des yeux des usagers entre 400 et 600 lux avec une luminance de fond qui ne dépasse pas 50 cd/m<sup>2</sup>, et pour un contraste approprié, il est recommandé d'avoir une luminance maximale comprise entre 580 et 600cd/m<sup>2</sup>.

Finalement pour la dernière tâche demandée aux usagers de la salle, la vision du tableau blanc, les résultats obtenus indiquent une forte corrélation entre huit variables, quatre qualitatives : appropriée, nette, bien définie et agréable, avec quatre autres variables quantitatives. D'après la discussion des résultats obtenus, on peut déduire que pour la vision du tableau blanc avec une ambiance générale agréable, il est impératif d'avoir une luminance maximale comprise entre 350 et 580cd/m<sup>2</sup>. Et pour que le contraste soit bien défini pour cette même tâche, il faut



que la luminance moyenne ergorama soit comprise entre 200 cd/m<sup>2</sup> et 350 cd/m<sup>2</sup>, et une luminance moyenne sur le panorama de 100 à 200 cd/m<sup>2</sup>, et que pour assurer un contraste 'net' il faut avoir un éclairage au niveau des yeux compris entre 300 et 500 lux .

## **Références**

Fontoynot, M., & Berruto, V. (1996). Eclairage de l'espace de travail-Enquetes et mesures dans les bureaux. *Lux*.

Zar, J. H. (1984). Biostatistical analysis. 2nd. *Prentice Hall USA*.

# Conclusion générale

## **Conclusion générale et perspectives**

L'apparition ces dernières années des nouveaux systèmes et techniques liés à l'évolution qu'a connu le monde industriel de l'éclairage a permis à la fois d'assurer une bonne qualité et une quantité d'éclairage qui couvrent de grandes surfaces tout en réalisant des gains importants d'énergie. Mais, toutefois, on ne peut pas résumer l'éclairage en une simple composante isolée de l'environnement physique car ce dernier a aussi des impacts d'ordre psychophysique important qui affectent l'usage et l'appréciation de l'espace architectural de manière générale et les occupants de la salle de conception assistée par ordinateur en particulier (qui est notre cas d'étude). En parallèle à cette évolution qui a touché les techniques et les méthodes d'éclairage, il y a aussi une évolution des outils et des méthodes d'enseignement et de pratique de la conception architecturale. Cette évolution a conduit à l'introduction et l'invasion de l'outil informatique (PC / Data show) dans les salles d'enseignement universitaire. Par conséquent, nous avons constaté qu'il n'existe pas une réelle évolution dans les normes et les recommandations en vigueur en matière d'éclairage ou aux standards dédiés aux activités qui se déroulent dans la salle de C.A.O. Ceci a conduit la majorité des architectes 'concepteurs' lors de leur conception de ce type de salle (C.A.O) à se référer aux normes réservées aux salles ordinaires de dessin classique d'architecture, ce qui produit généralement des salles pauvres en matière d'ambiances lumineuses, stressantes pour les usagers et très inconfortables.

Afin de répondre à cette problématique, nous avons développé un modèle numérique qui résume les grandeurs photométriques lumineuses sous forme graphique rapportée sous champ visuel humain, recommandé pour chacune des tâches visuelles couramment exercées par les usagers de la salle de C.A.O. Une méthodologie basée sur une approche environnementale a été adoptée dans notre recherche pour le développement de ce modèle. On a privilégié cette approche car cette dernière se base essentiellement sur la compréhension et les interactions qui existent entre l'homme et son environnement et il est aussi évident qu'une bonne étude des ambiances lumineuses passe essentiellement par une bonne compréhension de ces interactions en temps réel de facteurs physiques (environnement) et psychologiques (usager). Pour l'investigation des composantes du duo précédemment cité (environnement/usager), nous avons eu recours à deux méthodes de recherche, la première est dite 'méthode d'expérimentation simulée' alors que la deuxième est dite 'méthode d'enquête par questionnaire'. Le choix de ces deux méthodes est basé sur les résultats des recherches et des études précédentes. La méthode d'expérimentation simulée a été proposée dans le but de

quantifier les grandeurs photométriques lumineuses dans l'espace destiné à l'étude par des mesures in situ de trois types d'indicateurs lumineux, dégagés dans les recherches antécédentes, qui sont l'éclairement, la luminance et le contraste. Les indices d'éblouissement lumineux par rapport aux mesures d'éclairement : nous allons mesurer l'éclairement sur le plan de travail au niveau des yeux, cela à l'aide d'un luxmètre. Pour la luminance et le contraste, nous allons mesurer les niveaux de luminances et de contraste sur les champs visuels des occupants à l'aide d'appareil photo doté d'un objectifs fish-eye, pour la prise d'images sphériques qui seront traitées plus tard afin d'extraire les données lumineuses utiles à notre étude. **La même technique d'image sera utilisée pour les indices d'éblouissement.** La seconde méthode utilisée dans la méthodologie est la méthode d'enquête par questionnaire car cette dernière offre l'avantage, d'après les avis des différents chercheurs, d'être la plus adaptée aux enquêtes qui visent à lier des facteurs lumineux (qualitatives/quantitatives) dans les espaces architecturaux. Pour la formulation du questionnaire, nous nous sommes basés sur des indicateurs, 'des **dimensions d'éclairage**' dimensions qui ont été ressorties et validées dans des recherches ultérieures dans le domaine des études d'éclairage, tel que les recherches de : Flynn ou Kaplan, Norton, Veitch, et d'après ces dernières, on a pu aussi conclure qu'une bonne étude d'éclairage passe obligatoirement par une étude multidisciplinaire.

Pour l'analyse et le traitement des données recueillies à travers les mesures in situ et celles du questionnaire, nous avons eu recours à **un outil statistique SPSS 24**. L'utilisation de ce dernier avait comme objectif de corrélérer les grandeurs photométriques avec les évaluations qualitatives et de donner à chaque émotion une échelle numérique correspondante, si toutefois il existe une corrélation significative entre les deux variables. La même procédure d'analyse a été reconduite pour chacune des sept tâches visuelles demandées aux occupants de la salle. Le résultat de l'étude statistique a montré que pour l'évaluation de **l'ambiance générale de la salle**, il n'existe que deux variables qualitatives significatives : confortable et stimulante, ces dernières ont une corrélation significative entre elles et aussi avec trois autres variables quantitatives qui sont : la luminance moyenne de l'ergorama, l'éclairement sur écran et la luminance du fond. Sur la base de ces résultats, on a conclu que pour avoir une ambiance générale confortable et stimulante dans la salle, il est recommandé d'avoir : A) une luminance moyenne dans l'ergorama, comprise entre 100 à 400 cd/m<sup>2</sup>, B) un éclairement sur écran entre 200 à 600 lux, C) Une luminance du fond comprise entre 100 à 200 cd/m<sup>2</sup>. Pour la seconde activité, la lecture du texte sur la table, l'analyse statistique a démontré clairement l'existence de quatre variables qualitatives et quatre autres quantitatives corrélées entre elles de manière significative. D'après ces résultats, on peut déduire que : pour la tâche lecture du texte sur papier, il est recommandé d'avoir un contraste

bien défini et une ambiance agréable et pour arriver à cette fin, la luminance maximale sur le champ visuel des usagers doit être comprise entre 300 et 450 cd /m<sup>2</sup>. Et, afin d'avoir une ambiance agréable lors de la lecture du texte, il est recommandé d'avoir sur les deux champs visuels argorama/panorama une luminance moyenne comprise entre 200 et 350 cd /m<sup>2</sup>.

A la différence de l'activité lecture de texte sur papier, l'analyse statistique des variables de la **tâche lecture de dessin ou schéma sur la table** a démontré l'existence de corrélations significatives entre les deux variables qualitatives 'bien définie' et 'agréable' séparément l'une de l'autre, avec quatre variables quantitatives. D'après ces résultats, on peut dire que pour la tâche lecture de dessin (schéma), il est recommandé d'avoir un contraste bien défini et pour cela, il faut avoir un éclairage horizontal sur papier entre 200 et 300 lux en même temps qu'un éclairage vertical sur écran compris entre 300 et 500 lux. Et pour créer une ambiance agréable durant cette même activité, il est recommandé d'avoir une luminance moyenne sur les champs ergorama compris entre 200 et 350 cd/m<sup>2</sup> avec une luminance maximale sur le champ visuel des usagers de 350 à 500 cd/m<sup>2</sup>. Les corrélations statistiques des variables pour l'activité saisie du texte sur PC a démontré l'existence d'une corrélation significative entre un grand nombre de variables, dont quatre qualitatives : Agréable, Appropriée, Confortable, Naturelle, et cinq autres quantitatives.

D'après l'interprétation de ces données, on peut dire que pour avoir une ambiance agréable et un bon contraste, il est recommandé d'avoir une luminance maximum sur le champ visuel des usagers inférieure à 500 cd/m<sup>2</sup> avec un éclairage sur écran compris entre 300 et 400 lux, en assurant un éclairage sur le clavier supérieur à 150 lux. Pour avoir une ambiance lumineuse confortable, il est impératif d'avoir un éclairage au niveau des yeux de moins de 500 lux et une ambiance naturelle. Il est recommandé d'avoir un éclairage vertical sur écrans supérieur à 200 lux, avec un éclairage reçu au niveau des yeux compris entre 500 et 600 lux. D'après l'étude statistique des différentes variables d'éclairage lors de l'exercice de la tâche **dessin assisté par ordinateur** dans la salle, on a pu dégager des corrélations très significatives entre quatre variables qualitatives et six autres quantitatives. L'interprétation des données récoltées nous informe que pour créer une ambiance agréable lors du dessin assisté par ordinateur, il est recommandé d'avoir une luminance moyenne sur l'ergorama comprise entre 300 et 350 cd/m<sup>2</sup>, et pour un contraste approprié pour cette tâche visuelle, il faut assurer une luminance moyenne du couple : ergorama entre 250 cd/m<sup>2</sup> et 300 cd/m<sup>2</sup> , panorama entre 180 cd/m<sup>2</sup> et 250 cd/m<sup>2</sup>. Aussi, afin de créer une ambiance confortable et un contraste bien défini pour l'activité dessin assisté par ordinateur, il est important d'assurer un éclairage sur clavier compris entre 500 et 600 lux avec un éclairage reçu au niveau des yeux entre 300 et 500 lux et une luminance



moyenne sur l'ergorama entre 200 cd/m<sup>2</sup> et 250 cd/m<sup>2</sup>. Pour l'avant dernière activité demandée aux usagers de la salle C.A.O, celle de **la vision du data show**, une corrélation entre trois variables qualitatives : bien définie, agréable et appropriée et quatre autres variables quantitatives a été enregistrée. D'après ces données, on peut conclure que pour créer une ambiance agréable pour l'activité vision du data show, il est recommandé d'avoir une luminance sur le panorama comprise entre 150 et 180 cd/m<sup>2</sup>. Pour un contraste bien défini, il est aussi recommandé d'avoir un éclairage vertical au niveau des yeux de l'utilisateur entre 400 et 600 lux, avec une luminance de fond qui ne dépasse pas 50 cd/m<sup>2</sup>; et pour un contraste approprié, il est recommandé d'avoir une luminance maximale comprise entre 580 et 600 cd/m<sup>2</sup>. Finalement, pour la dernière tâche demandée aux usagers de la salle, **la vision du tableau blanc**, les résultats obtenus indiquent une forte corrélation entre huit variables, quatre qualitatives : appropriée, nette, bien définie et agréable avec quatre autres variables quantitatives. D'après l'analyse des résultats obtenus, on peut déduire que pour la vision du tableau blanc avec une ambiance générale agréable, il est impératif d'avoir une luminance maximale comprise entre 350 et 580 cd/m<sup>2</sup>. Et pour que le contraste soit bien défini pour cette même tâche, il faut que la luminance moyenne ergorama soit comprise entre 200 cd/m<sup>2</sup> et 350 cd/m<sup>2</sup>, une luminance moyenne sur le panorama de 100 à 200 cd/m<sup>2</sup> et pour assurer un contraste 'net', il faut avoir un éclairage au niveau des yeux compris entre 300 et 500 lux .

Afin de représenter tous les résultats obtenus de notre étude sous forme synthétique et de faciliter à la fois la lecture et l'utilisation de notre modèle, nous avons opté pour une représentation graphique des résultats obtenus. Cette dernière regroupe trois facteurs clés qui sont indispensables à l'évaluation de l'ambiance lumineuse ; le premier est le type émotions ressenties par l'occupant (l'évaluation subjective des occupants), le second est l'échelle numérique correspondante et le troisième est le facteur positions sur le champ visuel humain.

Les trois facteurs réunis représentent **une synthèse globale de notre travail** de recherche sous forme de modèle numérique et graphique avec des échelles et des grandeurs photométriques qui caractérisent les différents types d'ambiances lumineuses ressenties dans notre travail dans les salles de dessin assisté par ordinateur pour les sept tâches visuelles couramment exercées par les occupants de ces salles. Nous retiendrons enfin le bénéfice du travail interdisciplinaire.

Dans notre travail, nous avons fait appel à l'architecture, aux sciences humaines et comportementales et aux méthodes statistiques pour l'analyse et l'interprétation des données et du domaine d'éclairagisme. Pour chacune de ces disciplines, la multiplication des points de vue des interprétations et les multiples avis qu'elle génère enrichit davantage notre travail de recherche et apportent aussi un plus à notre travail. **L'interdisciplinarité** nous a permis

d'aboutir à la confrontation des résultats développés dans différents domaines et acteurs (chercheurs, usagers, architectes.) puisqu'elles répondent à des exigences très différentes qui sont le fruit d'approches diverses. On tient toutefois à souligner **la limite de l'approche interdisciplinaire** qui est l'application avec rigueur de plusieurs techniques de recherches affiliées à diverses approches en même temps sur le cas d'étude (la salle de C.A.O), ce qui peut produire un flux important d'informations, mais ce flux d'informations mérite une attention très particulière dans ses interprétations et ses représentations.

### **Perspectives**

Lors du développement de notre outil, une attention particulière a été accordée aux occupants de l'espace salle de conception assistée par ordinateur, car ce dernier se trouve au cœur de notre recherche. Nous avons aussi mis en évidence les impacts de l'environnement physique et lumineux sur les facteurs humains et psychiques. Pour faciliter l'usage et la prise en main du modèle, nous avons représenté les résultats obtenus de notre recherche sous forme graphique, c'est à dire un calque spécifique avec des valeurs d'éclairage et de luminances recommandées pour chacune des tâches exercées dans la salle de C.A.O. Ces valeurs sont aussi représentées en 3D par rapport au champ visuel de l'utilisateur. **La perspective méthodologique future** de notre recherche est l'exploitation de l'avantage qu'offre notre modèle "l'extensibilité du modèle". Le modèle développé est un modèle ouvert et cela en utilisant la même méthodologie développée dans notre recherche, pour la collecte des valeurs recommandées pour d'autres usages, tels que par exemple : bureaux, salles de classes, des crèches, ou même des hôpitaux, ... et de les reporter sur le calque déjà développé dans notre modèle. Ceci de telle sorte à créer une bibliothèque qui comprend plusieurs calques qui ont comme but d'évaluer les ambiances lumineuses pour des tâches diverses mais superposées dans un même et unique modèle.

Comme **perspective technique**, le modèle numérique/graphique développé lors de notre recherche peut être incrusté dans un objectif d'appareil photographique reflex ; de cette manière, il pourra jouer à la fois le rôle de luminance-mètre en offrant des cartes de luminance de l'espace qui comprend aussi le champ visuel de l'utilisateur, mais aussi un outil simple d'usage qui peut nous informer de manière rapide et précise sur la qualité et le type d'ambiance lumineuse de l'espace photographié. Comme il y a aussi la possibilité de développer une application ou un logiciel spécialement dédiés à l'étude et l'évaluation des ambiances lumineuses à partir des images fish-eye, cela en utilisant notre modèle comme support 'calque

à appliquer' aux images prises par un appareil photographique à la manière de Photoshop, par exemple.

## Références bibliographique

## Références bibliographique

## Références bibliographique

### References bibliographique

- (CIE), I. C. (1995). Discomfort glare in interior lighting. CIE Publication 117.
- A.F.E. (1993). Recommandations relatives a l'eclairage intérieur des lieux de travail. Paris: Soc.éd.
- Acking, B. C., & Kuler, H. (1972). The perception of an interior as a function of its colour. *Ergonomics*, 15(6), 645-654.
- Akashi, Y., & Boyce, P. (2006). A field study of illuminance reduction. *Energy and Buildings*, 38(6), 588-599.
- Arsenault, H. a.-C. (2012). Effects of glazing colour type on perception of daylight quality, arousal, and switch-on patterns of electric light in office rooms. *Building and Environment*, 56, 223-231.
- Bay, J.-H. (2004). Sustainable community and environment in tropical Singapore high-rise housing: the case of Bedok Court condominium. *Arq: Architectural Research Quarterly*, 8(3-4), 333.
- Berrutto, V. (1996). *Métrologie de la qualité visuelle des ambiances lumineuses- Application al'eclairage des bureaux*.
- Born, M., & Wolf, E. (2013). *Principles of optics: electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light*. Born, Max and Wolf, Emil: Elsevier.
- Boyce. (2003). Lighting for the elderly. *Technology and Disability*, 15(3), 165-180.
- Boyce, P. R., Veitch, J. A., Newsham, G. R., Jones, C., Heerwagen, J., Myer, M., & Hunter, C. (2006). Occupant use of switching and dimming controls in offices. *Lighting Research & Technology*, 38(4), 358-376.
- Boyce, P., Akashi, Hunter, Y., Bullough, CM, & JD. (2003). The impact of spectral power distribution on the performance of an achromatic visual task. *Lighting Research & Technology*, 15(3), 141-156.
- Boyce, P., Hunter, C., & Howlett, O. (2003). *The benefits of daylight through windows*. Troy, New York: Rensselaer Polytechnic Institute.
- Brainard, G. C., Hanifin, J. P., Greeson, J. M., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., & d Rollag, M. D. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. *Journal of Neuroscience*, 21(16).
- Bulow-Hube, H. (2000). Office worker preferences of exterior shading devices: a pilot study. *EuroSun 2000 Conference*, (pp. 19-22).
- C.I.E. (1957). *International Lighting Vocabulary*, Definition 20-025.
- Cai, H., & Chung, T. (2011). Improving the quality of high dynamic range images. *Lighting Research & Technology*, 43(1), 87-102.
- Cajochen, C., Munch, M., Kriebel, S., Krauchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., . . . Wirz-Justice, A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light. *The journal of clinical endocrinology & metabolism*, 90(3), 1311-1316.
- Chauvel, P., Collins, J., Dogniaux, R., & Longmore, J. (1982). Glare from windows: current views of the problem. *LightingResearch and Technology*, 14(1), 31-46.

## Références bibliographique

- Christoffersen, J., & Wienold, J. (2008). Assessment of user reaction to glare with three solar shading systems. *International Conference on Indoor Air Quality and Climate*.
- Coutelier, B. (2006). Caractérisation de la qualité d'un environnement lumineux a l'aide d'outils de mesure vidéo-photométriques et de simulations en milieux virtuels. Thèse de doctorat, Ecole doctorale MEGA, spécialité Génie Civil, INSA de Lyon, ENTPE, 300 p.
- Craig, C. L., Brownson, R. C., Cragg, S. E., & Dunn, A. L. (2002). Exploring the effect of the environment on physical activity: a study examining walking to work. *American journal of preventive medicine*, 23(2), 36-43.
- Daich, s. (2011). Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, Cas de la ville de Biskra. Biskra: Université Mohamed Khider Biskra.
- Daich, S., Saadi, M. Y., Morello, E., Piga, B. E., & Daiche, A. M. (2016). Evaluation quantitative et qualitative du système anidolique sous un climat chaud et aride. *Ambiances, tomorrow. Proceedings of 3rd International Congress on Ambiances. Septembre 2016, Volos, Greece*.
- Daich, S., Zemmouri, N., Morello, E., Piga, B. E., Saadi, M. Y., & Daiche, A. M. (2017). Assessment of Anidolic Integrated Ceiling effects in interior daylight quality under real sky conditions. *Energy Procedia*, 122, 811-816.
- Davis, R. G. (2006). *Cognitive and perceptual factors in lighted architectural environments*. Colorado: University of Colorado at Boulder.
- Eble-Hankins, M., & Waters, C. (2004). VCP and UGR glare evaluation systems: a look back and a way forward.
- Eble-Hankins, M., & Waters, C. (2004). VCP and UGR glare evaluation systems: a look back and a way forward. *Leukos*, 2(1), 7-38.
- Eden, D. (1986). Perspectives: Team Development: Quasi-Experimental Confirmation Among Combat Companies. *Group & Organization Studies*, 133-146.
- Egan, M. D. (1983). *Concept in architectural lighting*. Clemson University, Mc Graw-Hill Book Company, USA.
- Einhorn, H. (1969). A new method for the assessment of discomfort glare. *Lighting Research & Technology*, 1(4), 235-247.
- Elder, p. J., & Tibbott, R. L. (1981). *Les bureaux conçus pour économiser énergie sont-ils appréciés?* Taylor & Francis.
- Elton, O. (1920). *A Survey of English Literature 1780-1880 (Vol. 2)*. Macmillan.
- Escuyer, S., & Fontoyont, M. (2001). Lighting controls: a field study of office workers' reactions. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 33(2), 77-94.
- Escuyer, S., & Fontoyont, M. (2001). Lighting controls: a field study of office workers' reactions. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 33(2), 77-94.
- Farrenkopf, T., & Roth, V. (1980). The university faculty office as an environment. *Environment and Behavior*, 12(4), 467-477.
- Flynn, J. (1974). Lighting design decisions as intervention in human visual space (The role of CIE'Study Group A'). *Symposium—1974/CIE'Study Group A'*, . Montreal, Canada: 1974.

## Références bibliographique

- Flynn, J. E. (1988). Lighting-design decisions as interventions in human visual space. *Environment Aesthetic: Theory, Research, and Applications*, 156-170.
- Flynn, J. E., & Spencer, T. J. (1977). The effects of light source color on user impression and satisfaction. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 6(3), 167-179.
- Flynn, J. E., Spencer, T. J., Martyniuk, O., & Hendrick, C. (1973). Interim study of procedures for investigating the effect of light on impression and behavior. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 3(1), 87-94.
- Flynn, J., Spencer, T., Martyniuk, O., & Hendrick, C. (1975). The influence of spatial light on human judgment. CIE Congress London, England.
- Fontoynt, M., & Berruto, V. (1996). *Eclairage de l'espace de travail-Enquetes et mesures dans les bureaux*. Lux.
- Galasiu, A. D., & Reinhart, C. F. (2008). Current daylighting design practice: a survey. *Building Research & Information*, 36(2), 159-174.
- Goodrich, R. (1982). Seven office evaluations: A review. *Environment and Behavior*, 353-378.
- Gou, Z., & Lau, S. S.-Y. (2014). Visual alliesthesia: The gap between comfortable and stimulating illuminance settings. *Building and Environment*, 82, 42-49.
- Graen, G. B., Scandura, T. A., & Graen, M. R. (1986). A field experimental test of the moderating effects of growth need strength on productivity. *Journal of Applied Psychology*, 71(3), 484.
- Gurley, K., Davis, J. R., Ferrera, S.-P., Burton, J., Masters, F., Reinhold, T., & Abdullah, M. (2006). Post 2004 Hurricane Field Survey--An Evaluation of the Relative Performance of the Standard Building Code and the Florida Building Code. *Structures Congress 2006: Structural Engineering and Public Safety*.
- Guth, S. K. (1963). A method for the evaluation of discomfort glare. *Illuminating Engineering*, 58(5), 351-364.
- Hackman, J. R., & Morris, C. G. (1975). Group tasks, group interaction process, and group performance effectiveness: A review and proposed integration. *Advances in experimental social psychology*, 8, 45-99.
- Hackman, J. R., & Oldham, G. R. (1976). Motivation through the design of work: Test of a theory. *Organizational behavior and human performance*, 16(2), 250-279.
- Hackman, J. R., & Oldham, G. R. (1980). *Work redesign*.
- Halonen, L., & Lehtovaara, J. (1995). Need of individual control to improve daylight utilization and user's satisfaction in integrated lighting systems. *PUBLICATIONS-COMMISSION INTERNATIONALE DE L ECLAIRAGE CIE*, 119, 200-203.
- Halonen, L., & Lehtovaara, J. (1995). Need of individual control to improve daylight utilization and user's satisfaction in integrated lighting systems. *PUBLICATIONS-COMMISSION INTERNATIONALE DE L ECLAIRAGE CIE*, 119, 200-203.
- Harris, L. (1978). *The Steelcase National Study of Office Environments: Do They Work?* Steelcase.
- Hawkes, R., Loe, D., & Rowlands, E. (1979). A note towards the understanding of lighting quality. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 8(2), 111-120.



## Références bibliographique

- Hirning, M., Isoardi, G., Coyne, S., Hansen, V. G., & Cowling, I. (2013). Post occupancy evaluations relating to discomfort glare: A study of green buildings in Brisbane. *Building and Environment*, 59, 349-357.
- Hopkinson, R. G. (1972). Glare from daylighting in buildings. *Applied Ergonomics*, 206-215.
- Hopkinson, R. G. (1972). Glare from daylighting in buildings. *Applied Ergonomics*, 3(4), 206-215.
- Hopkinson, R., & Collins, W. M. (1963). An experimental study of the glare from a luminous ceiling. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 28(4\_IESrans), 142-148.
- IESNA. (2006). IESNA 500-Standard for Installing Indoor Commercial Lighting Systems. National Electrical Contractors Association.
- Inanici, M. (2006). Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. *Lighting Research & Technology*, 38(2), 123-134.
- Jacobs, A. (2007). High dynamic range imaging and its application in building research. *Advances in building energy research*, 1(1), 177-202.
- Jacques, L., & Cuny, X. (1977). *Introduction a la psychologie du travail*. Presses universitaires de France.
- Jacquot, Muriel, Fagot, Philippe, & Voilley, A. (2011). *La couleur des aliments: De la théorie a la pratique*. Lavoisier.
- Kruithof, & Andries, A. (1941). Tubular luminescence lamps for general illumination. *Philips Tech. Review*, 6, 65-96.
- Kunugi, Y., Mann, K. R., Miller, L. L., & Exstrom, C. L. (1998). A vapochromic LED. *Journal of the American Chemical Society*, 120(3), 589-590.
- Larousse. (2013). *Le Petit Larousse illustré*. Paris: Larousse.
- Leplat, J. (2004). L'analyse psychologique du travail. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 54(2), 101-108.
- Leslie, R., Raghavan, R., Howlett, O., & Eaton, C. (2005). The potential of simplified concepts for daylight harvesting. *Lighting Research & Technology*, 37(1), 21-38.
- Lindsay, C., & Littlefair, P. (1993). *Occupant use of venetian blinds in offices*. Watford, Building Research Establishment.
- Loe, L., Mansfield, K., & Rowlands, E. (1994). Appearance of lit environment and its relevance in lighting design: Experimental study. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 26(3), 119-133.
- Luckiesh, M. a. (1944). *Reading as a visual task*. D. Van Nostrand.
- Manning, P. (1995). *Office Design: A Study of Environment*. ERIC.
- Mardaljevic, J., Heschong, L., & Lee, E. (2009). Daylight metrics and energy savings. *Lighting Research & Technology*, 41(3), 261-283.
- Mardaljevic, J., Painter, B., & Andersen, M. (2009). Transmission illuminance proxy HDR imaging: A new technique to quantify luminous flux. *Lighting Research & Technology*, 41(1), 27-49.
- Martins Mogo de Nadal, B. G. (2005). *An experimental setup to evaluate the daylighting performance of an advanced optical light pipe for deep-plan office building*. Texas A&M University.

## Références bibliographique

- Matterson, M. L., Ferra, J. O., Salom, J., & Portilla, J. (2013). Dynamic daylight simulation and visual comfort survey in Mediterranean climate. Case study in office building. Proc. Building Simulation Conf. IBPSA.
- Moeck, M. (2007). Accuracy of luminance maps obtained from high dynamic range images. *Leukos*, 4(2), 99-112.
- Moore, T., Carter, D., & Slater, A. (2002). A field study of occupant controlled lighting in offices. *Lighting Research & Technology*, 34(3), 191-202.
- Moore, T., Carter, D., & Slater, A. (2003). Long-term patterns of use of occupant controlled office lighting. *Lighting Research & Technology*, 35(1), 43-57.
- Nayar, S. K., & Branzoi, V. (2003). Adaptive dynamic range imaging: Optical control of pixel exposures over space and time. null (p. 1168). IEEE.
- Ne'eman, E. a. (1984). Office worker response to lighting and daylighting issues in workspace environments: A pilot survey. *Energy and buildings*, 6(2), 159-171.
- Newsham, G. R., & Veitch, J. A. (2001). Lighting quality recommendations for VDT offices: a new method of derivation. *Transactions of the Illuminating Engineering Society*, 33(2), 97-113.
- Newsham, G. R., Aries, M., & Mancini, S. a. (2008). Individual control of electric lighting in a daylight space. *Lighting Research & Technology*, 40(1), 25-41.
- Newsham, G. R., Aries, M., Mancini, S., & Faye, G. (1998). Individual control of electric lighting in a daylight space. *Lighting Research & Technology*, 40(1), 25-41.
- Newsham, G., & Arsenault, C. (2009). A camera as a sensor for lighting and shading control. *Lighting Research & Technology*, 41(2), 143-163.
- Osterhaus, W. (2006). Comment 2. *Lighting Research and Technology*, 38(4), 338-339.
- Osterhaus, W. K. (2005). Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments. *Solar Energy*, 79(2), 140-158.
- Page, J., Scartezzini, J.-L., Kaempf, J., & Morel, N. (2007). On-site performance of electrochromic glazings coupled to an anidolic daylighting system. *Solar Energy*, 81(9), 1166-1179.
- Parsons, T. (1966). *Societies: evolutionary and comparative perspectives*.
- Pélegrin-Genel, E. (1994). *L'Angoisse de la plante verte sur le coin du bureau*. ESF éd.
- Porteous, J. D. (1977). *Environment & behavior: planning and everyday urban life*.
- Rea, M. S. (1981). Visual performance with realistic methods of changing contrast. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 164-177.
- Rea, M. S. (1986). Toward a model of visual performance: foundations and data. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 41-57.
- Rea, M. S. (2000). *The IESNA lighting handbook: reference & application*.
- Rea, M. S., & Jeffrey, I. (1990b). A new luminance and image analysis system for lighting and vision I. Equipment and calibration. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 19(1), 64-72.
- Rea, M. S., & Ouellette, M. J. (1988). Visual performance using reaction times. *Lighting Research & Technology*, 139-153.

## Références bibliographique

- Rea, M. S., & Ouellette, M. J. (1991). Relative visual performance: A basis for application. *Lighting Research & Technology*, 135-144.
- Rea, M. S., & Ouellette, M. J. (1991). Relative visual performance: A basis for application. *Lighting Research & Technology*.
- Rea, M. S., Ouellette, M. a., & K, D. (1990). The effects of luminous surroundings on visual performance, pupil size, and human preference. *Journal of the Illuminating Engineering Society*.
- Rea, M. S., Ouellette, M., & Tiller, D. K. (1990). The effects of luminous surroundings on visual performance, pupil size, and human preference. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 19(2), 45-58.
- Reinhard, E., & Devlin, K. (2005). Dynamic range reduction inspired by photoreceptor physiology. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 11(1), 13-24.
- Reinhart, C. F. (2002). Effects of interior design on the daylight availability in open plan offices. 2002 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.
- Roche, L., Dewey, E., & Littlefair, P. (2000). Occupant reactions to daylight in offices. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 32(3), 119-126.
- Russell, J. A. (1978). Evidence of convergent validity on the dimensions of affect. *Journal of personality and social psychology*, 36(10), 1152.
- Russell, J. A. (1979). Affective space is bipolar. *Journal of personality and social psychology*, 37(3), 345.
- Russell, J. A., & Snodgrass, J. (1987). Emotion and the environment. *Handbook of environmental psychology*, 1(1), 245-81.
- Schanda, J. (2007). *Colorimetry: understanding the CIE system*. John Wiley & Sons.
- Sorensen, K. (1987). A modern glare index method. *Proc. CIE Venice Vols. I, II*, 108-111.
- Stenzel, A. (1962). Experience with 1000 lx in a leather factory. *Lichttechnik*, 16.
- Sundstrom, E., Burt, R. E., & Kamp, D. (1980). Privacy at work: Architectural correlates of job satisfaction and job performance. *Academy of Management Journal*, 23(1), 101-117.
- Sutter, Y., Dumortier, D., & Fontoyont, M. (2006). The use of shading systems in VDU task offices: A pilot study. *Energy and Buildings*, 38(7), 780-789.
- Tan, T. H., & Waheed, A. (2011). Herzberg's motivation-hygiene theory and job satisfaction in the Malaysian retail sector: The mediating effect of love of money.
- Van Den Berg, T., & Tan, K. (1994). Light transmittance of the human cornea from 320 to 700 nm for different ages. *Vision research*, 1453-1456.
- Van Den Wymelenberg, K. (2012). Patterns of occupant interaction with window blinds: A literature review. *Energy and Buildings*, 165-176.
- Van Den Wymelenberg, K., Inanici, M., & Johnson, P. (2010). The effect of luminance distribution patterns on occupant preference in a daylit office environment. *Leukos*, 7(2), 103--122.
- Veitch, J. A. (2001). Psychological processes influencing lighting quality. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 30(1), 124-140.

## Références bibliographique

- Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (1998). Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction, and comfort. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 27(1), 107-129.
- Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2000). Preferred luminous conditions in open-plan offices: Research and practice recommendations. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 32(4), 199-212.
- Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2000). Preferred luminous conditions in open-plan offices: Research and practice recommendations. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 32(4), 199-212.
- Veitch, J. A., & Newsham, G. R. (2000). Preferred luminous conditions in open-plan offices: Research and practice recommendations. *International Journal of Lighting Research and Technology*, 32(4), 199-212.
- Vine, E., Lee, E., Clear, R., DiBartolomeo, D., & Selkowitz, S. (1998). Office worker response to an automated venetian blind and electric lighting system: a pilot study. *Energy and Buildings*, 28(2), 205-218.
- Viorel, L. a., Virgil, M. C., & Stefania, P. R. (2009). Employees motivation theories developed at an international level. *Annals of the University of Oradea, Economic Science Series*, 18(4), 324-328.
- Vos, J. J. (2003). Reflections on glare. *Lighting Research & Technology*.
- Weston, H. C. (1922). A study of efficiency in fine linen weaving. Industrial Fatigue Research Board.
- Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and buildings*, 743-757.
- Wienold, J., & Christoffersen, J. (2006). Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and buildings*, 38(7), 743-757.
- Wineman, J. D. (1982). Office design and evaluation: An overview. *Environment and Behavior*, 271-298.
- Wineman, J. D. (1982). The office environment as a source of stress. *Environmental stress*, 256-285.
- Xue, P., Mak, C., & Cheung, H. (2014). The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey. *Building and Environment*, 81, 51-59.
- Xue, P., Mak, C., & Cheung, H. (2014). The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey. *Building and Environment*, 81, 51-59.
- Yacine, S. M. (2017). Developing neural networks to investigate relationships between lighting quality and lighting glare indices. *Energy Procedia*, 799--804.
- Yacine, S. M., Noureddine, Z., Piga, B. E., Morello, E., & Safa, D. (2017). Towards a new model of light quality assessment based on occupant satisfaction and lighting glare indices. *Energy Procedia*, 122, 805--810.

## Références bibliographique

- Yin, H. (2011). Glare studies: Comparison of three glare indices, HDR imaging and measured values. California: University of Southern California.
- Zar, J. H. (1984). Biostatistical analysis. 2nd. Prentice Hall USA.

## Références bibliographique

### Contributions personnelles

- 1) Yacine, S. M., Nouredine, Z., Piga, B. E., Morello, E., & Safa, D. (2017). Towards a new model of light quality assessment based on occupant satisfaction and lighting glare indices. *Energy Procedia*, 122, 805--810.
- 2) Yacine, S. M., Nouredine, Z., Piga, B. E., Morello, E., & Safa, D. (2017). Developing neural networks to investigate relationships between lighting quality and lighting glare indices. *Energy Procedia*, 122, 799--804.
- 3) Daich, S., Zemmouri, N., Morello, E., Piga, B. E., Saadi, M. Y., & Daiche, A. M. (2017). Assessment of Anidolic Integrated Ceiling effects in interior daylight quality under real sky conditions. *Energy Procedia*, 122, 811-816.
- 4) Daich, S., Saadi, M.Y., Eugenio, M. Piga, B.E.A. Zemmouri, N., and Daiche, A. M., (2017). Effects of Anidolic Integrated Ceiling in interior daylight distribution for deep spaces under high exterior illuminance levels. PLEA conferences, Edinburgh, UK, P: 3199-, 3- 5 July 2017.
- 5) Daich, S., Saadi, M. Y., Morello, E., Piga, B. E., & Daiche, A. M. (2016). Evaluation quantitative et qualitative du système anidolique sous un climat chaud et aride. Ambiances, tomorrow. Proceedings of 3rd International Congress on Ambiances. Septembre 2016, Volos, Greece.
- 6) Daiche, A. M., Mazouz, S., Daich, s., & Saadi, M. Y. (s. d.). Toward a tool to optimize the daylighting into the process of architectural design—reverse approach—. Building Simulation & Optimization - BSO 2016 - 3rd IBPSA-England Conference, Great North Museum, September 2016, Newcastle, England.



CISBAT 2017 International Conference – Future Buildings & Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale, CISBAT 2017 6-8 September 2017, Lausanne, Switzerland

## Daylighting & Electric Lighting (Green Lighting)

# Developing neural networks to investigate relationships between lighting quality and lighting glare indices

Saadi Mohamed Yacine<sup>a</sup> \*, Zemmouri Nouredine<sup>a</sup>, Barbara E. A. Piga<sup>b</sup>, Eugenio Morello<sup>b</sup>, Daich safa<sup>a</sup>

<sup>a</sup>LACOMOFA, laboratory, Department of architecture, university of Biskra 07000, Algeria

<sup>b</sup>Laboratorio di Simulazione Urbana 'Fausto Curti', polytechnic of Milan 20133, Italy

---

### Abstract

The present work compares the ability of the two most used glare indices, the Daylight Glare Probability (DGP) and the International Commission on Illumination (CIE) Glare Index (CGI), using Multiple Correspondence Analysis (MCA) and Artificial Neural Networks (ANN). The research investigates the efficiency of indexes in predictive indoor lighting quality. This study was carried out by analyzing data from a survey administered to ninety students in real design classrooms in the city of Biskra, Algeria. The experiment was conducted using three different lighting indoor conditions: natural and artificial lighting and mixed lighting. The true prediction of the Daylight Glare Probability for the variable Comfortable was 60.60%, and for (CIE) Glare Index the prediction values were equal to 44.60% for the same variable.

© 2017 The Authors. Published by Elsevier Ltd.

Peer-review under responsibility of the scientific committee of the CISBAT 2017 International Conference – Future Buildings & Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale

**Keywords:** Design classrooms; Survey; Multiple Correspondence Analysis; Glare index; Artificial Neural Network.

---

\* Corresponding author. Tel.: +39-333-522-4542; fax: +213-53-72-03.

E-mail address: [saadiarchitecture@gmail.com](mailto:saadiarchitecture@gmail.com)



## 1. Introduction

In modern societies, as a result of urbanization and industrialization, people spend more time indoors than ever before. It is estimated that on average people spend more than ninety percent of their time indoors [1, 2]. Indoor comfort, such as thermal and visual comfort, plays accordingly a significant role and has a large impact on the working efficiency and satisfaction. The indoor environments, including university study environments, should, therefore, be studied since their design and configuration does not only influence an individual's perception of work-related tasks but also affects its general emotional-motivational state, well-being, and productivity of users [3,4,5]. The impact of building simulation tools in quantifying issues, such as visual comfort and energy savings, continues to be seen as significant; lighting analysis trends and interest towards computationally generated models simulations and visualization increased with the availability of powerful and accurate software. These can rigorously simulate buildings and urban spaces for thermal, acoustic, lighting conditions there are different tools and methods for glare assessment, but the most used are glare indices including DGP (Daylight Glare Probability), DGI (Daylight Glare Index), UGR (Unified Glare Rating) and CGI (CIE Glare Index). In the present paper, authors describe a comparative analysis between DGP, the most used glare metrics for the prediction of glare in indoor spaces using artificial lighting and CGI the most recommended glare index used to predict glare in spaces illuminates by natural lighting [6]. The two glare index was compared with the real glare experienced by users in the computer design classrooms. The data were collected using survey administrated to ninety students (users of design classroom). The data was analyzed using Multiple Correspondence Analysis (MCA) and Artificial Neural Networks (ANN), in order to determine which of these glare indexes is the most efficient for glare assessment, in the design classroom in highly luminous climate.

## 2. Methodology

### 2.1. Case study

The experimentation was carried out in the real computer design classroom at the University of Biskra, which is located in the south EST. of Algeria, and characterized by a specific local luminous climate [7, 8]. The classroom has a quarter of circle chip, with a radius equal to 10.05 m, 3.87 m height. It receives daylight from North-EST facing unilateral windows 3 by 10 m, daylighting is supplemented by electric lighting from ceiling mounted fluorescent fixtures. In the classroom, there are five tables with six workspaces for each one, hence 30 workspaces in total. As illustrated in (Fig. 1).

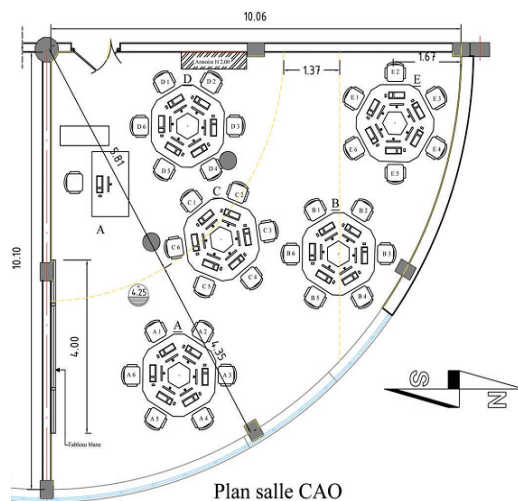


Fig. 1. Plan of the design computer class room

## 2.2. Processes

In order to assess the glare level in three different lighting class conditions, three different configurations of the design classroom were developed using exclusively: daylighting, electric lighting from the ceiling and the both of them, as illustrated in (Fig. 2).



Fig. 2. The same workplace under three different lighting configurations of class room.

In order to quantify the values of luminance and glare index DGP and CGI, at the eye level of users, a calibrated camera 1200D canon EOS was mounted on a tripod at 1.20 m high, equipped with a circular Fisheye lens Sigma (4.5mm f/2.8 EX DC Circular Fisheye HSM); this type of lens is recommended since it better resembles the human visual field [9, 10] suggests modified human visual field according to the total field of [11]. The fisheye HDR photography was analyzed with using Eva glare software for measuring DGI and CGI [12] in the different workplace spaces of a classroom. In the same time, a survey was administrated to ninety students, in order to assess their real discomfort glare during the task to ask the students: design using computer tool. Refer to the literature review seven questions [13, 14] were asked to the students. Seen table 1:

Table 1. A part of questionnaire asked to the students

Question A								
Is there a discomfort caused by the presence of light in your workplace space?								
Yes					No			
Question B								
How do you qualify the general atmosphere created by the light in workplace space?								
Lighting Factors			Unser's feeling affirmations					
1-	Light level	Very Dark	-2	-1	0	+1	+2	Very Bright
2-	Visual comfort	Very boring	-2	-1	0	+1	+2	Very Stimulating
3-	Naturalness	Very Artificial	-2	-1	0	+1	+2	Very Natural
4-	Visual comfort	Very Glaring	-2	-1	0	+1	+2	Very Comfortable
5-	Precision	Blurry	-2	-1	0	+1	+2	Precise
		Not defined	-2	-1	0	+1	+2	Well defined
6-	Pleasantness	Unpleasant	-2	-1	0	+1	+2	Pleasant

## 2.3. Statistical and Neural Network analysis

The data collected in the ninety students' workplaces have been analyzed using statistic tool in order to compare the survey results with glare assessment using different glare indexes. Therefore, in the first step a Multiple

Correspondence Analysis was used in order to study the degree the correlation results between the seven variables of the questionnaire to relationships of several ordinal dependent variables.

To determine a reliable prediction DGP and CGI, an ANN model based on Pleasant and Comfortable variables selected in the first MCA study with significant correlation ( $p$ -value  $<0.05$ ) was used. In the ANN modeling process, we divided the data in tow subsets: nearly 35% of the student for constructing the models (training subset) and the remaining 65 % for testing the model (as the validation subset). After evaluating the model, we applied Multiple Layer Perceptron (MLP) networks to determine relevant relationships and to determine which is the best glare index. In terms of reliable prediction performance of the DGP and CGI glare index. With ANN we used a three-layer MLP network with 4 variables (15 nodes) in the input layer, 3 nodes in the middle layer and 8 nodes in the output layer. The hidden layer had 3 neurons, determined as the optimal configuration giving the lowest error in the training and testing sets of data with minimal computing time [15, 16].

### 3. Results and discussion

#### 3.1. Multiple correspondence analysis

Data collected from (Fig. 3) shows some pitfalls, which may exist when developing Multiple Correspondence Analysis models. Three of the seven variables tested (were not significant), these variables are: Naturality ( $r$  0.20,  $P$ -value 0.65), Stimulating ( $r$  0.15,  $P$ -value 0.82), Precise ( $r$  0.15,  $P$ -value 0.82). Overall, we obtained a significant correlation between the remaining variables. In addition, we note that tow variables ‘Comfortable’, ‘Pleasantness’ (see Fig. 3) show much higher significant correlation than the others, with the  $p$ -value less than 0.01 and ( $r$  more than 0.85). So these two variables are the most representative of real discomfort sensation of the users.

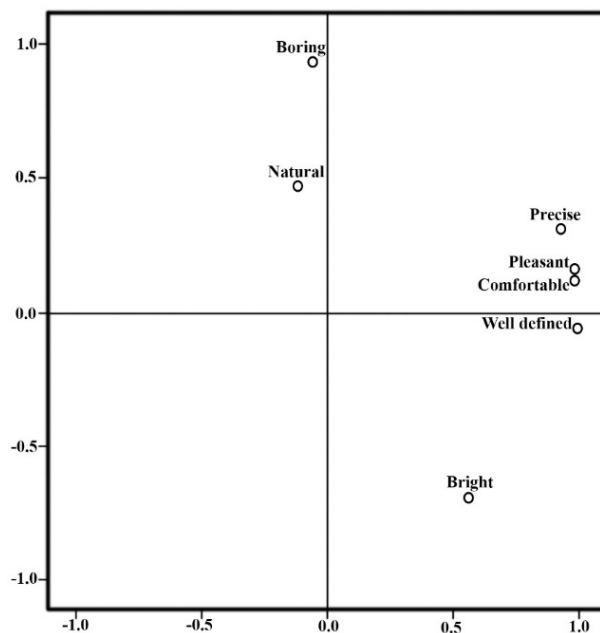


Fig. 3. Multiple correspondence analysis for design using computer.

#### 3.2 Artificial neural network model

As regards the ANN network the architecture that was developed, included fourteen neurons for CGI and twelve neurons for DGP in the hidden layer. For DGP: the overall average of the relative errors are fairly constant across training 40.20%, with a value for Unpleasant/Pleasant equal to 43.10%, and 39.20% for Glaring/Comfortable, a percentage of 46.54 % was reached testing model with a value for Unpleasant /Pleasant equal to 43.10% and 39.20%, Glaring/Comfortable.

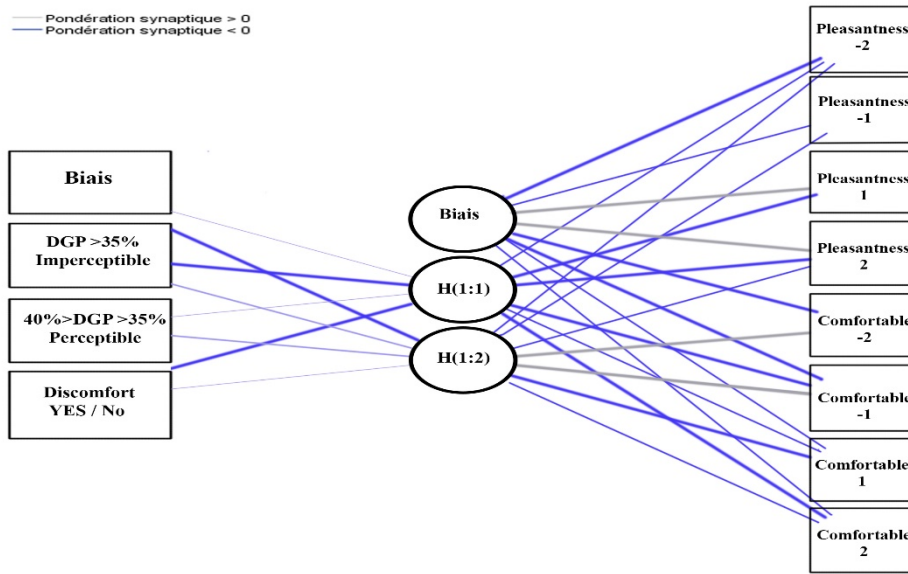


Fig. 4. Multi-layer perceptron network structure for DGP glare

However, we have obtained a different result with the CGI, so the percentage average overall relative error for training model was 65.10 %, with percentages of 55.60 % for Unpleasant /Pleasant, and 69.60 % for variables Glaring/Comfortable, In addition, referred to (see Fig. 4) average overall relative error for Testing model was 50.36 %, with percentages of 43.80 %for Unpleasant /Pleasant, and 56.30 % for variables Glaring/Comfortable. Both ANN model reasonable prediction which gives us some confidence that the model is not overtrained, and that the error in future cases, scored by the network will be close to the error reported in (Tab 2).

Tab 2. Summary training testing (MLP) Model for the DGP and CGI Glare index, model with ninety Students

DGP index			
<b>Training</b>	Sum of Squares Error		110.032
	Average Overall Relative Error		41.20%
	Relative Error for scale dependents	Unpleasant /Pleasant	43.10%
		Glaring / Comfortable	39.20%
<b>Testing</b>	Sum of Squares Error		46.546
	Average Overall Relative Error		43.20%
	Relative Error for scale dependents	Unpleasant /Pleasant	43.80%
		Glaring / Comfortable	39.50%
CGI index			
<b>Training</b>	Sum of Squares Error		109.382
	Average Overall Relative Error		65.10%
	Relative Error for scale dependents	Unpleasant /Pleasant	55.60%
		Glaring / Comfortable	69.60%
<b>Testing</b>	Average Overall Relative Error		35.518
	Average Overall Relative Error		50.36%
	Relative Error for scale dependents	Unpleasant /Pleasant	43.80%
Glaring / Comfortable		56.30%	

#### 4. Conclusions

Multi-Layer Perceptron (MLP) and Neural Network Models, that were used to predict which is the closest glare index (DGP, CGI) to the real perception of the students, using glare indicators and survey in the computer design classrooms, under highly luminous climate. The model developed appears to perform reasonably well. Unlike traditional statistical methods, such as quantitative and categorical approach base on simple linear regression and correlation. The Neural Network Models provides the dynamic output as further data (lighting environment, users) is fed to it, while the ANN do not require performing and analyzing sophisticated statistical methods [17]. So based on the results from ANN and MLP models developed in the previous sections, the predictive value of the ANN model developed based on DGP is most robust, than the ANN model developed using CGI index, under the local luminous sky conditions in the city of Biskra, the DGP model predicts discomfort glare with a higher probabilities performance assessment of the real glare, with relative error for scale for variables Glaring/Comfortable equal to 39.20 % and percentage of 43.80% for variables Unpleasant/Pleasant. The authors recommend the use of the ANN model developed based on DGP, for the assessment of light quality indoor spaces under the local luminous climate. Finally, these results on the use of ANN for population analyses open new fields for their applications to architecture specifically for the assessment of the comfort and well-being indoors spaces.

#### References

- [1] Luongo, Julia Cristina. *Towards Defining Healthy Buildings: Investigating the Effect of Building Characteristics and Interventions on Indoor Air Microbial Exposures and Energy Efficiency*. Colorado: University of Colorado; 2016.
- [2] Steinemann, Anne and Wargocki, Pawel and Rismanchi, Beh. Ten questions concerning green buildings and indoor air quality. *Building and Environment* 2017; 112:351-358.
- [3] Hannah, Ryan. *The effect of classroom environment on student learning*. Michigan: Western Michigan University; 2013.
- [4] Werthamer Larsson, Lisa and Kellam, Sheppard and Wheeler, Leonard. Effect of first-grade classroom environment on shy behavior, aggressive behavior, and concentration problems. *American Journal of community psychology* 1991;19: 585-602.
- [5] Delvaeye, Ruben and Stroobant, Ludwig and Klein, Ralf and Hanselaer, Peter and D'Herdt, Peter and Breesch, Hilde and Ryckaert, Wouter. *Monitoring of Daylight Controlled Dimming Systems and Occupancy in Three Equivalent Classrooms*. CLIMA 2016-proceedings of the 12th REHVA World Congres. Aalborg: Aalborg University, Department of Civil Engineering; 2016.
- [6] Navvab, M. & Altland, G. Application of CIE glare index for daylighting evaluation. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, Taylor & Francis 1997; 26: 115-128.
- [7] Daich Safa, Zemmouri Noureddine, Saadi Mohamed Yacine. *A study of optimization of the light shelf system in hot and arid zones*. Baltimore, USA: American Solar Energy Society; 2013.
- [8] Safa Daich. *Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, cas de la ville de Biskra*. université mohamed khider biskra; 2011.
- [9] Suk, Jae Yong and Schiler, Marc and Kensek, Karen. Investigation of existing discomfort glare indices using human subject study data. *Building and Environment* 2017; 113: 121-130.
- [10] Hirning, MB and Isoardi, GL and Cowling, Ian. Discomfort glare in open plan green buildings. *Energy and Buildings* 2014; 70: 427- 440.
- [11] Guth, Sylvester K. Computing visual comfort ratings for a specific interior lighting installation. *Illuminating Engineering* 1966; 61:634.
- [12] Suk, J and Schiler, Marc. Investigation of Evalglare software, daylight glare probability and high dynamic range imaging for daylight glare analysis. *Lighting Research & Technology* 2013; 45: 450-463.
- [13] Vischer, Jacqueline C. *Towards an environmental psychology of workspace: how people are affected by environments for work*. *Archit Sci Rev* 2008;51(2):97-108.
- [14] Galasiu, Anca D and Veitch, Jennifer A. Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices: a literature review. *Energy Build* 2006;38:728-42.
- [15] Gelman, Andrew and Rubin, Donald B. Inference from iterative simulation using multiple sequences. *Statistical science* 1992; 45:457-472.
- [16] Lek, Sovan and Delacoste, Marc and Baran, Philippe and Dimopoulos, Ioannis and Lauga, Jacques and Aulagnier, Stéphane. Application of neural networks to modelling nonlinear relationships in ecology; *Ecological modelling* 1996;90: 39-52.
- [17] Molina, Isabel and Rao, JNK. Small area estimation of poverty indicators. *Canadian Journal of Statistics* 2010; 38: 369-385.



CISBAT 2017 International Conference – Future Buildings & Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale, CISBAT 2017 6-8 September 2017, Lausanne, Switzerland

## Indoor Environment Quality (User Comfort, Health and Behaviour)

# Towards a new model of light quality assessment based on occupant satisfaction and lighting glare indices

Saadi Mohamed Yacine<sup>a\*</sup>, Zemmouri Nouredine<sup>a</sup>, Barbara E. A. Piga<sup>b</sup>, Eugenio Morello<sup>b</sup>, Daich Safa<sup>a</sup>

<sup>a</sup>LACOMOFA, laboratory, Department of architecture, university of Biskra 07000, Algeria

<sup>b</sup>Laboratorio di Simulazione Urbana 'Fausto Curti', polytechnic of Milan 20133, Italy

### Abstract

This study looks at the effect of daylighting on human performance. It includes a focus on glare index combined with the actual feeling of users of the classroom as a way to assess indoor lighting quality. The main objective of this research is to understand the impact of daylighting from windows on the glare sensation and also to determine which glare index is the closest to human visual sensation under local daylighting conditions in Biskra, Algeria with highly luminous climate. The study used High Dynamic Range (HDR) photography, Evaglare and Aftab Alpha software to calculate the two glare metrics Daylight Glare, Index (DGI) and the Daylight Glare Probability (DGP). A survey was also used with 90 occupants under different lighting conditions (different configurations) in a design classroom. In order to link the mathematical model and the human assessment of glare, statistical regression analysis was used. We established a statistically compelling connection between daylighting and student performance.

© 2017 The Authors. Published by Elsevier Ltd.

Peer-review under responsibility of the scientific committee of the CISBAT 2017 International Conference – Future Buildings & Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale

**Keywords:** Glare metrics, HDR photography, Daylighting assessment, Machine learning, Statistical regression.

\* Corresponding author. Tel.: +39-333-522-4542; fax: +213-53-72-03.

E-mail address: [saadiarchitecture@gmail.com](mailto:saadiarchitecture@gmail.com)



## 1. Introduction

Daylighting has been used throughout history as a primary light source in buildings, so the principles of light are not new. However, the use of natural light has advantages and disadvantages; aesthetically and physically this pendulum between the extremes has been covered by architectural design throughout many decades. Glare is one of the major factors affecting visual comfort [1]. Some previous studies have proved that visual comfort is mainly achieved by avoiding glare as well as controlling the uniformity, shadows and veiling reflections so it should be avoided in general for visual tasks and especially for more visually demanding tasks such as computer screens and office work [2]. In recent years, several objective and subjective indices and indicators of glare have been developed, also significant progress has been made towards the development of computational methods that holistically evaluate the performance of occupant comfort [3]. Various tools and methods for glare assessment exist [4, 5, 6], but the most frequently used are glare indices including DGP (Daylight Glare Probability), DGI (Daylight Glare Index), UGR (Unified Glare Rating), and CGI (CIE Glare Index). DGP and DGI were specifically developed for daylight glare, which needs to be treated differently from visual discomfort issue of electrical light sources [7]. According to the equations (1, 2), a similarity can be established between the two different glare indices, since all of them are based on background mean luminance, glare source luminance, glare source position, the solid angle of glare sources, vertical illuminance, and direct vertical illuminance. The aim of this paper is to compare the two glare indices ‘DGP’ and ‘DGI’, in order to determine which of these indicators is the most adapted for the glare assessment and lighting quality measured and quality felt by users [8].

$$DGI = 10 \cdot \log \left( 0.478 \sum_i \frac{L_{s,i}^{1.6} \cdot \omega_{s,i}^{0.8}}{L_b + 0.07 \cdot \omega_{s,i}^{0.5} \cdot L_{s,i}} \right) \quad (1)$$

$$DGP = 5.87 \cdot 10^{-5} \cdot E_v + 0.092 \cdot \log \left( 1 + \sum_i \frac{L_{s,i}^2 \cdot \omega_{s,i}}{E_v^2 \cdot P_i^2} \right) + 0.16 \quad (2)$$

### Nomenclature

$E_v$	Total vertical eye illuminance (lux)
$L_s$	Luminance of the glare source (cd/m <sup>2</sup> )
$\omega$	Solid angle of the glare source (sr)
$P$	Weight factor based on position in a viewing hemisphere, the Position index

## 2. Methodology

The authors created three lighting conditions, natural light, artificial light and mixed light, in order to analyze the different users' glare perceptions in the classrooms. HDR photographs were developed in 90 different users' working positions in order to calculate the two glare indices (DGP, DGI) in each user's position using Evaglare and Aftab Alpha software. At the same time, a survey was administered to the 90 participants, 30 in each configuration. The questionnaire was repeated for the three configurations. Each of the 30 participants was exposed to the three lighting conditions of the design classroom and asked to answer questions, to evaluate their level of glare in space. The complete information was registered and used for different statistical analysis.

## 3. Experimental Procedure

### 3.1. Dynamic Range photography and glare indices

University students were exposed to three different light settings of the computer design classrooms: configuration 01 using natural light, 02 using artificial light (with black drapes), and 03 using artificial light and natural light (mixed light). There were thirty students in each configuration 12 male, 18 female. The total of (N= 90) participated voluntarily, students judged the different light settings by rating. The ninety different working positions were



photographed with series of three exposures levels using a 1200D canon EOS camera using circular Fisheye lens Sigma (4.5mm f/2.8 EX DC Circular Fisheye HSM), in order to generate the spherical 180° HDR images. We have chosen the high dynamic range images because these store a much larger range of luminance information [9] in a digital image than a conventional low dynamic range (LDR) photograph, and present a similar range of luminance to that experienced with the human visual system [10]. There have been many studies using HDR for research purposes such as luminance evaluation, glare evaluation, and daylighting analysis [9, 11]. To calculate glare indices and the luminance distribution within a field of view, a Aftab Alpha software was used for evaluating glare originating from daylight and artificial light.

### 3.2. Photometric measurements and development of model

Experimentation and measurements were carried out on a typical Mid-season day in the Month of May 2016, under specific local sky conditions [12]. For the measurement, we have used a light meter (Luxmètre\_CA\_813) to measure: 1) illumination on table 2) eye level illumination, and 3) illumination on the vertical screen. The Aftab Alpha software was used to assess the following information: 1) Average luminance, 2) Maximum luminance, and 3) background luminance on the visual field. We have entered the data previously cited in statistic software.

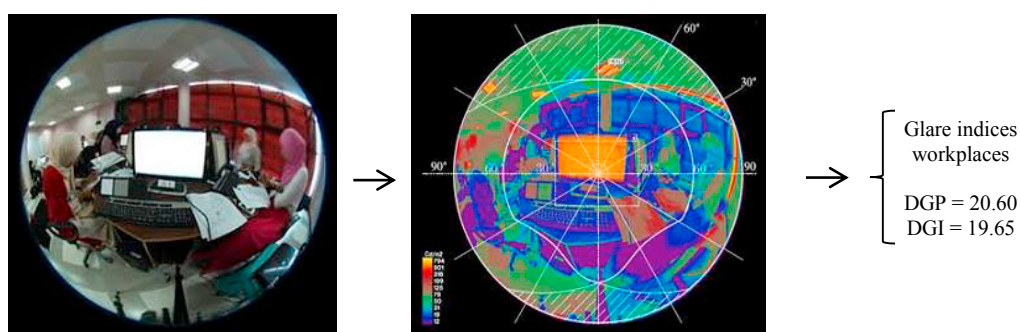


Fig. 1. Image processing / Glare indices

### 3.3. Data Analysis

In the literature, many different semantic glare rating scales are used that contain terms like visible, acceptable, comfortable and tolerable. However not always the same words are used, which can give different interpretations, and make the comparison between different glare indexes very difficult or even distort the reality of indicator. This is why in our study participants were asked to evaluate the different light settings by rating three qualitative factors: visual comfort, naturality, and light level, each question was answered using numbers from (2+) to (2-), where (2+) corresponded to “fully agree” and (2-) corresponded to “fully disagree”, combined with factors: ‘extent lighting noise’ in design classroom, and glare ((exist), (does not exist)). For each light setting the questions listed in table 1 were asked.

Multiple linear regression has been used to investigate the relationship between continuous variables such as lighting levels or average illuminance levels. However, we are also interested in our study to understand how glare index value and model developed value are related with glare perceived by users (actual glare). Therefore, a logistic ordinal statistic regression has been adopted, in order to visualize the performance and reliability of results. The recent years have seen an increase in the use of Receiver Operating Characteristic (ROC) graphs in the machine learning community, due in part to the realization that simple classification accuracy is often a poor metric for measuring performance [13, 14]. The graphs are useful for organizing classifiers and visualizing the performance of a different models of glare prediction [15]. That is why in our study we have plotted ROC graphs, a very useful tool for organizing classifiers and visualizing.

Table 1. A part of questionnaire submitted to the ninety students

A- "Is there a discomfort caused by the presence of light in the computer room?"							
		Yes		No			
Question 1: How do you qualify the general atmosphere created by the light in the computer room?							
(Light level)	Very Dark	-2	-1	0	+1	+2	Very Bright
(Visual comfort)	Very boring	-2	-1	0	+1	+2	Very Stimulating
(Naturality)	Very Artificial	-2	-1	0	+1	+2	Very Natural
(Visual comfort )	Very Glaring	-2	-1	0	+1	+2	Very Comfortable

#### 4. Results and analysis

Overall, the level of significance ended up being higher for the two variables 'Visual comfort' and 'Light level' than 'Naturality' for the evaluation of visual comfort in the computer design classroom. So, the statistical analysis shows two significant correlations. The first one, between Visual comfort ( $p = 0.013$ ) and 'Naturality' the second, between Light level and 'Naturality' equal to ( $p = 0.022$ ). In order to check the degree of correlation and the relationship between the results obtained (significant correlation) and the glare indices 'DGP' and 'DGI', a logistic and ordinal regression has been used.

The ordinal regression was used to develop the model for glare assessment, regression analysis based on 'DGI' and 'DGP' and photometric measurements such as illumination on a table, illumination on the vertical screen, average luminance and student glare perception in the classroom. The model developed is obtained as an excel sheet outcome of ordinal regression analysis, where the quality is evaluated based on photometric measurements and glare indices inputs. In order to evaluate the accuracy of the model author's used Receiver Operating Characteristics (ROC) are a way of graphically displaying true positives versus false positives across a range of models and of selecting the optimal model. The high sensitivity corresponds to high negative predictive, high specificity corresponds to high positive predictive. The obtained results of diagnostic accuracy are shown below:

##### 4.2. For the variables glaring and comfortable

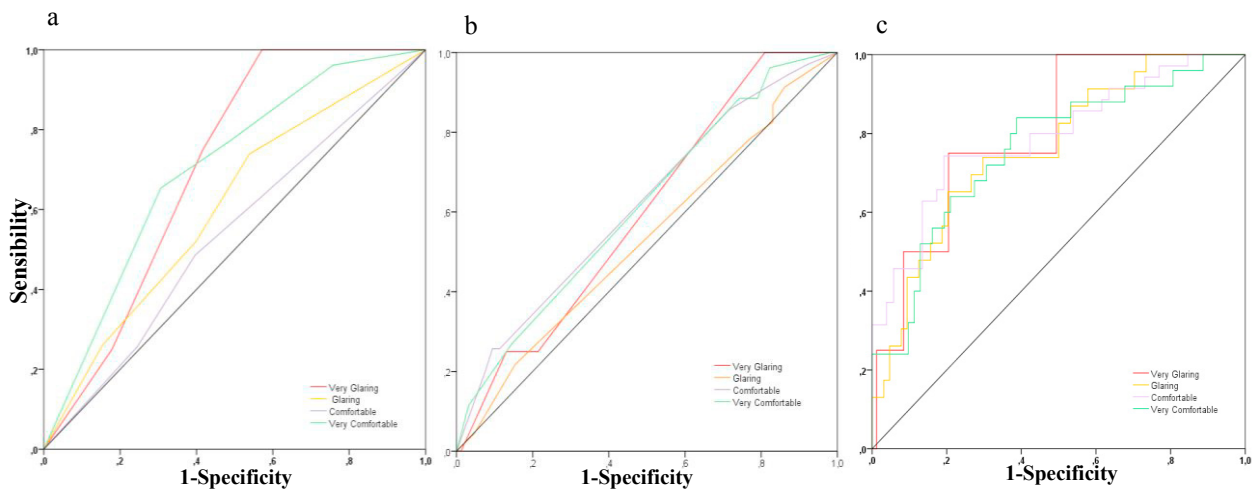


Fig. 2. (a) ROC graphs classifier DGP (Glaring vs Comfortable); (b) ROC graphs classifier DGI (Glaring vs Comfortable); (c) ROC graphs classifier Developed Model (Glaring vs Comfortable)

Comparing the different glare indexes, Fig. 2 shows that there is a big difference between the three methods of glare prediction. It can be observed that the curve Glaring / Comfortable for DGI is the closest to the reference line of the plot. This shows that the DGI has registered the maximum error pruning of the predicted discomfort with the poor performance of the decision. In addition, from Fig. 2, it can be seen that the area under a ROC of variables Glaring/ Comfortable for DGP is of higher overall accuracy than DGI. However, an area under a ROC of 'Very Glaring' is 0,705 (70%) and 'Very Comfortable' is 0,701. It shows that the DGP can predict these two variables with a better accuracy than the others variables. However, the developed model shows probabilities much higher than the two others, since the area under a ROC of the developed model is much higher, with minimum of 0,761 (probability of 76.10 %) for variable 'Very Comfortable' and maximum of 0,801 (probability of 80.10 %) for variable 'Very Glaring'.

Tab 2. Area under a ROC of variables (Glaring, Comfortable) for DGP, DGI and model developed

	<i>DGP</i>		<i>DGI</i>		<i>Developed Model</i>	
		Area		Area		Area
<i>Very Glaring</i>	Very Glaring	0,705	Very Glaring	0,598	Very Glaring	0,801
	Glaring	0,605	Glaring	0,532	Glaring	0,762
<i>Very Comfortable</i>	Comfortable	0,553	Comfortable	0,618	Comfortable	0,791
	Very Comfortable	0,701	Very Comfortable	0,615	Very Comfortable	0,761

#### 4.1. For the variables Boring and Stimulating

Fig. 3 shows that there is a big similarity between DGP and DGI of glare prediction probabilities, however, it can be observed that the curves boring/ stimulating for DGP show the lowest probabilities with poor performance values to predict light quality assessment in computer design classrooms. In addition, from Fig. 3, we can see that the area under a ROC for DGI metrics is lower than 65%. for variables 'Stimulating, Boring' which is a reasonable prediction performance, however, we have obtained a result higher than 75 % for 'Very Boring and Very Stimulating' with the developed model, and the model shows much higher probabilities than the two glare indexes mentioned above, inasmuch as area under a ROC is between minimum (probability of 71.70 %) registered for variable 'Boring' and maximum of 0.903 (probability of 90.03 %) registered for variable 'Very Boring'. In general, it can be seen that the developed model shows a better overall accuracy.

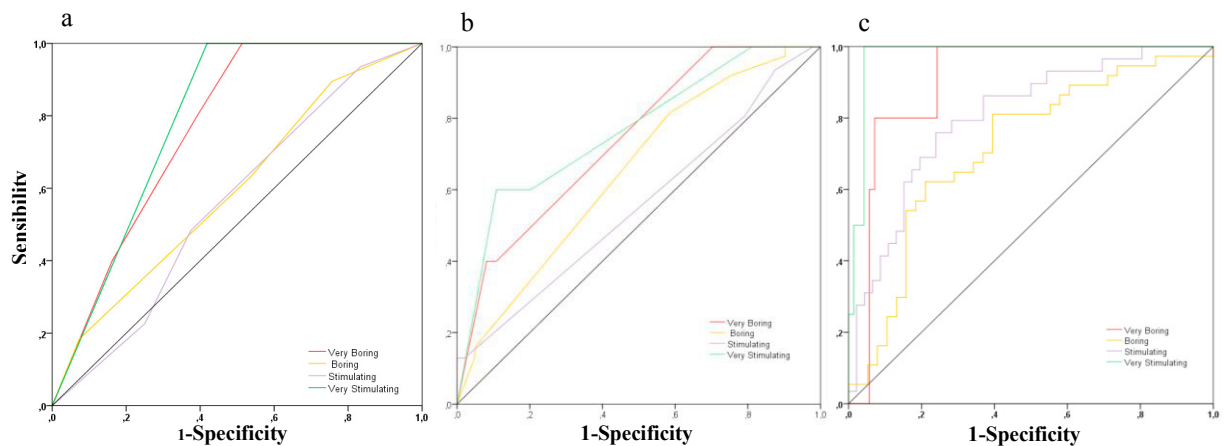


Fig. 3. (a) ROC graphs classifier DGP (Boring vs Stimulating); (b) ROC graphs classifier DGI (Boring vs Stimulating); (c) ROC graphs classifier Model Developed (Boring vs Stimulating)

Tab 3. Area under an ROC of variables (Boring, Stimulating) for DGP, DGI and model developed

	<i>DGP</i>		<i>DGI</i>		<i>Model Developed</i>	
		Area		Area		Area
<i>Very Boring</i>	Very Boring	0,764	Very Boring	0,741	Very Boring	0,903
	Boring	0,597	Boring	0,649	Boring	0,717
<i>Very Stimulating</i>	Stimulating	0,478	Stimulating	0,557	Stimulating	0,804
	Very Stimulating	0,791	Very Stimulating	0,765	Very Stimulating	0,975

## 5. Conclusion

The results from experiments by users in university computer design classrooms show that out of the three glare metrics DGP, DGI, and a developed model based on semantic rating scales, the DGI metrics is not the best for the assessment of Glaring/Comfortable but provides reasonable predictions for Boring/ Stimulating. By contrast, DGP predicts ‘Glaring’ better and Boring/ Stimulating worse. The developed model is the most robust of the three glare probabilities prediction metrics for both variables Glaring/Comfortable with probabilities prediction equal to 80.01% and 90.03% for the variables Boring/Stimulating. The authors generally recommend the use of the developed model for the assessment of light quality for indoor tasks such as computer screens and office work. We hope that this article advances the general knowledge about lighting quality felt by users, in university computer design classrooms using computer screens

## References

- [1] Nazzal, Ali A. A new evaluation method for daylight discomfort glare. *International Journal of Industrial Ergonomics* 2005; 35:295-306.
- [2] Boyce, Peter R. Lighting research for interiors: the beginning of the end or the end of the beginning. *Lighting Research and Technology* 2004;36:283-293
- [3] Reinhart, Christoph F ,Wienold, Jan. The daylighting dashboard--A simulation-based design analysis for daylit spaces. *Building and environment* 2011; 46:386-396.
- [4] International Commission on Illumination (CIE), 1983. Discomfort glare in the interior working environment. CIE Publication 55.
- [5] T. Iwata, M. Tokura. Examination of the limitations of predicted glare sensation vote (PGSV) as a glare index for a large source: towards a comprehensive development of discomfort glare evaluation. *Lighting Research and Technology*, 30 (2) (1998), pp. 81–88.
- [6] Glare constant Gw for the evaluation of discomfort glare from windows. *Solar Energy*, 78 (1) (2005), pp. 105–111.
- [7] Suk, Jae Yong and Schiler, Marc and Kensek, Karen. Investigation of existing discomfort glare indices using human subject study data. *Building and Environment* 2017; 113: 121-130.
- [8] Daich Safa, Zemmouri Nouredine, Saadi Mohamed Yacine. A study of optimization of the light shelf system in hot and arid zones. *Proceedings of the 42nd ASES National Solar: American Solar Energy Society Baltimore (Maryland) USA; 2013 April 6-20; 2013.p173-178.*
- [9] Suk, J and Schiler, Marc. Investigation of Evalglare software, daylight glare probability and high dynamic range imaging for daylight glare analysis. *Lighting Research & Technology* 2013; 45: 450-463.
- [10] Daich Safa, Saadi Mohamed Yacine,Zemmouri, Nourddine, Morello Eugenio, Piga Barbara EA , Daiche Ahmed Motie. Evaluation quantitative et qualitative du système anidolique sous un climat chaud et aride. *Proceedings of 3rd International congress on ambiances Volos Greece: Ambiances tomorrow; 2016.*
- [11] Jakubiec, J Alstan and Reinhart, Christoph F. A concept for predicting occupants’ long-term visual comfort within daylit spaces. *Leukos*. 2016; 12:185-02.
- [12] Daich Safa. Simulation et optimisation du système light shelf sous des conditions climatiques spécifiques, cas de la ville de Biskra. Biskra: Université Mohamed Khider Biskra; 2011.
- [13] Provost, Foster J and Fawcett, Tom. Analysis and visualization of classifier performance: Comparison under imprecise class and cost distributions. *KDD*. 1996;97: 43-48.
- [14] Provost, Foster J and Fawcett, Tom and Kohavi, Ron. The case against accuracy estimation for comparing induction algorithms. *ICML*.1998;98:445-453.
- [15] Webb, Geoffrey I and Ting, Kai Ming. A response to Webb and Ting’s on the application of ROC analysis to predict classification performance under varying class distributions. *Machine Learning*.2005:33-38.



CISBAT 2017 International Conference – Future Buildings & Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale, CISBAT 2017 6-8 September 2017, Lausanne, Switzerland

## Daylighting & Electric Lighting (Green Lighting)

# Assessment of Anidolic Integrated Ceiling effects in interior daylight quality under real sky conditions

Safa Daich<sup>a\*</sup>, Nouredine Zemmouri<sup>a</sup>, Eugenio Morello<sup>b</sup>, Barbara E A Piga<sup>b</sup>, Mohamed Yacine Saadi<sup>a</sup>, Ahmed Motie Daiche<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*LaCoMoFa, University of Biskra, Biskra 07000, Algeria*

<sup>b</sup>*LabSimUrb, Politecnico Di Milano, Milano 20133, Italy*

---

### Abstract

The goal of this research is to demonstrate, according to subjective and objective evaluations, that a passive Anidolic Integrated Ceiling (AIC) is able to provide an adequate illumination level for optimal visual and task performance in deeper office spaces and to prove its effectiveness in enhancing interior daylighting quality. A quantitative study was performed by calculating the D.G.I.P from spherical images in an office room, while a qualitative evaluation was achieved by using questionnaire survey. Experimental results confirmed that the AIC significantly improves luminous comfort by providing a uniform luminance distribution throughout space. Responses obtained from 62 subjects show that 64.51% of participants were satisfied with their daylighting. In addition, ANOVA test results showed that there is a significant correlation between quantitative and qualitative evaluations of the interior daylight distribution.

© 2017 The Authors. Published by Elsevier Ltd.

Peer-review under responsibility of the scientific committee of the CISBAT 2017 International Conference – Future Buildings & Districts – Energy Efficiency from Nano to Urban Scale

**Keywords:** Daylighting; indoor daylight quality; AIC; D.G.I.P; questionnaire survey; high luminous sky.

---

\* Corresponding author. Tel.: +213-550-872-587; fax: +213-537-203.  
E-mail address: [daichsafa@gmail.com](mailto:daichsafa@gmail.com)

## 1. Introduction

Luminous comfort has been considered as a subjective condition of visual well-being induced by the visual environment [1]. Several studies in this field have shown that this aspect involves an interaction between human behavior and the quality of the light environment, and that well-being is related to the satisfaction of people with their luminous environment [2, 3, 4]. However, visual comfort and the quality of indoor daylighting are influenced by several parameters and the degree of satisfaction differs according to three main factors: external factors (environmental and contextual factors), psychological factors and individual factors (physiological and cultural factors) [5]. Lighting design quality in indoor environment in office spaces has been widely studied [6, 7, 8, 9]. Successful daylighting design should guarantee a sufficient quantity of light to ensure a comfortable environment appropriate for its use and the visual performance of users as well as a pleasant indoor atmosphere adequate for visual tasks. However, a deep plan office building cannot be illuminated with a simple window and advanced daylighting systems are necessary to ensure a good interior illuminance level. The Anidolic Integrated Ceiling (AIC) is one of the daylighting strategies in buildings designed to redirect and redistribute the natural light deeper in space; its main objectives are to improve the luminous comfort of users and to enhance the interior daylighting quality by reducing glare discomfort [10,11]. This system has proved its efficiency to increase the illuminance level in office buildings under different climates conditions [6, 12, 13, 14].

Visual comfort has been commonly studied by using different tools in order to evaluate the indoor daylighting quality through a qualitative or quantitative approach or both. Results from different studies focusing on assessment of daylighting in buildings have confirmed that physical models can be used to evaluate the performance of daylighting systems [15, 16]. These can provide photometric measurements and also give a visualization of glare and contrast in the studied space [17, 14]. The objective of the present paper is to study the Anidolic Integrated Ceiling effect on the enhancement of the interior daylighting quality by comparing quantitative measurements with subjective evaluations.

## 2. Experimental protocol

The measurements were conducted in the city of Biskra, Algeria (latitude: 34.48, longitude: 5.44N) in January under real climate conditions. Research performed by Daich et al [6] has shown that this region is characterized mainly by intermediate sky cover conditions which approximate 40% and that it has a very high exterior horizontal illuminance level especially during summer seasons, reaching 83000lux. This study was carried out using a physical scale model (1:4) and the quantitative and the qualitative assessment of the AIC were performed in this model for two scenarios. The first one, the reference case, was a typical office room with dimensions of 6m (width) x 12m (depth) x 3.5m (height) with the following surface reflectance: wall 50%, floor 40% and ceiling 92%. In the second simulation, we added an AIC located on the shorter wall oriented north with a reflectance of 96%. The anidolic ceiling was designed with regards to the geographical characteristics of the city of Biskra and we have used the mathematical model given by Welford and Winston [18]. The simulations were done in January under clear sky conditions.

## 3. Questionnaire

### 3.1. Survey Procedure

During the photometric measurement period, a questionnaire survey was carried out with 62 participants (30 male, 32 female) and conducted in two sessions. In the first one, thirty-one subjects were exposed to the reference model, while in the second one, thirty-one other subjects were asked to evaluate daylighting in the test model. During the experience, participants perceived daylighting in three viewspots of the physical models (see Fig.1) and gave their opinion on the effect of AIC on interior lighting in the space and judged the different light settings by rating. The survey had two objectives. The first one was to collect subjective information about indoor daylight quality, and the second one was to compare the survey responses with D.G.I.P results in order to study the correlation between objective and subjective evaluations.





Fig. 1. Physical model with viewspots positions

In this investigation, two questions out of twenty were selected according to the study objectives. One question related to satisfaction with daylighting and the second about the pleasantness perceived by the subjects. The questions used in the survey were based on many studies [19, 20] and are listed below:

Table 1. Questions used in the survey.

Factors	Questions	Survey Scale						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
Evaluative	1- Overall, how satisfied are you with your level of visual comfort in the office?	very dissatisfied			Neutral		very satisfied	
Pleasantness	2- The light in this office is pleasant?	unpleasant			Neutral		pleasant	

#### 4. Results and analysis

##### 4.1. Measurement results

The visual comfort is closely related to glare [21] and a recent research has shown that the daylight glare probability can be assessed by using scale models [17]. For this, three viewspots given in Fig. 1 were made on the west façade of the model at the eye level in order to take photographic images (HDR Image) of the whole space. The HDR images were calibrated in Evalglare and Aftab Alpha in order to calculate the D.G.I.P and predict the appearance of discomfort glare in these spaces. The D.G.I.P analyses were done according to the scale given by Jakubiec and Reinhart [22]. At the same time, measurements in terms of illuminance level were monitored in three points on the work plane of 0.85m. The results are presented in Fig.2 and Fig.3.

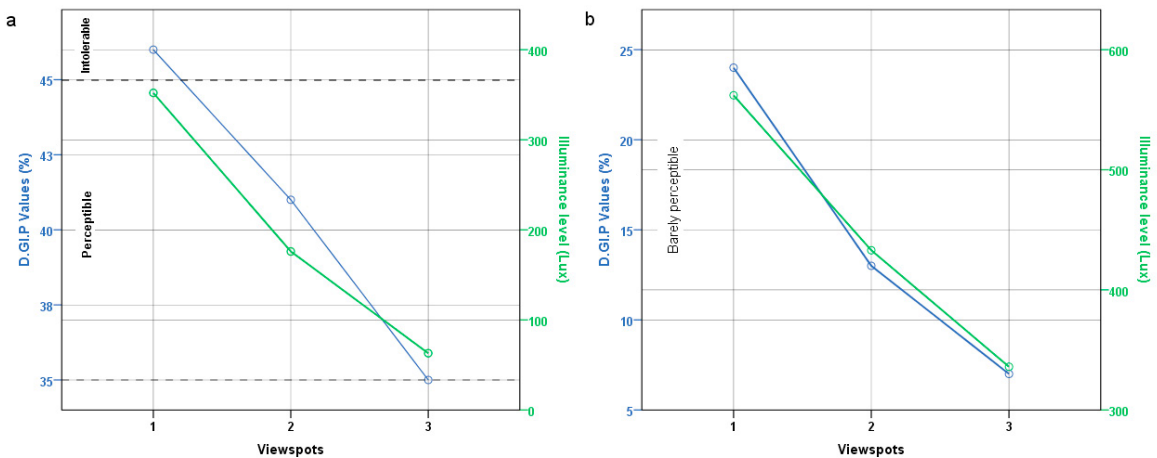


Fig. 2. (a) reference model; (b) test model.



The graphs illustrated in Fig. 2 present results of the illuminance level measured and the D.G.I.P values calculated from the HDR images in the three points in the two scenarios. The illuminance values monitored in the models have shown that the Anidolic Integrated Ceiling improves the daylight level; the illuminance values in these points are comparatively situated between 300lux and 600lux. Therefore, the daylight distribution seems to be more homogeneous by reducing the difference of the illuminance level between the window area and the rear part of the room. Moreover, the results have shown that the probability of glare is considerably reduced when the AIC is installed. The D.G.I.P values recorded in the different viewspots are less than 30%, the glare is considered as imperceptible for the whole space. In addition, the D.G.I.P values calculated in the reference model vary according to the view position. The graphs showed that the discomfort glare is intolerable (46%) in the first viewspot and considered as perceptible in the center and in the depth of the space (41% and 35%).

4.2. Survey results

The graphs given in Fig. 3 and Fig. 4 present the level of satisfaction and pleasantness of the participants toward the interior daylight environment in the scenarios and in the different visual fields. It is clear from the results that the participants felt more satisfied and pleasant with the luminous environment of the test model. Therefore, the graphs can indicate that the level of satisfaction reported by the subjects was the same with the pleasantness level in the two models and the degree of the positive responses to the two questions decreases with the room depth.

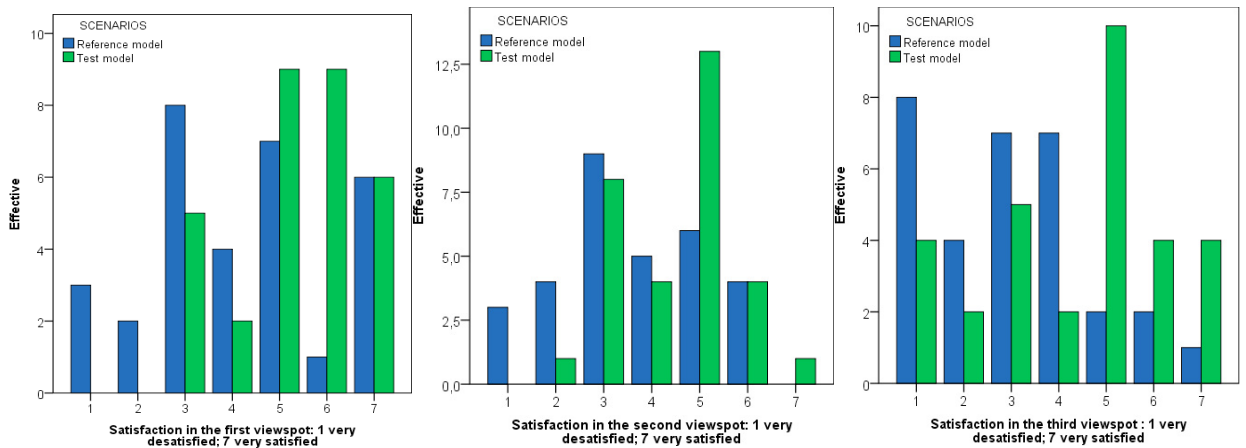


Fig.3. Subjects satisfaction in the two scenarios

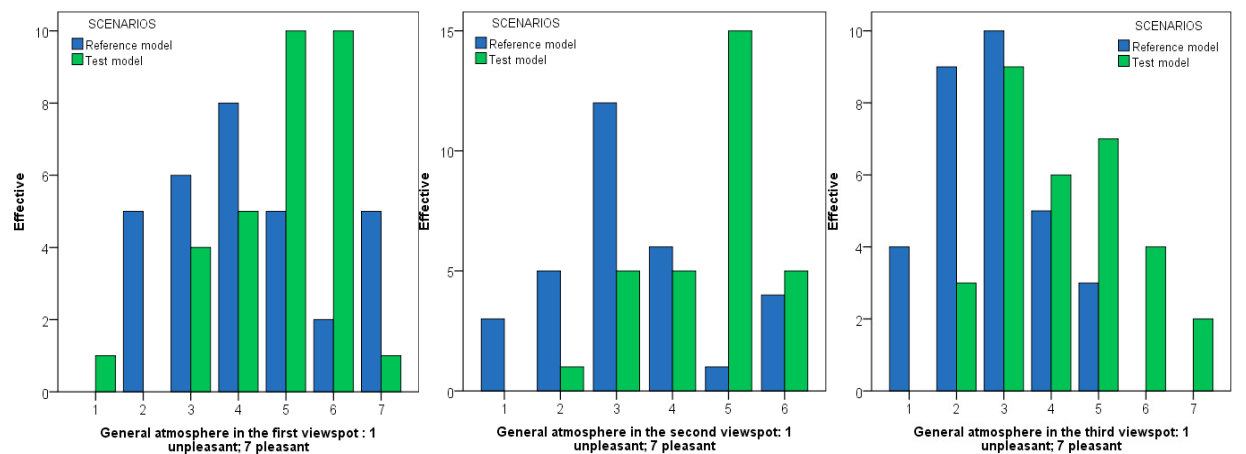


Fig.4. Subjects general atmosphere evaluations in the two scenarios

The comparison of collected data illustrated in Fig.3 showed that in the test model, 77% of the subjects were more satisfied with the quality of daylighting in the first position and 58% in the second and the third position while in the reference model, the participants were more dissatisfied with the luminous comfort: 41% in the first viewspot, 51% in the second and 61% in the third viewspot. In addition, the responses of the pleasantness factor given in Fig.4 showed that the participants preferred the ambiance generated by the AIC. Some 67% were pleasant in the near part of the window, 64% in the middle and 41.9% in the rear part of the room and as a consequence, the subjects were dissatisfied with the atmosphere of the reference model, 35% of participants were dissatisfied with the general atmosphere of the space in the zone near the windows, 61% in the center and 74% in the depth.

#### 4.3. Correlation between subjects' responses and DGP results

In order to study the relationship and the correlation between the D.G.I.P calculated values, satisfaction and pleasantness from the subjects' responses, a statistic 'Anova one way' test was used. The test reveals no correlation between the glare calculated and pleasantness responses in the three viewspots; the p-values are greater than .05. In addition, the test showed that there is a very strong correlation between the D.G.I.P variable and the responses of the subjects regarding satisfaction with daylighting only in the third position; the p-value is .031. From Fig.5 and Fig.6, it can be seen that the daylight quality in the test model was perceived as more satisfying than in the reference room. It is also apparent from the graphs that this index has a big effect on subjects' satisfaction. The degree of satisfaction gradually increased when the D.G.I.P level decreased by more than 30%. However, the comparison of the results given in Fig.6 shows that in the test model the subjects gave positive evaluations and were more satisfied when the D.G.I.P was between 5% and 15%. It can clearly be seen in Fig.5 that the D.G.I.P values monitored in the reference model are situated between 28% and 61% and the results indicate that the majority of participants perceived that the daylighting quality of the room is insufficient when the D.G.I.P level was between 35% and 55%.

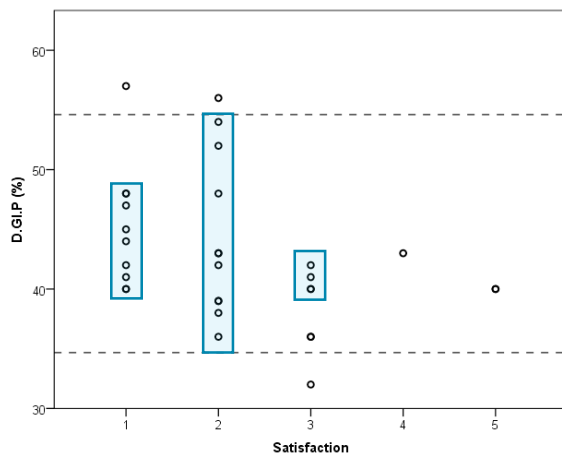


Fig. 5. D.G.I.P and daylight satisfaction in the reference model.

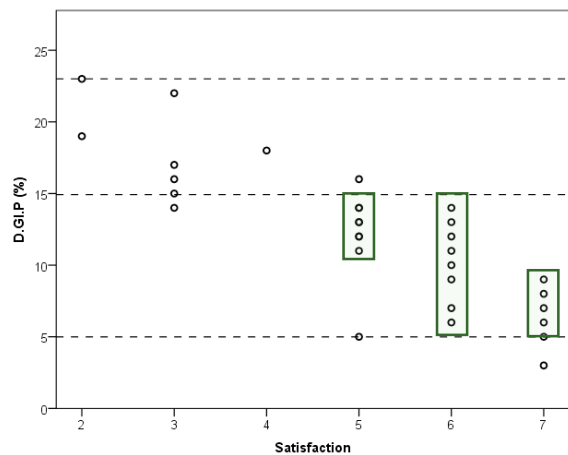


Fig. 6. D.G.I.P and daylight satisfaction in the test model.

## 5. Conclusion

The results presented lead to the conclusion that the use of anidolic integrated ceilings in deep office buildings under high luminous sky conditions provides a comfortable and pleasant luminous environment by providing a more homogeneous daylight distribution and by reducing discomfort glare. Quantitative results in terms of illuminance level showed that the AIC regulates the daylight distribution in the model and met the requirements of more than 300lux for the whole space while the passive area in the reference room is very restricted. The D.G.I.P values calculated from the spherical images showed that the AIC reduces significantly the probability of glare; it is considered as barely perceptible for all positions but in the reference model the D.G.I.P values varied between intolerable and perceptible. The study has confirmed that a survey is a valid way to study the effects of an AIC on interior daylighting quality,

human behavior and satisfaction in a physical scale model and also to provide more information for improved understanding between measurements and subjects' responses. We conclude from the questionnaire results that the participants were more satisfied (average of 64.33%) and more pleased (average of 53%) with the daylight quality. It is clear that the general ambiance in the test room and the degree of positive response strongly depend on the visual field of the observer which decreases with depth. It also appears that the D.G.I.P values showed a very strong correlation with the response of the subjects regarding satisfaction with daylighting (p-value is .031). Participants satisfaction increased with reducing glare discomfort level and the satisfaction with daylight can be maximized for the level of D.G.I.P (5% to 15%).

## References

- [1] EN12665 Light and Lighting Basic Terms and Criteria for Specifying Lighting Requirements; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium, 2011.
- [2] Aries M B C, Veitch J A, Newsham G R. Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology* 2010; 30(4):533-541.
- [3] Kaplan R. The nature of the view from home e psychological benefits. *Environmental Behavior* 2001;33(4):507-542.
- [4] Haynes B P. Office productivity: a theoretical framework. *Journal of Corporate Real Estate* 2007;9(2):97-110.
- [5] Schweiker M, Shukuya M. Comparison of theoretical and statistical models of air-conditioning-usage behaviour in a residential setting under Japanese climatic conditions. *Building and Environment* 2009;44:2137-2149.
- [6] Daich S, Zemmouri N, Saadi M Y, Eugenio M, Piga B E A. Modeling of an anidolique daylight system for a luminous integrated environment. In: *Advance Building Skins Conference*. Bern;2015.p.366-371.
- [7] Matterson M L G, Ferrà J O, Salom J, Portilla J H. Dynamic Daylight Simulation And Visual Comfort Survey In Mediterranean Climate. Case Study In Office Building. In: *Proceedings of BS2013: 13th Conference of International Building Performance Simulation Association*. France;2013.p.3010-3018.
- [8] Arsenault H, Hebert M, Duboit M C. Effects of glazing colour type on perception of daylight quality arousal, and switch-on patterns of electric light in office rooms. *Building and environment* 2012;56:223-231.
- [9] Roche L, Dewey E, Littlefair P. Occupant reactions to daylight in offices, *Lighting Research and Technology* 2000;32(3):119-126.
- [10] Wittkopf S K, Yuniarti E, Soon L K. Prediction of Energy Savings with Anidolic Integrated Ceiling across different Daylight Climate, *Energy and Buildings* 2006; 38: 1120-1129.
- [11] Courret G, Scartezzini J L, Francioli D, Meyer J J, Design and assessment of an anidolic light-duct, *Energy and Buildings* 1998; 28: 79-99.
- [12] Ochoa C E. Assessment of indirect daylighting systems for deep office spaces. Technion-Israel Institute of Technology, Faculty of Architecture and Town Planning. Israel;2004.
- [13] Daich S, Saadi M Y, Zemmouri N, Eugenio M, Piga B E A, Daiche AM. Evaluation quantitative et qualitative du système anidolique sous un climat chaud et aride. In: *Ambiances, tomorrow. Proceedings of 3rd International Congress on Ambiances*. Greece; 2016.p. 219-226
- [14] Baker N, Fanchiotti A, Steemers K. *Daylighting in Architecture: a European reference book*. Commission of the European Communities, Directorate--General XII for Science Research and Development. Research and Development, James and James 1993.
- [15] Tsikaloudaki K, Anagnostou S, Nichoritis K. Investigating the performance of anidolic vertical openings under real conditions in Greece. In: *25th Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Dublin; 2008.
- [16] Wienold J, Christoffersen J, Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras. *Energy and buildings* 2006; 38(7):743-757.
- [17] Bodart M, Cauwerts C. Assessing daylight luminance values and daylight glare probability in scale models. *Building and Environment* 2017;113:210-219.
- [18] Welford WT, Winston R. *High Collection Nonimaging Optics*. San Diego: Academic Press; 1989.
- [19] Arsenault H, Hebert M, Dubois MC. Effects of glazing colour type on perception of daylight quality, arousal, and switch-on patterns of electric light in office rooms. *Building and Environment* 2012;56:223-231.
- [20] Konis KS. *Effective Daylighting: Evaluating Daylighting Performance in the San Francisco Federal Building from the Perspective of Building Occupants*, PhD thesis. University of California: Berkeley; 2011.
- [21] Hopkinson R G, Petherbridge, J. Longmore, *Daylighting*, Heinemon, London (UK), 1996, pp:606
- [22] Jakubiec JA, Reinhart CF. The adaptive zone - A concept for assessing discomfort glare throughout daylight spaces. *Lighting research and Technology* 2012;44(2):149-170.

## Évaluation quantitative et qualitative du système anidolique sous un climat chaud et aride

Safa Daich, Mohamed Yacine Saadi, Nourddine Zemmouri, Eugenio Morello,  
Barbara E.A. Piga, Ahmed Motie Daiche

► **To cite this version:**

Safa Daich, Mohamed Yacine Saadi, Nourddine Zemmouri, Eugenio Morello, Barbara E.A. Piga, et al.. Évaluation quantitative et qualitative du système anidolique sous un climat chaud et aride. Nicolas Rémy (dir.); Nicolas Tixier (dir.). Ambiances, tomorrow. Proceedings of 3rd International Congress on Ambiances. Septembre 2016, Volos, Greece, Sep 2016, Volos, Grèce. International Network Ambiances; University of Thessaly, vol. 1, p. 219 - 226, 2016. <hal-01414221>

**HAL Id: hal-01414221**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01414221>**

Submitted on 13 Dec 2016

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Évaluation quantitative et qualitative du système anidolique sous un climat chaud et aride

Safa DAICH<sup>1</sup>, Mohamed Yacine SAADI<sup>2</sup>, Nouredine ZEMMOURI<sup>3</sup>, Eugenio MORELLO<sup>4</sup>, Barbara E A PIGA<sup>5</sup>, Ahmed Motie DAICHE<sup>6</sup>

1. Département d'architecture, Université de Biskra, Algérie, daichsafa@gmail.com
2. Département d'architecture, Université de Biskra, Algérie, saadiarchitecture@gmail.com
3. Département d'architecture, Université de Biskra, Algérie, pr.zemmouri@gmail.com
4. École polytechnique de Milan, Italie, eugenio.morello@polimi.it
5. École polytechnique de Milan, Italie, barbara.piga@polimi.it
6. Département d'architecture, Université de Biskra, Algérie, motie-d@hotmail.fr

**Abstract.** *The system presented in this study, called Anidolic integrated ceiling (AIC) is one of the advanced Day lighting systems used to capture, channel and distribute day lighting to the interior space. The present paper gives a quantitative and qualitative evaluation of anidolic integrated ceiling. This device was designed with regard of luminous climate of the city of Biskra (Algeria), installed in the north façade and their luminous performance is assessed experimentally by using scale model, for a 12m deep room. The results of this experimental analysis have shown that the Anidolic Integrated Ceiling offers a great potential for increasing the illuminance level in deep-plan building under hot and dry regions (intermediate sky conditions). In addition, the spherical image shown that the integration of this system provides a good ambiances result by uniform luminance distribution throughout the room which produces a visual satisfaction compared to the reference model.*

**Keywords:** *anidolic integrated ceiling, hot and dry climate, visual comfort, ambiances, spherical image, test model*

## Introduction

Maintenir des conditions confortables pour les usagers d'un espace est une préoccupation des concepteurs. Il est bien connu que l'éclairage naturel intérieur influence énormément la performance et la productivité humaine. Il a été suggéré que l'utilisation de la lumière naturelle dans les bâtiments peut augmenter la productivité des occupants (Edwards et Tortellini, 2002). De plus, une bonne conception d'éclairage demande non seulement de fournir une quantité suffisante de lumière, mais aussi une distribution plus uniforme et bien répartie dans l'ensemble du local (Veitch et Newsham, 1998). Dans les bâtiments de grande

profondeur, le contraste entre la fenêtre lumineuse et le fond de l'espace est également susceptible de créer le phénomène d'éblouissement (Wittkopf et al, 2006). Les travailleurs près de la fenêtre seront obligés d'utiliser des stores pour se protéger de la lumière directe, ce qui rend l'éclairage électrique nécessaire. La stratégie d'éclairage adoptée dans les climats chauds s'appuie sur le contrôle de la pénétration du rayonnement solaire direct (Wittkopf, 2007). La ville de Biskra, qui est notre cas d'étude, est située dans le sud-est algérien (latitude : 34,48, longitude : 5,44 N) et possède un gisement solaire très important excédant 2190 kw/h/m<sup>2</sup>/an, selon la NASA. Le microclimat de la ville est caractérisé par un ciel ensoleillé, avec peu de précipitations et des températures élevées, supérieure à 30 ° c pendant près de la moitié de l'année. Elle se caractérise également par un ciel intermédiaire avec une couverture nuageuse qui avoisine les 40 % (Daich et al, 2015). De plus, cette ville a un très haut niveau d'éclairement horizontal extérieur surtout pendant l'été qui atteint 83 000 lux pendant le mois de mai (Daich, 2011). Trouver une solution optimale permettant de créer une ambiance lumineuse intérieure satisfaisante tout en veillant à se protéger des rayons indésirables nécessite le recours aux systèmes d'éclairage naturel. L'utilisation du plafond anidolique intégré est une excellente stratégie d'éclairage naturel adéquate aux régions à climat chaud permettant d'augmenter la transmission de la lumière du jour à l'intérieur d'un local tout en contrôlant la composante directe du soleil, d'assurer l'uniformité de la distribution lumineuse et de réduire l'éblouissement pour maintenir le confort des occupants. De plus, Wittkopf et al (2006) et Courret et al (1998), dans une étude comparative (sans et avec plafond anidolique), ont prouvé en outre que l'appréciation personnelle de l'ambiance lumineuse intérieure est plus élevée. Cette sensation est causée par une homogénéité de la distribution et de la bonne répartition de la luminance dans toute la pièce où le plafond anidolique est installé ainsi qu'une satisfaction visuelle des utilisateurs par rapport au modèle de référence. L'objectif de cette recherche est de modéliser un système de plafond anidolique adéquat aux conditions climatiques et lumineuses de la ville de Biskra et d'évaluer ensuite sa performance en termes de qualité lumineuse intérieure.

## **Description du plafond anidolique intégré**

Le système de plafond anidolique intégré (PAI) est l'une des technologies d'éclairage naturel qui a été mis en place dans l'objectif de créer un environnement lumineux intérieur satisfaisant en matière de quantité de lumière et de qualité d'éclairage. Ce dispositif a été développé à l'énergie solaire en laboratoire physique du bâtiment (LESO-PB) de l'École Fédérale de Lausanne (EPFL) en Suisse (Courret, 1999). Le plafond anidolique est un système d'éclairage zénithal conçu pour être situé sur une façade verticale au-dessus de la fenêtre pour ne pas empêcher la vue vers l'extérieur. Le système comprend trois principales composantes : un collecteur sur le côté extérieur de la façade, un conduit de lumière miroir rectangulaire et un élément de distribution à l'extrémité du conduit (Linhart et al, 2010). Le collecteur anidolique zénithal est composé d'un miroir parabolique externe, qui rassemble la lumière du zénith du ciel et de deux miroirs paraboliques internes qui redistribuent la lumière collectée. Les courbes de ces miroirs internes sont conçues et positionnées selon le principe de bord-ray de l'optique non-imagerie, qui stipule que les rayons extrêmes qui entrent dans un système devraient être les mêmes rayons extrêmes sortant du

système (Roshan et al, 2013). Le conduit lumineux est intégré dans un plafond suspendu au milieu de la pièce, composé de deux miroirs de forme parabolique jouant le rôle de concentrateurs qui captent le flux lumineux entrant et le redistribuent sur une zone plus large. Les éléments anidoliques sont placés aux deux extrémités du conduit lumineux. Le PAI offre plusieurs avantages et le système fournit une lumière homogène pour les espaces de grandes profondeurs ; il bloque une grande partie de la composante directe qui contribue à l'éblouissement et cette lumière bloquée sera redirigée vers le centre et le fond de la pièce, entraînant sur un plan de travail, un éclairage élevé (Linhart et al, 2009). Il améliore également le confort visuel pour les occupants qui travaillent à côté de la fenêtre. Des recherches antérieures ont démontré l'efficacité de l'AIC pour augmenter le facteur de lumière du jour dans des locaux profonds sous un climat tropical et subtropical Roshan et al, 2013). La capacité de collecter et de redistribuer la lumière diffuse est l'un des plus grands avantages du système anidolique (Kleindienst et Andersen, 2006). Ce dispositif est adapté pour éclairer les pièces avec la lumière diffuse avec des conditions de ciel couvert à cause de sa partie externe qui recueille les rayons de lumière diffuse avec une grande efficacité. Son fonctionnement dépend essentiellement de l'angle d'incidence des rayons lumineux.

## La méthodologie

L'objectif de ce papier est d'étudier les performances à la fois lumineuses et ambiantales du plafond anidolique afin d'éclairer les espaces ayant une grande profondeur, sous des conditions de ciel typique à Biskra. La méthodologie adoptée consiste, dans un premier lieu, à modéliser et optimiser un système de plafond anidolique spécifique à la ville de Biskra. Ensuite, une simulation informatique a été réalisée afin de vérifier la performance lumineuse de ce dispositif. Dans un deuxième lieu, nous avons opté pour un modèle réduit avec une échelle de  $\frac{1}{4}$  de l'espace. Le modèle utilisé a 6 m de largeur, 12 m de longueur et 3,5 m de hauteur. Les coefficients de réflexion des parois sont : plafond : 92 %, sol : 40 %, parois latérales : 60 % et PAI : 96 %. Le modèle réduit a été choisi car il offre l'avantage de correspondre le mieux à des études qualitatives de l'espace intérieur ; pour une étude approfondie de l'aspect qualitatif, nous avons eu recours à l'image numérique HDR afin de tracer des cartes de distribution de la luminance à l'intérieur de l'espace et de l'étudier à l'aide d'un objectif fish-eye avec un angle de 180 ° (SIGMA 4.5mm CIRCULAR FISHEYE).

## Les performances lumineuses du dispositif

### *Performances relatives au confort visuel*

Une étude menée par (Roshan et al, 2013) avait montré que, dans des conditions de climat tropical, le PAI présenté dans la figure 2 et décrit comme étant de type 5 est la configuration la plus efficace en termes de diffusion et de répartition la lumière. En outre, (Courret et al, 1998) a montré que la partie la plus importante de l'AIC est la conception du collecteur. Pour cette raison et afin d'identifier le gabarit dimensionnel du système, nous avons utilisé d'une part, les caractéristiques



climatiques et lumineuses de Biskra et d'autre part, les modèles mathématiques donnés par Welford et Winston (1989).

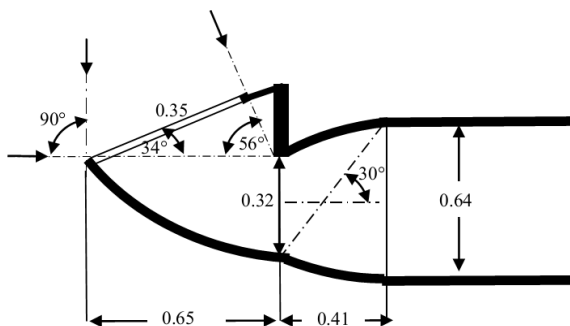


Figure 1. Les dimensions du système de plafond anidolique

Afin d'évaluer l'effet de PAI sur la distribution lumineuse intérieure, on a procédé à deux types de simulation. La première consiste à simuler le modèle de référence (sans PAI), pour la deuxième, on a ajouté le système sur le petit côté. Le plan de travail est situé à 0,9 m au sol et la simulation a eu lieu durant le mois de mai. Les résultats sont présentés dans la figure 2.

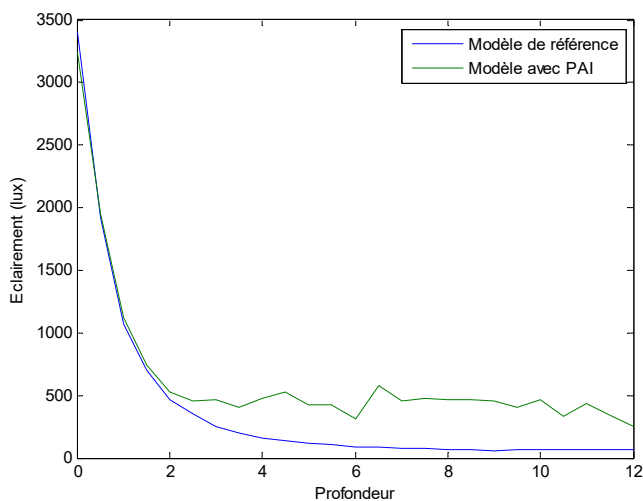


Figure 2. Comparaison du niveau d'éclairage

L'analyse des graphes a montré que le modèle de référence reçoit un éclairage compris entre 7000 lux et 250 lux qui ensuite diminue laissant plus de trois quarts de l'espace avec un éclairage au-dessous de 200 lux. À partir de 3 m de profondeur, il

est clair que les valeurs d'éclairage du modèle de référence sont très faibles par rapport au modèle équipé de plafond anidolique. L'écart atteint plus de 400 lux après avoir ajouté le PAI. Les résultats montrent aussi que le système modelé augmente de manière significative le niveau d'éclairage surtout au fond du local où les valeurs sont 8 fois plus élevées à 9 m de la fenêtre. Il permet aussi d'atteindre des valeurs d'éclairage comprises entre 300 lux et 500 lux qui s'étalent sur une grande surface du modèle. Dans le but de valider les résultats de la simulation, un modèle de taille réduite a été construit et testé sous un ciel réel. Le modèle a été réalisé à une échelle de 1/4 (figure 3) et a les mêmes caractéristiques géométriques et photométriques du modèle utilisé dans la simulation. Les valeurs d'éclairage ont été prises individuellement à l'aide de luxmètre. Les résultats de l'expérimentation donnent une bonne corrélation avec les résultats obtenus par la simulation (figure 3).

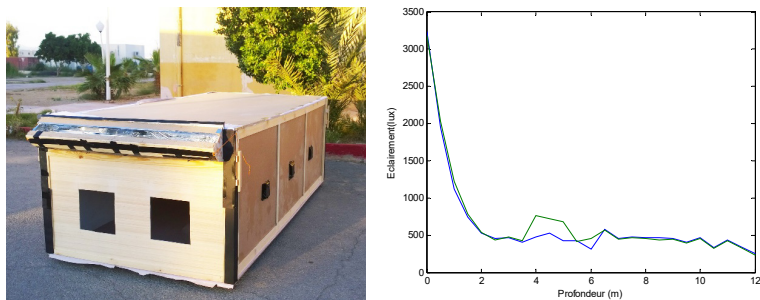


Figure 3. À gauche, le modèle construit ; à droite, la validation expérimentale

#### *Performances relatives aux ambiances lumineuses*

L'évaluation de l'ambiance lumineuse intérieure avait été étudiée sur un modèle réduit à l'aide d'une image sphérique sous un ciel réel. Les performances ambiantales ont été évaluées en deux expériences complémentaires. La première expérience avait comme objectif d'étudier la qualité lumineuse qu'apporte le plafond anidolique dans un espace architectural de 12 m de profondeur. Les résultats présentés dans la figure 4 montrent que ce système avait amélioré la qualité lumineuse intérieure d'un local en comparaison avec le modèle de référence. Le modèle équipé de PAI est plus éclairé avec une luminance homogène et bien répartie dans tout le modèle.

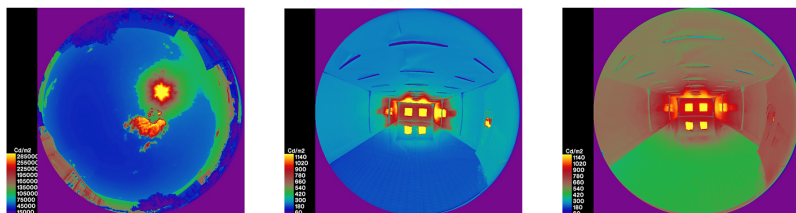


Figure 4. À gauche, la luminance du ciel ; au centre, la luminance du modèle de référence ; à droite, la luminance du modèle équipé de Plafond anidolique intégré (PAI)

La deuxième expérience a été proposée pour évaluer les ambiances lumineuses au cours de la journée. Les photos ont été prises à 10 h, à 12, à 14 et à 16 h.



Figure 5. L'ambiance lumineuse intérieure du modèle équipé de Plafond anidolique à 10 h

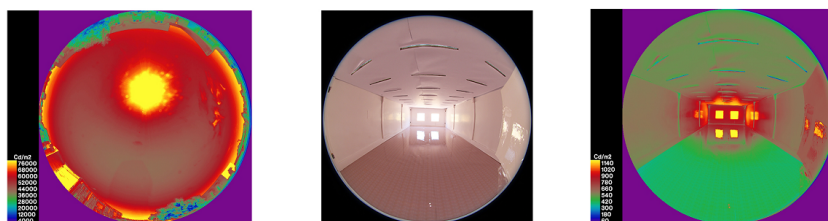


Figure 6. L'ambiance lumineuse intérieure du modèle équipé de Plafond anidolique à 12 h

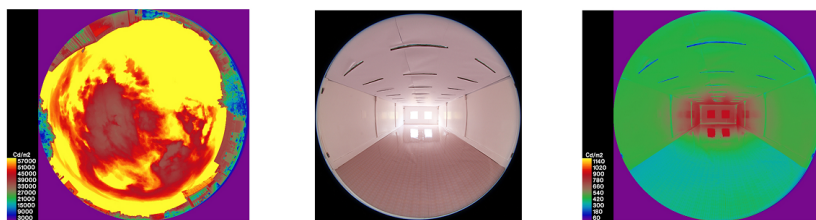


Figure 7. L'ambiance lumineuse intérieure du modèle équipé de Plafond anidolique à 14 h

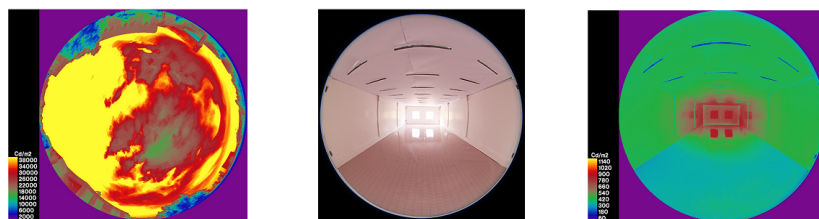


Figure 8. L'ambiance lumineuse intérieure du modèle équipé de Plafond anidolique à 16 h

Il est clair, à partir des figures 5, 6, 7 et 8 que l'atmosphère lumineuse du modèle avec PAI diffère d'une heure à l'autre et dépend essentiellement de la luminance du ciel.

## Conclusions

L'intérêt principal de cette recherche est de développer un plafond anidolique spécifique pour les régions à climat chaud et aride (ville de Biskra) qui répond aux exigences visuelles et ambiantales de ce type de climat. Selon les résultats de la simulation et de l'expérimentation au moyen du modèle réduit, on a confirmé que le plafond anidolique améliore de manière significative les niveaux d'éclairement et d'uniformité de l'éclairage en comparaison avec le modèle de référence. Il est clair aussi que le climat lumineux extérieur, durant la journée, a une influence considérable sur les ambiances lumineuses à l'intérieur de l'espace, mais il a été démontré lors de notre expérience que le plafond anidolique intégré joue le rôle d'un régulateur de la distribution lumineuse. Donc, il est possible de conclure que le plafond anidolique intégré est un excellent moyen qui permet à la fois d'améliorer l'éclairage naturel dans les locaux profonds, d'assurer une uniformité de la distribution des luminances tout en réduisant le contraste et par conséquent, contribuer efficacement à réduire l'utilisation de l'éclairage électrique pendant les périodes diurnes.

## Références

- Courret G. (1999), *Systèmes Anidoliques d'Éclairage Naturel*, Doctoral Thesis, 2026, École Polytechnique Fédérale de Lausanne
- Courret. G., Scartezzini. J.L., Francioli. D., Meyer.J.J. (1998), Design and assessment of an anidolic light-duct, *Energy and Buildings*, 28, pp. 79-99
- Daich S. (2011), *Simulation et Optimisation du Système Light Shelf sous des Conditions Climatiques Spécifiques*, Thèse de Magistère, Biskra, Algérie.
- Daich. S., Zemmouri. N., Saadi. M. Y., Eugenio. M., Piga. B. E. A., (2015), Modeling of an anidolique daylight system for a luminous integrated environment, *Advance Building Skins*, Bern, Switzerland, ISBN: 978-3-98120538-1, pp.366-371
- Edwards L., Torcellini P. (2002), *A Literature Review of the Effects of Natural light on Building Occupants*, Golden, Colorado, National Renewable Energy Laboratory, pp. 9-16
- Kleindienst. S., Andersen. M. (2006), Improving Day lighting in Existing Buildings: Characterizing the Effect of Anidolic Systems, *Renewable Energy*
- Linhart. F., Wittkopf. S.K., Munch. M., Scartezzini. J. L. (2009), Recent Research on Anidolic Day lighting Systems: highly Reflective Coating Materials and Chronobiological Properties, Solar Energy and Building Physics Laboratory (LESO-PB)
- Linhart. F., Wittkopf. S. K., Scartezzini. J. L. (2010), Performance of Anidolic Day lighting Systems in Tropical Climates – Parametric Studies for Identification of main Influencing Factors, *Solar Energy*, 84, pp. 1085-1094
- NASA NASA SSE program (<http://www.eosweb.larc.nasa.gov/sse/>)
- Roshan. M., Kandar. M. Z. B., Nikpur. M., Mohammadi. M.P., Ghasemi. M. (2013), Investigating the performance of Anidolic Day lighting System with respect to

Building Orientation in Tropical Area, *ESTIJ An International Journal of Engineering Science and Technology*, 3 (1), pp. 2250-3498

Veitch J. A., Newsham G. R. (1998), Determinants of lighting quality I: State of the science, *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 27 (winter), pp. 92-10

Wittkopf S. K. (2007), Daylight Performance of Anidolic Ceiling under different Sky Conditions, *Solar Energy*, 81, pp. 151-161

Wittkopf S. K., Yuniarti E, Soon L. K. (2006), Prediction of Energy Savings with Anidolic Integrated Ceiling across different Daylight Climates, *Energy and Buildings*, 38, pp. 1120-1129

Welford. W. T., Winston. R., (1989), *High Collection Nonimaging Optics*, San Diego: Academic Press

## **Auteurs**

Daich safe, doctorante en architecture à l'université Mohamed khider de Biskra, laboratoire LACOMOFA, Algérie

Saadi mohamed yacine, doctorant en architecture à l'université Mohamed khider de Biskra, laboratoire LACOMOFA, Algérie

Zemmouri Noureddine, professeur à l'université Mohamed khider de Biskra, directeur de laboratoire LACOMOFA, Algérie

Eugenio morello, professeur au laboratoire de simulation urbaine à l'école polytechnique de milan, Italie

Piga e a barabra, docteur en architecture au laboratoire de simulation urbaine à l'école polytechnique de milan, Italie

Daiche ahmed motie, doctorant en architecture à l'université Mohamed khider de Biskra, laboratoire LACOMOFA, Algérie.

# TOWARD A TOOL TO OPTIMIZE THE DAYLIGHTING INTO THE PROCESS OF ARCHITECTURAL DESIGN –REVERSE APPROACH–

Ahmed Motie DAICHE<sup>1</sup>, Said MAZOUZ<sup>2</sup>, Safa DAICH<sup>3</sup> and Mohamed Yacine SAADI<sup>4</sup>  
<sup>1,3,4</sup>Institute of Science and Technology, University of Biskra, Algeria

<sup>1</sup>[motie-d@hotmail.fr](mailto:motie-d@hotmail.fr), <sup>3</sup>[daichsafa@gmail.com](mailto:daichsafa@gmail.com), <sup>4</sup>[saadiarchitecture@gmail.com](mailto:saadiarchitecture@gmail.com)

<sup>2</sup>Faculty of Earth Sciences and Architecture, University of Oum El-Bouaghi, Algeria  
<sup>2</sup>[s\\_mazouz\\_dz@yahoo.fr](mailto:s_mazouz_dz@yahoo.fr)

## ABSTRACT

This paper traces the various steps of reasoning and development of a numerical model of dimensioning opening-elements based on the reverse approach of simulation of natural lighting.

The model was developed by following two steps: firstly the calculation of the external light coming from a sky-element located in the celestial dome. Based on these data, a second numerical calculation was performed to generate the dimensions of an opening-element enabling to realize the daylight intentions of the designer. A method of comparative validation using standard softwares of daylight simulation and daylight optimization was subsequently adopted to test the reliability of the obtained values.

Having regard to the pedagogical destination of the tool, the results of this research showed the opportunities that may offer a prospective integration of the developed model in the students' awareness about the importance of daylight simulation. Therefore optimize the visual comfort and the energy efficiency inside the future buildings.

## INTRODUCTION

Natural light is one of the architectural space-components which allows to better see and better do architecture (Donnadieu, 2002). Despite the strong influence of this aspect in the history of architecture, and on the human psychology and physiology, which was oftenly overlooked in favor of the morpich appearance and always treated downstream design steps (Miguet, 2002)(Francioli et al.,2001).

On one hand, it was approved that natural lighting systems can participate in the process of generating ambience inside buildings (Gallas, 2009). Designing buildings while giving importance to daylight will contribute to improve the energy efficiency, at the same time it will ensure a pleasant visual comfort inside its interior spaces (Polingéas, 2004). Several research works have shown that designers draw upon references in order to formalize an intention of light ambience (Phillips, 2004).

The term "reference" means anything that helps designers to articulate their design problems and imagine solutions (Chaabouni et al., 2007).

On this basis, any attempt of instrumenting the design of ambiances in the earliest steps of architectural design with referential procedures can be considered as a possible approach.

On the other hand, the concept of simulation is an integral part of architectural design since its creation (Lebahar, 1983). Among the tools used to optimize the distribution of daylight in an architectural space, there are computer programs (Gunea, 1997). Currently, with their continuous evolution and undeniable contributions, these softwares have become increasingly the main mediator in the relationship between "architect and graphic tools" (Deroisy and Deneyer 2011).

However, the various software generally used by architectural students during their training have a disadvantage: these computer tools are often used to produce digital representations of the designer's propositions with more or less ease in achieving the different graphic documents. This restriction on the concept of assistance is due, to a large part, to the fact that CAD tools require the introduction of accurate data that are usually available only when the project is already sufficiently developed or sometimes completely finished.

In order to deal with these mentioned situations, the recourse to "reverse approach" was the starting point; this method is based on the designer's intention in term of light ambience, then propose solutions that will fulfill his intention (Houpert, 2003). In this framework we suggest a numerical model enabling the dimensioning of the opening-elements from declared intention. During the development of the model "the sky and the sun" were considered as the only components of the external light environment and the "opening-element" as the only source of light inside the space. The combination of calculation-formulas of external and internal lighting luminance permitted to collect data and results into the same file. The evaluation of the developed model along with other softwares allow to verify the accuracy of its results, and to get the degree of its correspondence to the objectives of this research. The aim is to give more importance to the benefits of simulation in the field of lighting, and reach an optimum consideration of the constraint of natural light from the outset of architectural design.

## PARADIGMATIC CONTEXT OF THE RESEARCH

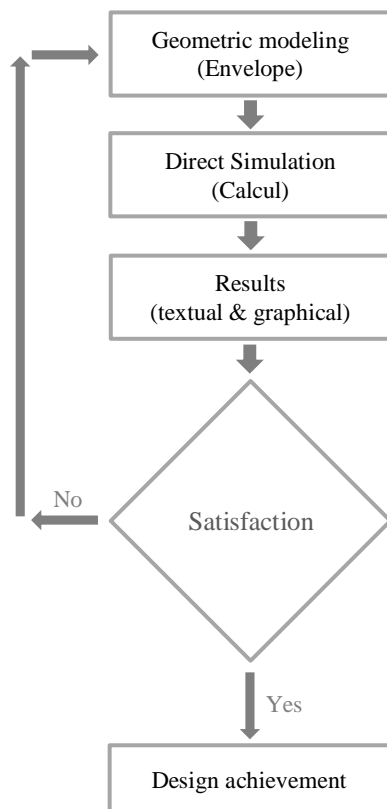
The methodology adopted in this paper was based on the paradigm of "declarative approach" proposed by Daniel SIRET, represented by the concept of "inverse simulation" and developed in practical way for specific ambience "daylight" (Siret, 1997).

### **Problem of the "direct" simulation of daylighting**

In order to argue our choice of approach, we began by analyzing the design steps of opening-elements using various software of daylight simulation such as: ADELINÉ®, DIALUX®, ECOTECT®, GENELUX®, INSPIRER®, LIGHTSCAPE®, RADIANCE®, SUPERLITE® and VELUX®.

We then classified these tools according to the calculation algorithm adopted in their database; this has allowed us to conclude that:

- All these various software use one of the two calculation algorithms: Radiosity or Raytracing.
- The operating mode of these two algorithms satisfies the following chart:



*Figure 1 The design steps of opening-elements with daylight simulation software.*

The two main disadvantages of this operating scheme are that:

- The "downstream" intervention of the daylight simulation leads to time loss in design in case of the designer's dissatisfaction of the results.
- The end of these tools is thus to enable designers to test the solutions they propose for implementation, but not to suggest a solutions to the students.

### **The "declarative approach" as a solution**

The reverse simulation is a part of a more global approach known as "declarative modelization" which was introduced in the field of design to address the shortcomings of the imperative modelization. The specificity of this implicit and abstract approach is that it creates objects, shapes, images and scenes only by their characteristics and properties (Hegron, 2002) (Houper, 2003) (Gallas, 2009) (Greca, 2005).

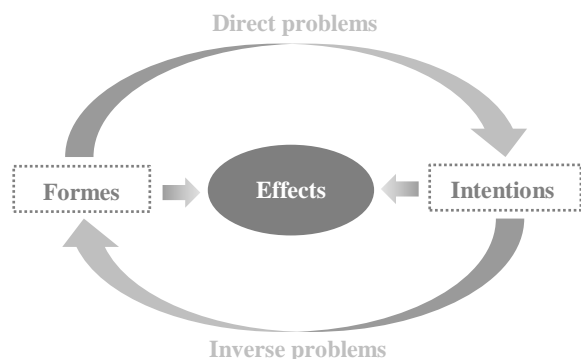
The advantages of the declarative modelization can be summarized by the following points:

- It is closer to the designer; it allows him to focus only on the manipulation of non-geometric aspects of the scene he wants to create without caring about its geometric interpretation, which is the mission of the declarative modeler who then determines precisely the scenes with the stated properties.
- It is better suited to the progressive character of modeling; by allowing continuously the modelization of the scene whatever the number and quantity of the stated properties. The user can, at any time, get an early draft of the scene which he can then refine while ensuring the conservation of its initial properties during the modification (Bonnefoi, 1999).

### **The "reverse" simulation of daylight**

Reverse simulation methods of daylight determine the geometric conditions to be met by building components (the morphic composition, orientation, type and location of the opening-elements) to achieve designer's intentions (ensure that a given area of space satisfies a daylight qualification for a specified period) (Siret, 1997).

In the context of the inverse approach proposed by Daniel Siret, the architectural project is considered as a double simultaneous demarcation process of "formes" and "intentions" carried by the intermediate concept of "effect". The actions on these components can be of two kinds (exposure and achievement), each one of them can be associated with one of the problems as shown in the following figure.



*Figure 2 The dynamic of the architectural design process.*

**N.B:** This fact does not mean the nonexistence of software elaborated with this approach such as



TRNSHD©, WINSHADE©, SUSTARC© and CALCSOLAR© (Guedi Capeluto et al., 2005) (Kabre, 1997) (Marion Hiller, 1996) (Yeh and Schiler, 1993). The main drawback of these tools is that they are, in most cases developed in research laboratories and none of them is available on the market. For this, we proceeded to the development of a new tool of daylight simulation and optimization.

## REVERSE SIMULATION AND THE DEVELOPMENT OF THE MODEL

### Presentation of the adopted space model

The space model used for the calculation is a simple geometrical shape "rectangular" with dimensions corresponding to those frequently adopted for classrooms of schools, colleges and other academic institutions of educational learning.

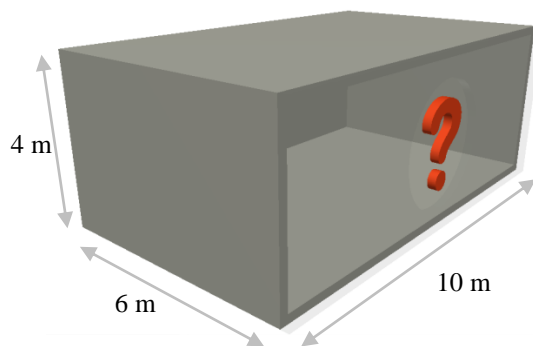


Figure 3 Geometry and dimensions of the adopted space for calculation.

### Choice of location of the calculation points

The choice of the calculation points was in order to cover the maximum areas of the space, thus to give an idea about the depth of the lighting system. The three calculation points selected are shown in the following figure:

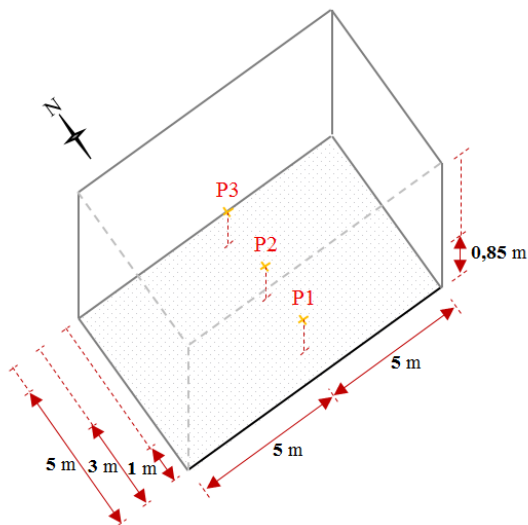


Figure 4 Location of the three points selected for the calculation.

## The steps of development

### The Calculation of the external luminance

The model used for the calculation of the external light coming from outside (sky + sun) is that of Richard Kittler (Kittler and Darula, 2002). This model was chosen because of the availability of validation work and its ability to include all types of sky and any geographic location.

Table 1

Values of different angles and distances required for the calculation (1).

GIVEN	VALUES (°)	CORRESPONDENCE
$\alpha_s$	122,28	May 13th 2013 at 11:00 am in Biskra, Algeria
$\alpha$	120,18	October 6th 1986 at 10:00 am in Constantine, Algeria
$\gamma_s$	63,59	May 13th 2013 at 11:00 am in Biskra, Algeria
$\gamma$	27,29	October 6th 1986 at 10:00 am in Constantine, Algeria
$Z_s$	26,41	May 13th 2013 at 11:00 am in Biskra, Algeria
$Z$	62,71	October 6th 1986 at 10:00 am in Constantine, Algeria

- In order to follow the current CIE Clear Sky Standard, the starting formula was:

$$\frac{L_{y\alpha}}{L_z} = \frac{\Phi(Z) f(\chi)}{\Phi(0^\circ) f(Z_s)} \quad (1)$$

- The formula adopted to calculate the gradation functions  $\Phi$  for any point in the sky ( $n$ ) is:

$$\Phi(n) = 1 + a \exp(b/\cos n) \quad (2)$$

The application of the formula (2) for a sky element in view direction :

$$\Phi(Z) = 0,6987$$

The application of the formula (2) for the zenith:

$$\Phi(0^\circ) = 0,4231$$

- The formula adopted to calculate the Indicatrix functions  $f$  for any point in the sky ( $n$ ) is:

$$f(n) = 1 + c[\exp(d \cdot n) - \exp(d\pi \cdot n)] + e \cos^2 n \quad (3)$$

The application of the formula (3) for a sky element in view direction :

$$f(\chi) = 2,6949$$

The application of the formula (3) for the zenith:

$$f(Z_s) = 3,7798$$

- The numeric application to the formula (1) gives:

$$\frac{L\gamma\alpha}{Lz} = 1,1775$$

- The formula adopted to calculate the zenith luminance is:

$$Lz = (1,376 TL - 1,81) \tan \gamma s + 0,38 \quad (4)$$

$$Lz = 11974$$

- The formula adopted to calculate only the luminance of the sky relative to the selected sky element is

$$L\gamma\alpha = Lvz (L\gamma\alpha/Lz) \quad (5)$$

$$L\gamma\alpha = 14100 \text{ cd/m}^2$$

### The Calculation of the areas of opening-elements

To calculate the surface must have the opening elements to achieve the desired lighting level, we used the series of formulas created by Vincent TOURRE in his Ph.D thesis (Tourre, 2007).

Table 2

Values of different angles and distances required for the calculation (2).

GIVEN	VALUE	UNIT
$\alpha_1$	41,00	degrees
$\alpha_2$	77,00	degrees
$\alpha_3$	83,00	degrees
$\beta$	63,69	degrees
d1	1,15	meter
d2	1,15	meter
d3	1,15	meter
$\tau$	1	/

To resolve the question of obtaining a surface value, we opted for an inversion of the integral function into the formula proposed by Vincent TOURRE :

$$EC = \int s \frac{L\gamma\alpha \cdot \cos^3\alpha \cdot \cos\beta \cdot t \cdot d\varepsilon}{d^2} \quad (6)$$

The area required for each opening element 500 lx for each calculation point is indicated on the following table:

Table 3

Necessary area for each opening element.

SURFACE	VALUE	UNIT
S1	0,7013	m <sup>2</sup>
S2	4,1783	m <sup>2</sup>
S3	10,9284	m <sup>2</sup>

### Configuration of the obtained opening-elements

The dimensions and exact locations of the opening elements are shown in the following figures:

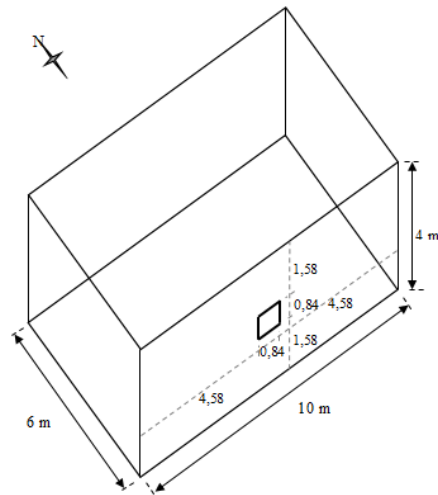


Figure 5 Final dimensions and location of the opening-element for P1.

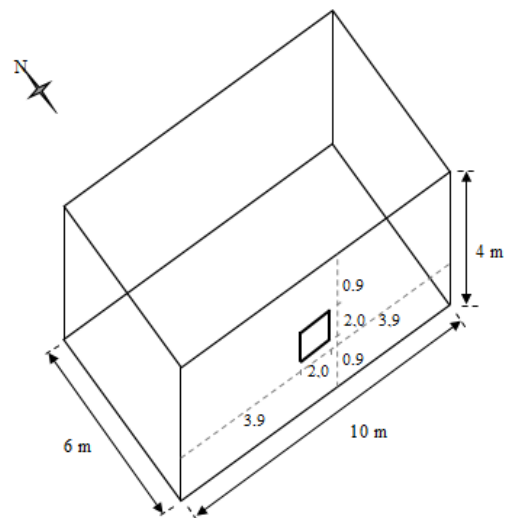


Figure 6 Final dimensions and location of the opening-element for P2.

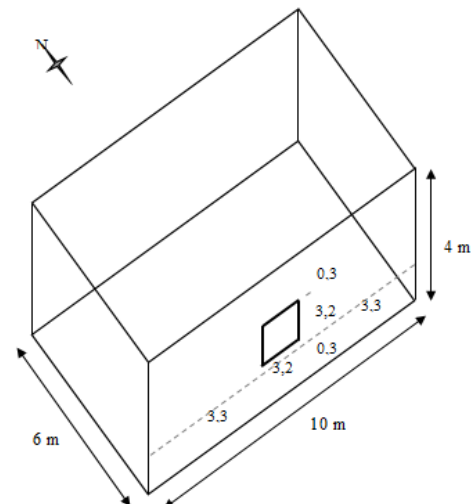
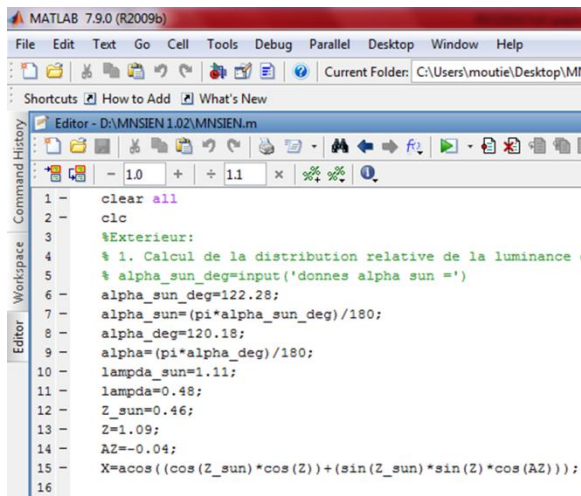


Figure 7 Final dimensions and location of the opening-element for P3.

## Overview of the developed model "MNSIEN"<sup>1</sup>

The developed model "MNSIEN" is a MATLAB M-file in which appears at its startup, the emplacement of the data to be included by designer:

- The values of angles of the azimuth and altitude of the sun corresponding to the date and time of the calculation; this can be integrated in the calculation page in form of charts.
- The location of the calculation point (its height from the ground and its distance from the wall); this can be measured by the designer from a section including only the calculation point and the designated wall to receive the opening element.



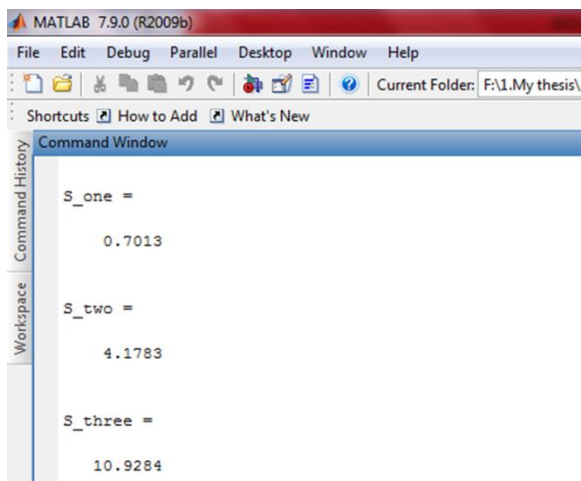
```

1 - clear all
2 - clc
3 %Exterieur:
4 % 1. Calcul de la distribution relative de la luminance
5 % alpha_sun_deg=input('donnes alpha sun =')
6 - alpha_sun_deg=122.28;
7 - alpha_sun=(pi*alpha_sun_deg)/180;
8 - alpha_deg=120.18;
9 - alpha=(pi*alpha_deg)/180;
10 - lampda_sun=1.11;
11 - lampda=0.48;
12 - Z_sun=0.46;
13 - Z=1.09;
14 - AZ=-0.04;
15 - X=acos((cos(Z_sun)*cos(Z))+(sin(Z_sun)*sin(Z)*cos(AZ)));
16

```

Figure 8 Data input fields.

After launching the calculation, the results appear on the same pallet. This allows the designer to visualize these results instantly which helps him to reduce the time of the simulation.



```

Command Window
S_one =
    0.7013

S_two =
    4.1783

S_three =
    10.9284

```

Figure 9 Output fields of results.

<sup>1</sup> MNSIEN is an abbreviation of the French phrase : "Modèle Numérique de Simulation Inverse de l'Eclairage Naturel".

From these results, the designer has an idea on the surface that must have the opening elements. He is now free to choose the shape of both the space and windows. The use of MNSIEN does not affect the morphic configuration of the space but offers a help to optimize the implementation of daylight system.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

In order to verify the accuracy of the obtained results, we chose the method of "comparative validation".

### Validation by direct simulation

- The first chosen software was DIALux 4.11.02 (free software).

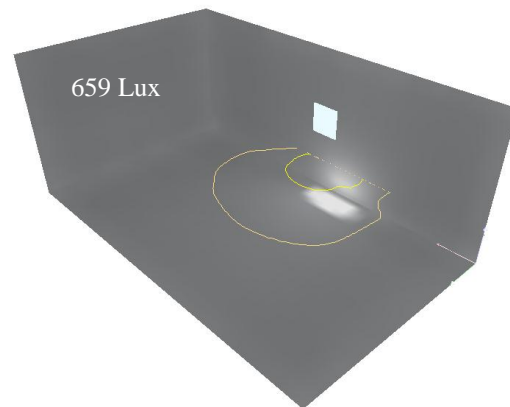


Figure 10 Validation result using DIALux for P1.

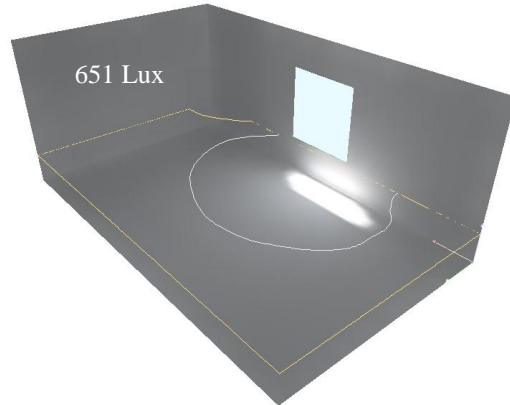


Figure 11 Validation result using DIALux for P2.

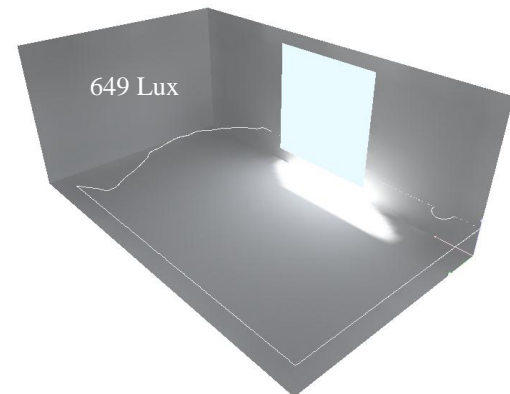


Figure 12 Validation result using DIALux for P3.

- The second software chosen for validation was ECOTECH ANALYSIS 2011 (paid software).

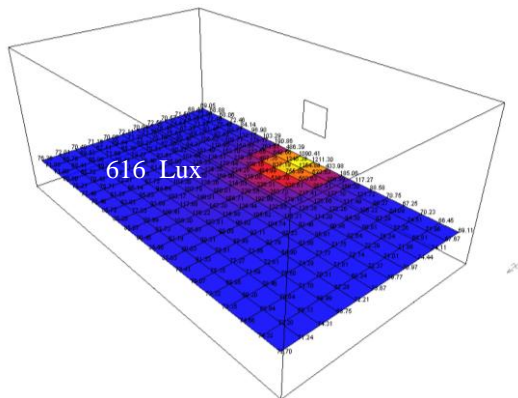


Figure 13 Validation result using ECOTECH for P1.

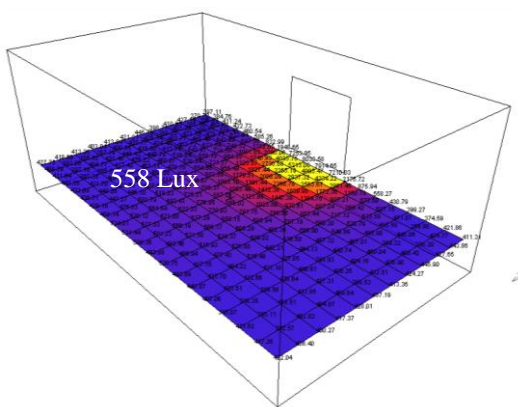


Figure 14 Validation result using ECOTECH for P2.

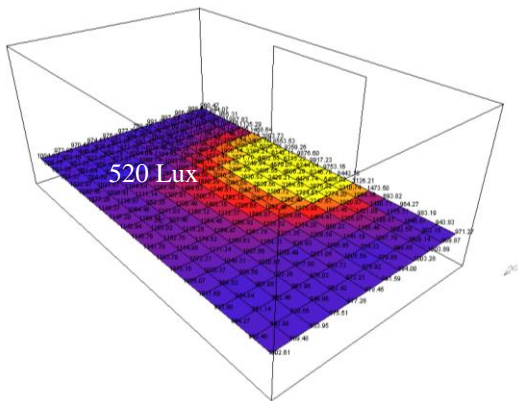


Figure 15 Validation result using ECOTECH for P3.

### Validation by optimization

- The second validation part was focused principally on checking the "optimal" character of the obtained results by comparing them with potential solutions derived from tools of daylighting optimization.

For our case, the modeling tool used as working environment was RHONICEROS©: this software was chosen because of its ability to be coupled with other generative algorithms such as GECO©, GALAPAGOS©, GRASSHOPPER© and others (Erlendsson. 2014).

The optimization process, illustrated in the following figures (Figure 15,16,17&18), consisted of four main steps which were repeated for each calculation point:

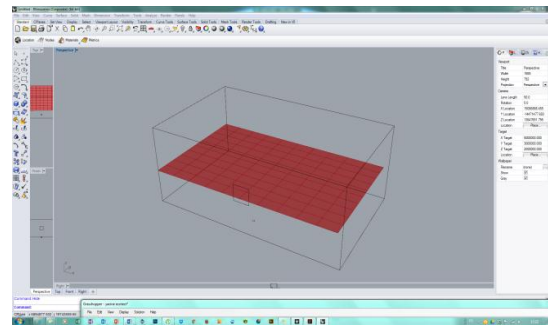


Figure 15 First step: Construction of the volumetry and the calculation data using Rhinoceros.

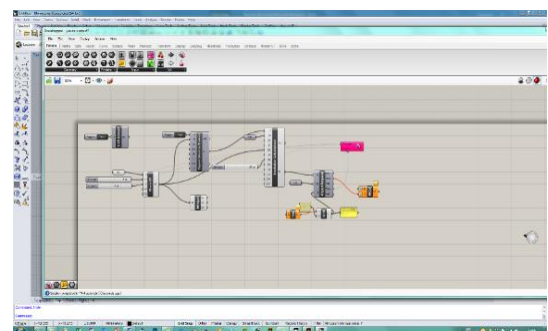


Figure 16 Second step: The use of -Geco- plug-in for export to ECOTECH.

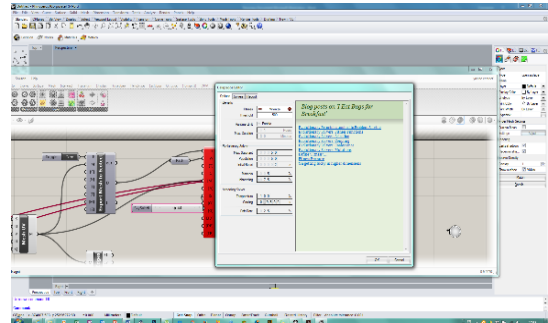


Figure 17 Third step: Statement of the optimization values in Galapagos-Grasshopper-Rhinoceros.

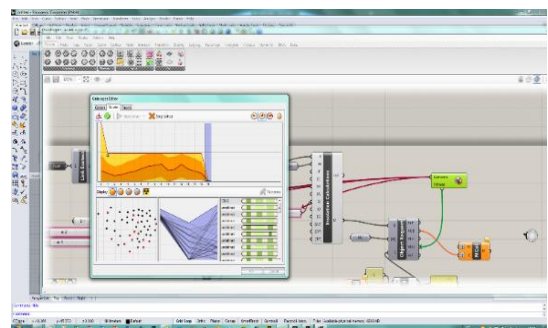


Figure 18 Fourth and final step: Optimization result.

- The solutions were, for each point, identical to those values taken during the development of model (with a margin of 0.01 due to the accuracy of the tool used for optimization).



### Statistical evaluation of the differences results

To evaluate the relative differences between the values from the mathematical calculation and those obtained by numerical simulation, we adopted a method developed by Michel Lejeune in the field of statistics. This method use "multiplier coefficient" (CM) to understand precisely and accurately the gap between the several values (Lejeune, 2010).

Table 4  
CM values for all calculation points.

POINT	CM	
	DIALUX 4.11.02	ECOTECT 2011
P1	1,32	1,23
P2	1,30	1,12
P3	1,30	1,04

### Interpretation

- All values in the multiplier are above 1, which allows us to say that the level of illumination is, in all cases, in proximity of the desired level.
- Values of the Multiplier coefficient are between (CM = 1.04 and CM = 1.32) which reflects the good equality between the desired values and those obtained by simulation.
- The gap between the lowest value and the highest value is (0.02) for DIALux and (0.19) for the results obtained by ECOTECT: therefore, the values are on the same range of variation.
- In both cases (simulation with DIALux and ECOTECT), the CM is at its highest value at the first point; this value decreases to the second point and reaches its lowest value at the third point. This shows that the precision of our calculation reduced near the opening-element and rises slightly and gradually as one moves away from this one.
- Between the various software used, the results obtained by ECOTECT have a smaller gap than those obtained by DIALux, This may be due in large part to the software category (paid) enabling it to have a more accurate than a (free) DIALux.

### CONCLUSION

This work could be considered as a link between the conventional and declarative methods of simulation in order to better serve the intentions of the architects for designing of daylight systems. The objective of the reverse approach is therefore to complete and resolve gaps that may occur in exceptional design situations.

During this research, the developed model "MNSIEN" has shown some positive points:

- The first one is a guarantee of an illuminating level that is always higher than desired; thereby this will avoid the inefficiency or the obtained opening element's failure.
- The second positive point is the accuracy of their results, which are closest to those given by paid software; this allows satisfying the destination

(students of architecture in pedagogical institutions) of the model.

- The third positive point for this model is the ease of use that characterizes it, because it is necessary to introduce only the corresponding angles to the sun's position, and that of the sky-element relative to the selected date and time to have the solutions. The designer can therefore proceed to the simulation of his sketches before completing the parametric modeling; this will mitigate the constraints of direct simulation while ensuring his liberty for choosing the morphic configuration.

The evaluation of the pertinence of the developed model allows us to declare that it can be operational, and can be used by students / architects in their first steps of designing new architectural projects. Therefore, it would be a real help in defining the optimal dimensions of the opening-elements. Through this model, we hope to open access to new architectural design tools that address the needs of today's world in terms of ecology, bioclimatic and in terms of environment friendly architecture.

### Future research opportunities

In order to push the limits of this work and extend its scope, we propose two kinds of possibilities:

- The main short-term perspective is to expand the database to achieve an annual inverse simulation of daylight for entire space surfaces.
- In the long term, we want to collaborate with other scientific disciplines to integrate other physical phenomena such as thermal, energy, etc... to get more overall solutions.

### NAMENCLATURE

$\alpha$ ,	Azimuth angle of the sky-element;
$\alpha_s$ ,	Azimuth angle of the sun;
$\alpha_{1,2,3}$ ,	Angle between point to illuminate and the center of the opening element (rad);
$\beta$ ,	Angle between the normal of the opening element and the direction of the opening element to the source side (rad);
$d_{1,2,3}$ ,	Distance between the height of the calculation point and the height of the middle of the wall receiving the opening element (m);
$f$ ,	Luminance Indicatrix function;
$f(Z)$ ,	Indicatrix function for sky-element;
$f(Z)$ ,	Indicatrix function for zenith;
$\Phi$ ,	Luminance gradation function;
$\Phi(Z)$ ,	Gradation functions for sky-element;
$\Phi(0^\circ)$ ,	Gradation functions for zenith;
$\gamma$ ,	Elevation of the sky-element;
$\gamma_s$ ,	Elevation of the sun;
$L$ ,	Luminance;
$Lz$ ,	Luminance at the Zenith (cd/m <sup>2</sup> );
$L\gamma\alpha$ ,	Luminance of sky-element (cd/m <sup>2</sup> );
$lx$ ,	Lux;
$cd$ ,	Candela;

$m$ ,	Metre;
$n$ ,	Unknown variable;
$P$ ,	Calculation point;
$S_{1,2,3}$ ,	Area (m <sup>2</sup> );
$\tau$ ,	Transmission coefficient;
$T_L$ ,	Turbidity factor of Linke;
$CM$ ,	Multiplication coefficient;
$Z_s$ ,	Angular distance between sun and zenith;
$Z$ ,	Angular distance between a sky-element and the zenith;

## ACKNOWLEDGEMENT

I want to thank my director Pr. Said MAZOUZ for his teachings on the research profession and to thank Pr. Azeddine BELAKEHAL for his participation in the finalization of this work.

## REFERENCES

- Bonnefoi, P.F. 1999. Techniques de satisfaction de contraintes pour la modélisation déclarative, Application à la génération concurrente de scènes, université de Limoges, France.
- Chaabouni, S., Bignon, J.C., Halin, G. 2007. Conception des ambiances lumineuses, Navigation et raisonnement par l'image pour la formulation des intentions, Ecole d'Architecture de Nancy, France.
- Cornier, M. 2006. Valoriser la lumière naturelle, mémoire de fin de stage, Ecole d'architecture de Lyon, France.
- Francioli, D., Meyer, J.J., Michel, L., Kerkhoven, H. 2001. Test visuel sur écran pour optimiser les conditions lumineuses, Laboratoire d'ergonomie visuelle (LEV), Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), Suisse.
- Deroisy, B., Deneyer, A. 2011. Les Dossiers du CSTC, laboratoire «Lumière et Bâtiment, CSTC 18/03/2011.
- Donnadieu, B. 2002. L'Apprentissage du regard, Leçons d'architecture de Dominique Spinetta, Editions de La Villette.
- Erlendsson, Ö. 2014. Daylight Optimization: A Parametric Study of Atrium Design, Royal Institute of Technology SE 100-44 Stockholm
- Gallas, M.A. 1999. Lumière naturelle en phase de conception : quels outils/méthodes pour l'architecte, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nancy, France.
- Guedi Capeluto, I., Bleiberg, T., Shaviv, E. 2005. from computer models to simple design tools, solar rights in the design of urban streets, Technion Institute of Technology, university of Haifa.
- Gunéa, F. 1997. Le raisonnement par classification appliqué à la CAO, rapport d'habilitation à diriger les recherches 16 Mai 1997, Université de Caen, France.
- Houpert, S. 2003. Approche inverse pour la résolution de contraintes solaires et visuelles dans le projet architectural et urbain : développement et application du logiciel SVR, Université de Nantes, France.
- Hegron, G. 2002. Conception architecturale et modélisation déclarative, CERMA UMR CNRS 1563, École d'Architecture de Nantes
- Kabre, C. 1998. WINSHADE: A computer design tool for solar control, department of architecture - University of Queensland - Australia.
- Karayel, M., Navvab, M., Ne'eman, E., Selkowitz, S. 1983. Zenith luminance and sky luminance distributions for daylighting calculations, Lawrence Berkeley Laboratory, University of California USA.
- Kittler, R., Darula, S. 2002. CIE general sky standard defining luminance distributions, Institute of Construction and Architecture, Slovak Academy of Sciences, Slovakia.
- Lebahar, J.C. 1983. Le dessin d'architecture, simulation graphique et réduction d'incertitudes, édition parenthèses.
- Lejeune, M. 2010. Statistiques : la théorie et ces applications, Deuxième édition, Springer-Verlag Paris.
- Marion Hiller, D.E. 1996, TRNSHD: A program for shading and insolation calculations, University of Wisconsin Madison USA.
- Miguet, F. 2000. Paramètres physiques des ambiances architecturales, Un modèle numérique pour la simulation de la lumière naturelle dans le projet urbain, Ecole d'architecture de Nantes, France.
- Philips, D. 2004. Daylighting; natural light in architecture, Architectural Press.
- Poulingéas, P. 2004. Spécification déclarative de l'ambiance d'une scène, Faculté des sciences et techniques, Université de Limoges, France.
- Siret, D. 1997. Proposition pour une approche déclarative des ambiances dans le projet architectural, Application à l'ensoleillement. Spécialité Sciences de l'Ingénieur Option Architecture, université de Nantes, France.
- Tourre, V. 2007. Simulation inverse de l'éclairage naturel pour le projet architectural, École Polytechnique de l'Université de Nantes, France.
- Yeh, U.P., Schiler, M. 1993. Hoyt Street Yard Redevelopment Plan: a case study using an interactive computer program for defining and drawing solar envelopes, Proceedings, American Solar Energy Conference, Washington, DC.

# **Annexes**



# Annexe I

## Questionnaire distribué de l'enquête version test

### Questionnaire pour les usagers de la Salle CAO

#### Département d'architecture Biskra

Date : ..... Heure : ..... Poste Num : ... Séance N° ..... Codes : .....

#### Renseignements personnels :

F  H  Age : ....

Etudiant de L3  M1  M2  - Autre année ..... Option : .....

Été vous externe  Oui  Non -Vous été de quelle ville .....

Porter vous des verres correcteurs ou des lentilles de contact : Oui  Non

#### I-Question sur la salle CAO

I-1- Est-ce que la lumière naturelle vous cause de l'éblouissement au point d'être gêné ?

Oui  Non

I-2- Si oui, de quelle direction vient-elle ?

Du ciel  Du soleil

I-3- Est-ce que la lumière artificielle vous gêne au niveau des yeux (c'est à dire vous aveugle) ?

Oui  Non

-Si oui où ?

Poste de travail      La salle en général

I-4- Est-ce que l'éclairage (du plafond, lampe de la salle, fenêtres) cause des réflexions sur votre poste de travail :

Oui  Non

I-5- Comment qualifier vous l'ambiance général créé par la lumière dans la salle informatique est telle :

Brillante	-2	-1	0	+1	+2	Sombre
Ennuyeuse	-2	-1	0	+1	+2	Stimulante
Artificiel	-2	-1	0	+1	+2	Naturelle
gênante	-2	-1	0	+1	+2	Confortable

**II-A-Votre poste de travail**

**II-1-Comment qualifier vous l'ambiance général créé par la lumière dans votre poste de travail :**

Brillante	-2	-1	0	+1	+2	Sombre
Emmuyeuse	-2	-1	0	+1	+2	Stimulante
Artificiel	-2	-1	0	+1	+2	Naturelle
gérante	-2	-1	0	+1	+2	Confortable

**II-B-Votre poste de travail**

**II-2-Comment trouver vous l'éclairage de votre poste de travail**

Artificiel	-2	-1	0	+1	+2	Naturel
Monotone	-2	-1	0	+1	+2	Attirent

**II-3- Comment trouver vous l'éclairage pour : Activité lecture du texte sur la table**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie
Sombre	-2	-1	0	+1	+2	Brillante

**II-4- Comment trouver vous l'éclairage pour : Activité lecture du des dessins (schémas) sur la table**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie
Sombre	-2	-1	0	+1	+2	Brillante

**II-5- Comment trouver vous l'éclairage pour : Activité écriture du texte sur Pc (écran)**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

**II-6- Comment trouver vous éclairage pour : Activité dessin assister par ordinateur (écran)**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

## Annexes

### II-7- Comment trouver vous éclairage pour : Activité vision des projections de data show

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

### II-8- Comment trouver vous éclairage pour : Activité vision du tableaux blanc

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

# Annexe II

## Questionnaire distribué de l'enquête version finale

Date : ..... Heure : ..... Poste Num : ... Séance N° ..... Codes : .....

### Renseignements personnels :

F  H  Age : ....  
 Etudiant de L3  M1  M2  - Autre année ..... Option :.....  
 Eté vous externe  Oui  Non -Vous été de quelle ville .....  
 Porter vous des verres correcteurs ou des lentilles de contact : Oui  Non

### I-Question sur la salle CAO

I-1-Est-ce que la lumière naturelle vous cause de l'éblouissement au point d'être gêné ?

Oui  Non

I-2-Si oui, de quelle direction vient-elle ?

Du ciel  Du soleil

I-3-Est-ce que la lumière artificielle vous gêne au niveau des yeux (c'est à dire vous aveugle) ?

Oui  Non

-Si oui où ?

Poste de travail  La salle en général

I-4-Est-ce que l'éclairage (du plafond, lampe de la salle, fenêtres) cause des réflexions sur votre poste de travail :

Oui  Non

I-5- Comment qualifier vous l'ambiance général créé par la lumière dans la salle informatique est telle :

Brillante	-2	-1	0	+1	+2	Sombre
Ennuyeuse	-2	-1	0	+1	+2	Stimulante
Artificiel	-2	-1	0	+1	+2	Naturelle
gênante	-2	-1	0	+1	+2	Confortable

I-6-Exite t-il une gêne du a la présence lumière dans la salle informatique sur (vôtres champs visuels)

Oui  Non

- Si oui veuillez définir :

A) Sa source d'après vous  Source naturel  Artificiel  Les deux  
 Autres .....

B) Sa direction veuillez (schématiser) la direction du gêne par rapport à votre poste



Plan du poste de travail

C) Sa position ou se veuillez, indiquez sont emplacement, sur : (Vous pouvez cochez plusieurs)

Sol  Plafond  Mur  Autre préciser .....

**II-A-Votre poste de travail****II-1-Comment qualifier vous l'ambiance général créé par la lumière dans votre poste de travail :**

Brillante	-2	-1	0	+1	+2	Sombre
Ennuyeuse	-2	-1	0	+1	+2	Stimulante
Artificiel	-2	-1	0	+1	+2	Naturelle
gênante	-2	-1	0	+1	+2	Confortable

**II-2-Comment trouver vous l'éclairage de votre poste de travail**

Artificiel	-2	-1	0	+1	+2	Naturel
Monotone	-2	-1	0	+1	+2	Attirent

**II-3- Comment trouver vous l'éclairage pour : Activité lecture du texte sur la table**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie
Sombre	-2	-1	0	+1	+2	Brillante

**II-4- Comment trouver vous l'éclairage pour : Activité lecture du des dessins (schémas) sur la table**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie
Sombre	-2	-1	0	+1	+2	Brillante

**II-5- Comment trouver vous l'éclairage pour : Activité écriture du texte sur Pc (écran)**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

**II-6- Comment trouver vous éclairage pour : Activité dessin assister par ordinateur (écran)**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

**II-7- Comment trouver vous éclairage pour : Activité vision des projections de data show**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

**II-8- Comment trouver vous éclairage pour : Activité vision du tableaux blanc**

Eblouissant	-2	-1	0	+1	+2	Confortable
Non Approprié	-2	-1	0	+1	+2	Approprié
Désagréable	-2	-1	0	+1	+2	Agréable
Floue	-2	-1	0	+1	+2	Nette
Pas bien définie	-2	-1	0	+1	+2	Bien définie

**II-B-Votre poste de travail****II-B-Existe-t-il une gêne du a la présence de lumière sur votre poste de travail :**

Oui  Non

A) Sa source d'après vous  Source naturel  Artificiel  Les deux  
 Autres .....

B) Sa direction veuillez (schématiser) la direction du gêne par rapport à votre poste



Plan du poste de travail

C) Sa position ou se veuillez, indiquez sont emplacement, sur :(Vous pouvez cochez plusieurs)

Ecrans  Table  Papier  Autre préciser .....

# Annexe III

Texte distribué

## **Exercice 01** (configuration 01)

Ma maison idéale est à côté de la plage. J'aime habiter près de la plage parce que la vie est plus calme qu'en ville. Cette maison est vieille, traditionnelle, faite de bois et de pierre. Elle n'est pas trop grande, mais il y a un jardin avec de grands arbres. Il y a deux étages, comme ça je peux regarder la mer du balcon.

### **Exercice 02** (configuration 02)

Il y a un grenier où se trouve ma chambre. Ma maison idéale a trois chambres en haut, avec de grandes fenêtres d'où on peut voir la plage. Ma chambre a tout ce qu'il me faut : un lit, un divan, une armoire, un bureau, un ordinateur, une télé, une chaîne stéréo et une bibliothèque. J'ai tous mes posters préférés aux murs. La maison a deux salles de bains, comme ça je ne suis pas toujours obligé d'attendre ma sœur.



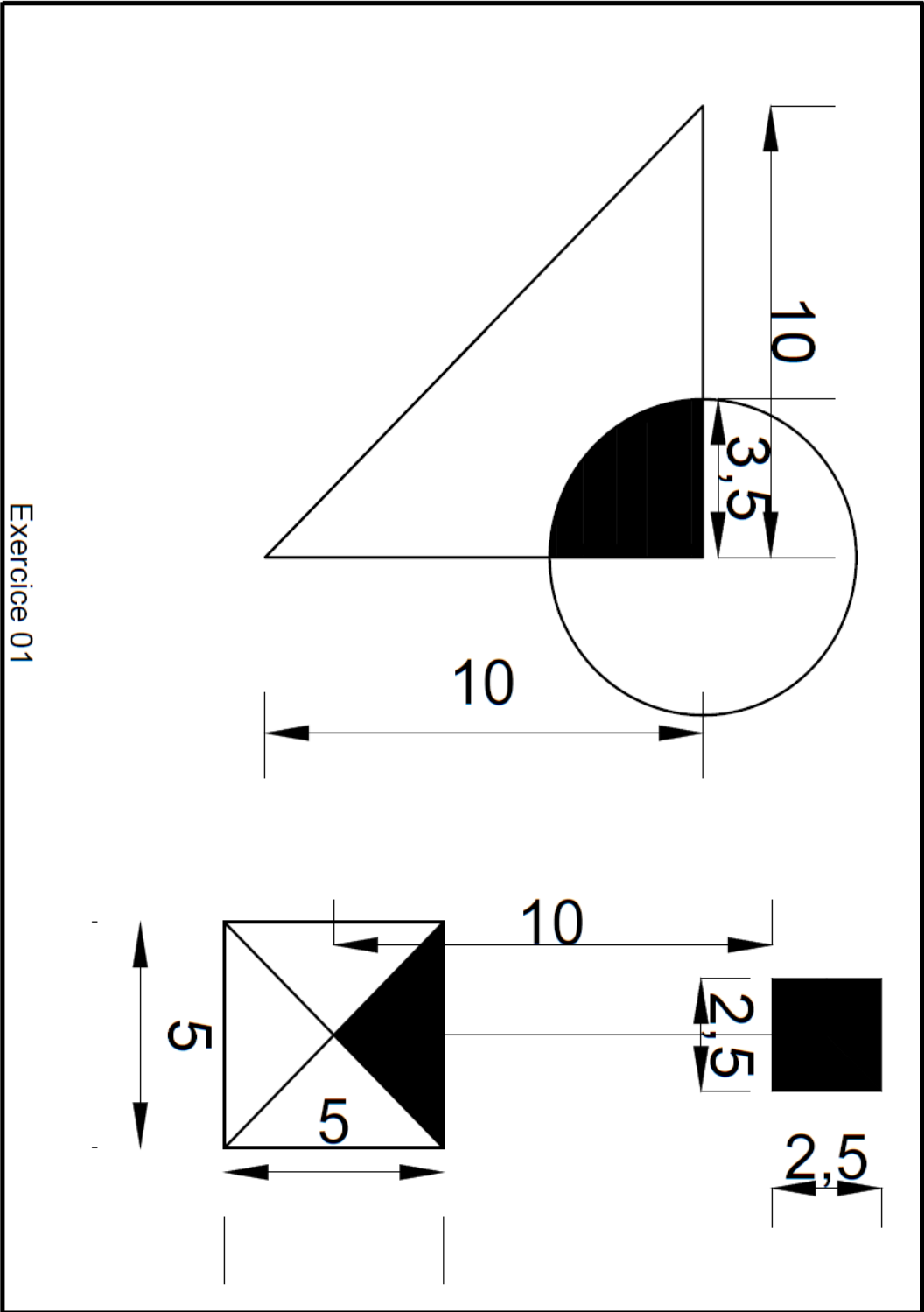
**Exercice 03** (configuration 03)

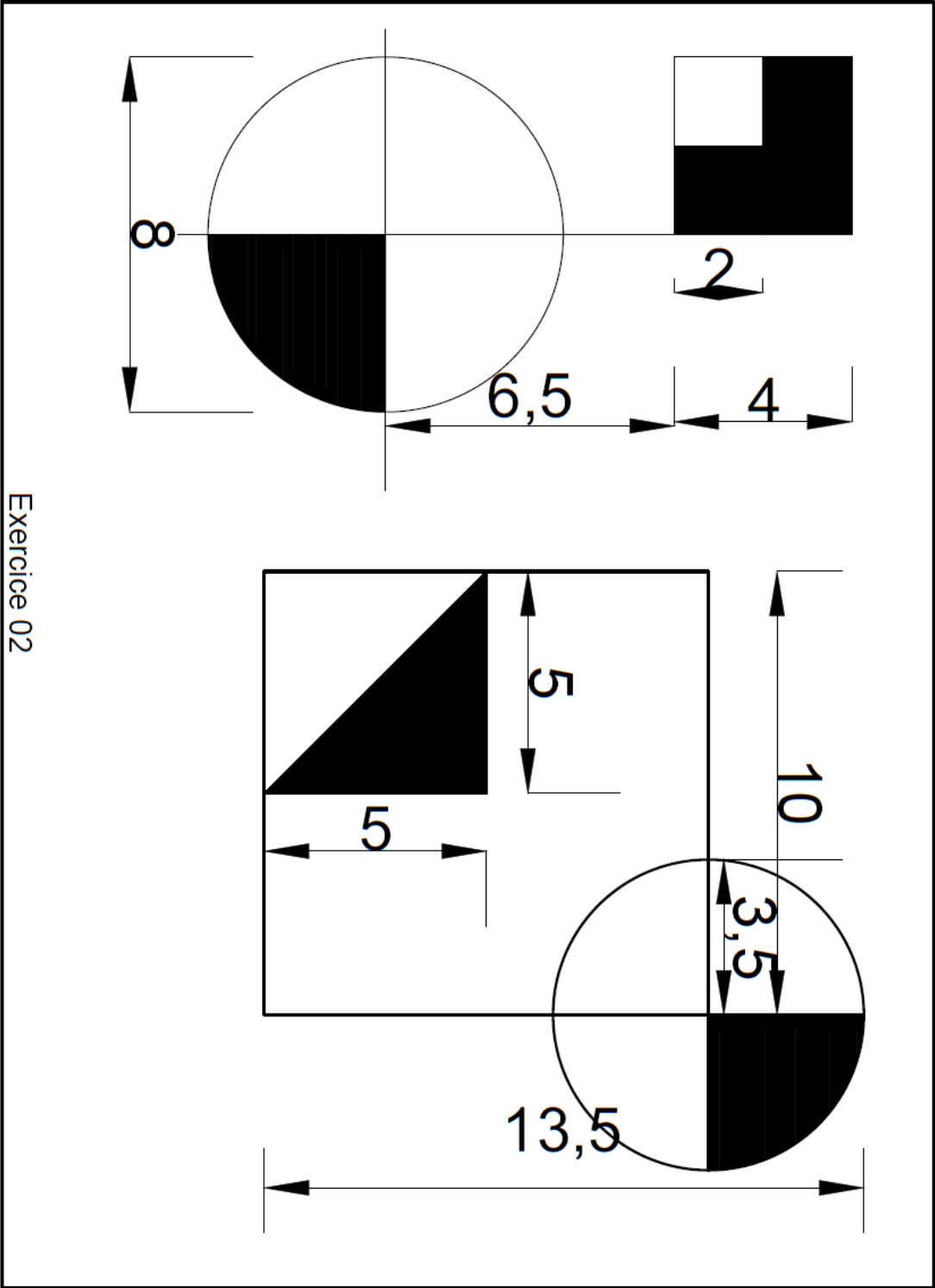
Les technologies actuelles font en sorte que nous accédons non seulement plus rapidement, mais aussi plus spécifiquement, à ce que nous cherchons. Internet, mais aussi les technologies de communications et les chaînes télévisées thématiques par exemple, sont autant de moyens d'obtenir des informations spécialisées sans même avoir à sortir de chez soi

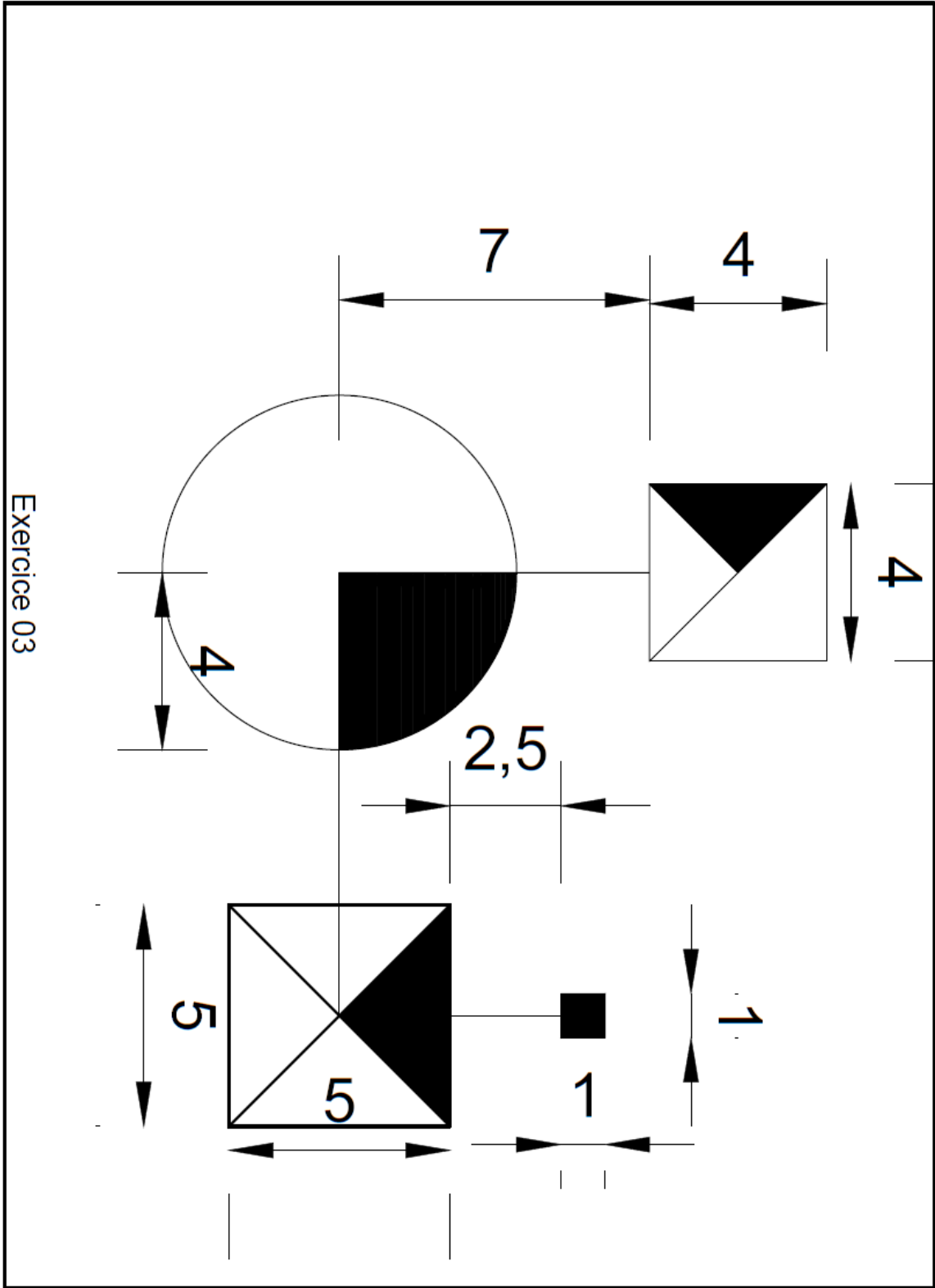
### **Exercice 04** (configuration 04)

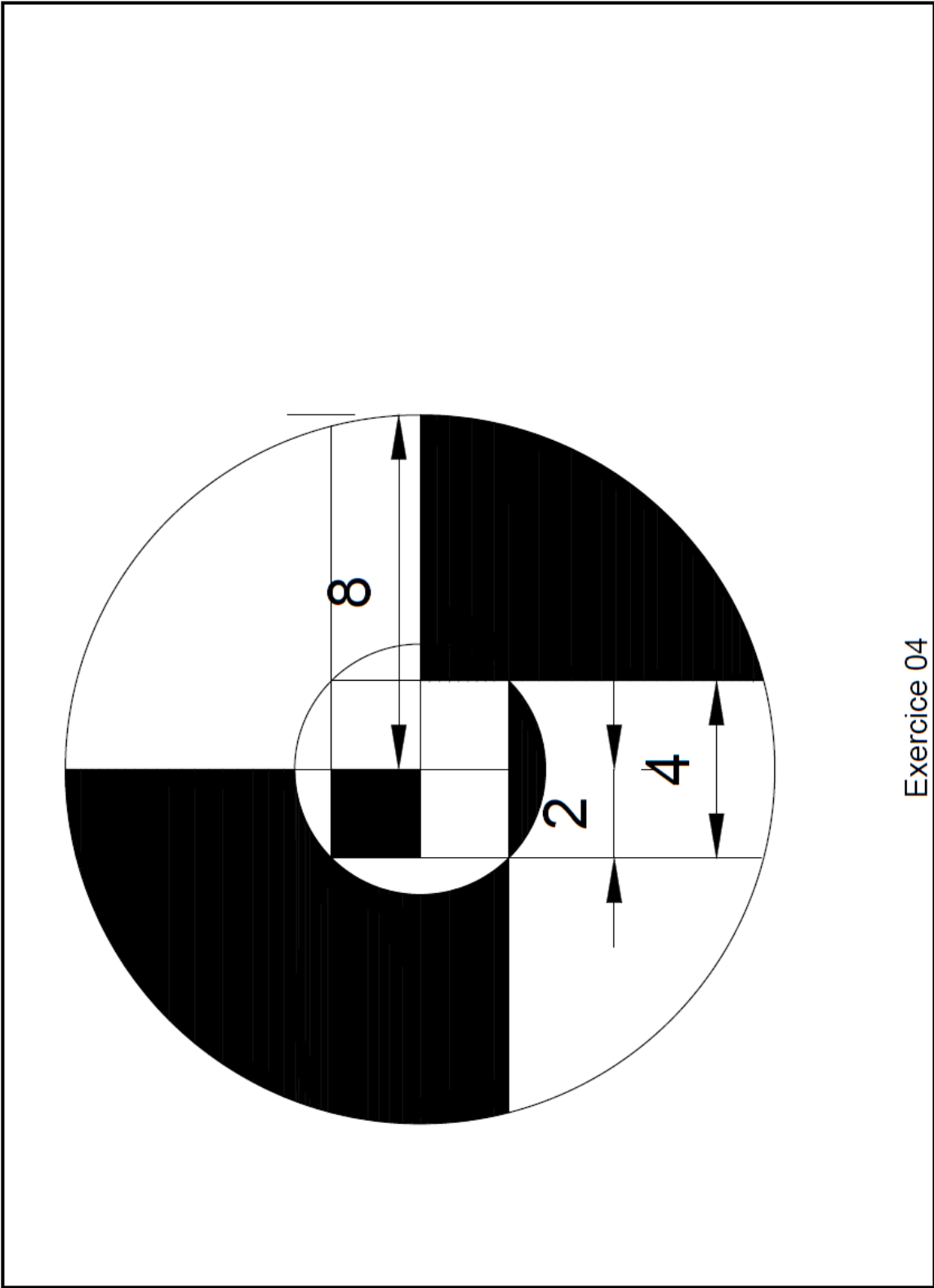
Jusqu'à aujourd'hui, aucune époque n'a connu une telle rapidité des échanges et des acquisitions. Cela a pour effet de redéfinir le rapport de l'individu au temps et à l'espace. Dans un tel contexte, la contemplation et la déambulation sont des actions de plus en plus évincées du quotidien, elles tendent à perdre leur pertinence. Dans la mesure où elles sont dorénavant si facilement évitables.

# **Annexe IV**









Exercice 04



# Annexe V

## Tableaux du teste Anova

Différence significative de Tukey<sup>ab</sup>

Gênante;Confortable	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05
confortable	35	259,31
T.R.Confortable	26	271,15
gênante	23	273,00
T.R.gênante	4	440,00

Luminance\_moy\_Ergorama

Différence significative de Tukey<sup>ab</sup>

Gênante;Confortable	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05
gênante	23	251,74
confortable	35	253,37
T.R.gênante	4	279,00
T.R.Confortable	26	313,08

Luminance\_Moy\_Panorma

Différence significative de Tukey<sup>ab</sup>

Gênante;Confortable	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05
T.R.gênante	4	288,25
gênante	23	496,35
T.R.Confortable	26	1407,96
confortable	35	1422,34

ELC\_VERT\_SURF\_ECRAN

Différence significative de Tukey<sup>ab</sup>

Gênante;Confortable	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05
T.R.gênante	4	19,75
confortable	35	62,71
gênante	23	62,78
T.R.Confortable	26	96,00

Luminance\_du\_fond

Tableau 1 : Analyse ANOVA des variables (Gênante- confortable) test (Tukey post hoc), impression générale dans la salle CAO

B de Tukey<sup>ab</sup>

Ennuyeuse;Stimulante	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05
T.R.Stimulante	5	180,00
Ennuyeuse	38	257,00
Stimulante	31	279,84
T.R.Ennuyeuse	5	404,00

Luminance\_moy\_Ergorama

B de Tukey<sup>ab</sup>

Ennuyeuse;Stimulante	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05
Ennuyeuse	38	238,42
Stimulante	31	307,90
T.R.Stimulante	5	320,00
T.R.Ennuyeuse	5	349,00

Luminance\_Moy\_Panorma

B de Tukey<sup>ab</sup>

Ennuyeuse;Stimulante	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05
T.R.Ennuyeuse	5	244,20
Stimulante	31	919,68
Ennuyeuse	38	1429,84
T.R.Stimulante	5	1620,00

ELC\_VERT\_SURF\_ECRAN

B de Tukey<sup>ab</sup>

Ennuyeuse;Stimulante	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05
T.R.Ennuyeuse	5	51,60
T.R.Stimulante	5	54,60
Ennuyeuse	38	59,97
Stimulante	31	97,23

Luminance\_du\_fond

Tableau 2 : Analyse ANOVA des variables (Ennuyeuse- Stimulante) test (Tukey post hoc), impression générale dans la salle CAO

## Annexes

Test ANOVA variable Agréable		
Luminance_Moy_Panorma	Inter-groupes	Sig. 0,030
	Intragroupes	
	Total	
Luminance_moy_Ergorama	Inter-groupes	Sig. 0,001
	Intragroupes	
	Total	
Test ANOVA variable Approprié		
Luminance_Max	Inter-groupes	Sig. 0,019
	Intragroupes	
	Total	
Test ANOVA variable Bien définie		
Luminance_Max	Inter-groupes	Sig. 0,043
	Intragroupes	
	Total	
Test ANOVA variable Nette		
Luminance_Max	Inter-groupes	Sig. 0,043
	Intragroupes	
	Total	

Tableau 3 : test Anova pour les quatre variables agréable, approprié, bien définie et nette pour tâche lecture du texte sur la table

Différence significative de Tukey <sup>a,b</sup>			Différence significative de Tukey <sup>a,b</sup>			Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
Pas bien définie; Bien définie	N		Sous-ensemble pour alpha = 0.05	Pas bien définie; Bien définie	N		
Peu définie	13		1	Peu définie	13		461,15
Bien définie	49		229,15	Bien définie	49		1232,51
définie	30		257,90	définie	30		1386,73
Pas définie	3		313,00	Pas définie	3		1651,67
Sig.			355,00	Sig.			0,002
ELC_HORIZ_SUR_PAPIER				ELC_VERT_SUR_SURF_ECRAN			

Différence significative de Tukey <sup>a,b</sup>			Différence significative de Tukey <sup>a,b</sup>			Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
Désagréable; Agréable	N		Sous-ensemble pour alpha = 0.05	Désagréable; Agréable	N		
T.R. Agréable	33		1	T.R. Agréable	33		254,42
Agréable	41		478,48	Agréable	41		288,39
Désagréable	12		547,07	Désagréable	12		289,17
T.R. Désagréable	2		603,33	T.R. Désagréable	2		
Sig.			702,50	Sig.			0,040
Luminance_Max				Luminance_moy_Ergorama			

Tableau 4 : Test Anova pour les deux variables bien définies et agréable pour tâche lecture de dessin sur la table

Différence significative de Tukey <sup>a,b</sup>			Différence significative de Tukey <sup>a,b</sup>		
		Sous-ensemble pour alpha = 0.05		Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
Désagréable; Agréable	N	1	Désagréable; Agréable	N	1
T.R. Agréable	27	489,63	T.R. Agréable	27	721,07
Désagréable	12	501,67	T.R. Désagréable	16	888,31
Agréable	33	553,03	Agréable	33	1059,24
T.R. Désagréable	16		Désagréable	12	
Sig.		0,007	Sig.		0,009

Luminance_Max			ELC_VERT_SUR_SURF_ECRAN		
		Sous-ensemble pour alpha = 0.05		Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
Non Approprié; Approprié	N	1	Non Approprié; Approprié	N	1
Non Approprié	7	147,86	Non Approprié	7	165,00
Peu Approprié	40	231,48	T.R. Approprié	20	222,80
T.R. Approprié	20	298,20	Peu Approprié	40	262,08
T.R. Peu Approprié	21	319,38	T.R. Peu Approprié	21	
Sig.		0,003	Sig.		0,004

ELC_HORIZ_SUR_CLAVIER			ELC_HORIZ_SUR_CLAVIER		
		Sous-ensemble pour alpha = 0.05		Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
Eblouissant; Confortable	N	1	Artificiel; Naturelle	N	1
T.R. Eblouissant	7	606,00	T.R. Artificiel	22	123,55
T.R. Confortable	24	687,13	Artificiel	11	186,00
Confortable	49	981,39	Naturelle	29	263,72
Eblouissant	16		T.R. Naturelle	38	
Sig.		0,008	Sig.		0,003

ELC_VERT_SUR_Œil_DIRECT+IND			ELC_VERT_SUR_Œil_DIRECT+IND		
		Sous-ensemble pour alpha = 0.05		Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
Artificiel; Naturelle	N	1	Artificiel; Naturelle	N	1
T.R. Artificiel	22	387,36	T.R. Artificiel	22	387,36
Artificiel	11	755,45	Artificiel	11	755,45
Naturelle	29	849,14	Naturelle	29	849,14
T.R. Naturelle	38		T.R. Naturelle	38	
Sig.		0,006	Sig.		0,006

Tableau 5 : Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche saisie du texte sur Pc

Luminance_Moy_Panorma			Luminance_Max		
		Sous-ensemble pour alpha = 0.05		Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
Non Approprié; Approprié	N	1	Désagréable; Agréable	N	1
Non Approprié	4	162,50	T.R. Agréable	32	484,06
Peut Approprié	38	211,18	Agréable	30	541,00
T.R. Approprié	30	268,30	T.R. Désagréable	15	590,33
T.R. Peu Approprié	14		Désagréable	3	683,33
Sig.		0,416	Sig.		0,079

Luminance_moy_Ergorama			Luminance_moy_Ergorama		
		Sous-ensemble pour alpha = 0.05		Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
Non Approprié; Approprié	N	1	Désagréable; Agréable	N	1
T.R. Approprié	30	245,00	T.R. Agréable	32	244,56
Peut Approprié	38	260,58	Agréable	30	292,37
T.R. Peu Approprié	14	312,79	T.R. Désagréable	15	353,27
Non Approprié	4	372,50	Désagréable	3	363,33
Sig.		0,052	Sig.		0,090

Tableau 6: Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche dessin assisté par ordinateur

## Annexes

**ELC\_VERT\_SUR\_SURF\_ECRAN**  
Différence significative de Tukey<sup>a,b</sup>

Eblouissant;Confortable	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05
		1
T.R.Eblouissant	7	295,43
T.R.Confortable	35	1005,20
Confortable	40	1105,25
Eblouissant	15	1752,80
Sig.		0,117

**ELC\_VERT\_SUR\_Œil\_DIRECT+IND**  
Différence significative de Tukey<sup>a,b</sup>

Pas bien définie;Bien définie	N	Sous-ensemble
		1
Peu définie	17	703,53
Bien définie	40	787,03
définie	37	1258,84
Pas définie	3	
Sig.		0,801

**Tableau 7 : Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche dessin assisté par ordinateur**

**ELC\_HORIZ\_SUR\_CLAVIER**  
Différence significative de Tukey<sup>a,b</sup>

Eblouissant;Confortable	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05
		1
T.R.Eblouissant	7	145,71
T.R.Confortable	35	258,26
Confortable	40	305,75
Eblouissant	15	310,80
Sig.		0,337

**Luminance\_moy\_Ergorama**  
Différence significative de Tukey<sup>a,b</sup>

Pas bien définie;Bien définie	N	Sous-ensemble
		1
Pas définie	3	190,00
Bien définie	40	272,55
définie	37	284,19
Peu définie	17	290,53
Sig.		0,291

**Tableau 8 : Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche dessin assisté par ordinateur**

**Luminance\_du\_fond**  
Différence significative de Tukey<sup>a,b</sup>

Pas bien définie;Bien définie	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05	
		1	2
définie	4	29,00	
Peu définie	18	63,00	63,00
Pas définie	33	69,36	69,36
Bien définie	4		209,00
Sig.		0,913	0,094

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont  
a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 6,748.  
b. Les tailles de groupe ne sont pas égales. La moyenne harmonique

**ELC\_VERT\_SUR\_Œil\_DIRECT**  
Différence significative de Tukey<sup>a,b</sup>

Pas bien définie;Bien définie	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05
		1
définie	4	6,00
Pas définie	33	10,58
Peu définie	18	11,81
Bien définie	4	12,50
Sig.		0,057

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont  
a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne  
b. Les tailles de groupe ne sont pas égales. La

**Luminance\_moyen panorama**

**Luminance\_Max**  
Différence significative de Tukey<sup>a,b</sup>

Non Approprié;Approprié	N	Sous-ensemble pour alpha = 0.05
		1
TR.Peu Approprié	18	497,50
Peut.Approprié	13	506,54
Non Approprié	18	528,75
T.R Approprié	2	585,00
Sig.		0,880

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont  
a. Utilise la taille d'échantillon de la moyenne  
b. Les tailles de groupe ne sont pas égales. La

**Luminance\_moyen panorama**

## Annexes

### Luminance\_moy\_Ergorama

Différence significative de Tukey<sup>a,b</sup>

Non Approprié;Approprié	N	Sous-ensemble pour alpha = 0,05	
		1	
Peut.Approprié	16	207,25	
TR.Peu Approprié	26	246,35	
T.R Approprié	9	251,11	
Non Approprié	18	305,28	
Sig.			0,065

Les moyennes des groupes des sous-ensembles

a. Utilisez la taille d'échantillon de la moyenne

b. Les tailles de groupe ne sont pas égales. La

### Luminance\_Moy\_Panorma

Différence significative de Tukey<sup>a,b</sup>

Non Approprié;Approprié	N	Sous-ensemble pour alpha = 0,05	
		1	2
T.R Approprié	9	151,22	
Peut.Approprié	16	231,88	231,88
TR.Peu Approprié	26		307,23
Non Approprié	18		376,94
Sig.		0,508	0,068

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes

a. Utilisez la taille d'échantillon de la moyenne harmonique =

b. Les tailles de groupe ne sont pas égales. La moyenne

### ELC\_VERT\_SUR\_OEIL\_DIRECT+IND

Différence significative de Tukey<sup>a,b</sup>

Floue;Nette	N	Sous-ensemble pour alpha = 0,05	
		1	
T.R.Nette	14	596,79	
T.R.Floue	19	914,21	
Nette	17	1400,12	
Floue	14	1987,64	
Sig.			0,056

Les moyennes des groupes des sous-ensembles

a. Utilisez la taille d'échantillon de la moyenne

b. Les tailles de groupe ne sont pas égales. La

Floue;Nette	N	Sous-ensemble pour alpha = 0,05	
		1	
T.R.Nette	14	596,79	
T.R.Floue	19	914,21	
Nette	17	1400,12	
Floue	14	1987,64	
Sig.			0,056

Les moyennes des groupes des sous-ensembles

a. Utilisez la taille d'échantillon de la moyenne

b. Les tailles de groupe ne sont pas égales. La

### Luminance\_Max

Différence significative de Tukey<sup>a,b</sup>

Pas bien définie;Bien définie	N	0,05	
		1	2
Bien définie	15	376,67	
définie	19	543,16	543,16
Pas définie	24		570,42
Peu définie	12		592,92
Sig.		0,056	0,868

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont

a. Utilisez la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 16,373.

b. Les tailles de groupe ne sont pas égales. La moyenne harmonique

### Luminance\_Max

Différence significative de Tukey<sup>a,b</sup>

Désagréable;Agréable	N	0,05	
		1	2
T.R.Agréable	9	385,56	
Agréable	15	520,67	520,67
Désagréable	14	527,14	527,14
T.R.Désagréable	23		583,70
Sig.		0,172	0,791

Les moyennes des groupes des sous-ensembles homogènes sont

a. Utilisez la taille d'échantillon de la moyenne harmonique = 13,667.

b. Les tailles de groupe ne sont pas égales. La moyenne harmonique

Tableau 10 : Matrices (Qualitatifs/Quantitatifs) pour tâche vision du tableau blanc

## Résumé

De nos jours les standards internationaux d'architecture et de qualité d'espace créés par les concepteurs, accordent une attention de plus en plus importante à l'utilisateur, particulièrement aux sensations approuvées par les usagers, lors de l'exercice des différentes activités affectées à l'espace : bureaux, salles de dessin, bibliothèques, cela sous différents environnements physiques été/hiver, matin/après-midi, etc. Cette grande préoccupation de l'impact de l'environnement bâti sur les occupants à la fois architectural et psychologique, ce traduit par des études approfondies dans le domaine de la psychologie de l'environnement qui visent à comprendre les relations à la fois très importantes et complexes du duo : homme / environnement physique. Notre travail de recherche s'inscrit dans cette même logique, qui vise à étudier et à quantifier l'impact de l'environnement lumineux physique, sur les usagers de l'espace. Notre étude a eu lieu dans les locaux de l'Université de Biskra, qui se situe dans le Sud-Est de l'Algérie, la ville est caractérisée par un ciel mi couvert. L'étude s'est déroulée dans une salle de conception assistée par ordinateur (C.A.O) du département d'architecture de l'Université, cette dernière a une forme de quart de cercle avec un rayon égal à 10 m, la salle est aménagée avec cinq tables hexagonales, qui accueillent six postes de travail chacune, et offrent six diverses orientations, avec un total de trente postes de travail pour l'ensemble de la salle. Afin de varier l'environnement physique « lumineux » de la salle, quatre configurations lumineuses ont été proposées : la première configuration lumineuse utilise exclusivement un éclairage artificiel, la seconde utilise un éclairage mixte (naturel / artificiel) mais en appliquant un complément de vitrage sur les fenêtres, dans la troisième configuration on a un éclairage mixte « la configuration actuellement utilisée de la salle », dans la dernière configuration on a utilisé exclusivement un éclairage naturel. Afin de quantifier et de comprendre pleinement les interactions des sujets avec leur environnement, trois étapes ont été nécessaires. La première consiste à réaliser une série de mesures in-situ dans la totalité des 120 postes des quatre configurations lumineuses de la salle (C.A.O). Ces mesures visent en premier lieu à évaluer exclusivement l'environnement physique, à travers des mesures photométriques des niveaux d'éclairement et de la luminance sur différents points critiques du champ visuel et dans la salle, on a mesuré par exemple l'éclairement sur : les claviers, le plan de travail, les tableaux, sur les yeux, etc., et pour les luminances, on a mesuré: la luminance du fond de la salle, écrans, murs, etc. Parallèlement à la première étape, on a mené une étude d'évaluation qualitative de la salle, qui avait comme objectif d'évaluer la qualité lumineuse et spatiale de la salle avec ces quatre configurations lumineuses et cela à l'aide d'une enquête par questionnaire soumise à 120 étudiants. Pour les besoins de l'étude on a demandé aux étudiants d'exercer différentes tâches visuelles, généralement liées à la salle (C.A.O) tel que : le dessin à l'aide du PC, lecture de schéma sur la table, etc. et pour chacune des activités réalisées par l'étudiant, il avait à remplir une partie du questionnaire qui a été spécialement alloué à l'activité en question. La dernière étape de notre travail a consisté à faire le lien entre les évaluations qualitatives, celles recueillies auprès des usagers à l'aide des questionnaires et les grandeurs photométriques mesurées dans la salle, pour cela nous avons eu recours à un outil de statistique « SPSS 24 », la procédure d'analyse statistique adoptée se divise en deux étapes ; la première consiste à dégager les variables qualitatives et quantitatives significatives « pertinente pour l'étude », pour ensuite former des paires de variables significatives. A la fin, nous avons représenté les résultats obtenus sous forme de modèle graphique 3D, qui schématise le champ visuel humain avec les valeurs de luminances et d'éclairement recommandés pour chaque zone du champ, notre modèle comprend sept modèles graphiques, chacun correspond à une activité demandée à l'utilisateur durant notre étude

## Mots-clefs :

Usagers de l'espace

Les images High Dynamic Range (HDR)

Indices d'éblouissement lumineux

Ambiance lumineuse

Anova test

Enquête par questionnaire