

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MENTOURI. CONSTANTINE

FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE, DE LA GEOGRAPHIE ET DE  
L' AMENAGEMENT DU TERRITOIRE

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

**MEMOIRE DE MAGISTER**  
OPTION : ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE

**THEME**

**IMPACT DE L' ECLAIRAGE NATUREL ZENITHAL SUR  
LE CONFORT VISUEL DANS LES SALLES DE CLASSE**

CAS D' ETUDE :

BLOC DES LETTRES DE L' UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE

Présenté par :

BENHARKAT Sarah

Sous la direction du :

**Dr. SAFFIDINE Djamila**

**Devant le jury d'examen :**

Président :	ZEROUALA M. SALAH	Professeur	Université de Constantine
Examineur :	BOURBIA FATIHA	Maître de Conférences	Université de Constantine
Examineur :	ABDOU SALIHA	Maître de Conférences	Université de Constantine
Rapporteur :	SAFFIDINE DJAMILA	Maître de Conférences	Université de Constantine

**Année Universitaire 2005-2006**

*Je dédie ce travail,*

*A mes Parents*

*A ma Sœur et mon Frère*

*A mon Fiancé et ma Belle-famille*

*A tous ceux qui me sont chers...*

*Sarah*

## Remerciements

*Toute ma reconnaissance à la directrice de thèse Dr. SAFFIDINE Djamilia  
qui a accepté de diriger ce mémoire de Magistère.*

*Je remercie vivement Monsieur le Professeur ZEROUALA M.Salah  
qui a aimablement accepté de présider le jury de mon travail de recherche.*

*Mes chaleureux remerciements au Dr. BOURBIA Fatima,  
qui m'a fait l'honneur d'accepter de me juger.*

*Je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude au Dr. ABDOU Salîha,  
qui a répondu favorablement pour juger ce travail.*

*Mes remerciements vont également :*

*-A Mme BOUCHAHEM Guermia, pour son aide précieuse  
sans laquelle le travail de terrain n'aurait pu être effectué.*

*-Au bureau d'étude de l'Université Mentouri de Constantine et au  
service des moyens généraux,*

*-Au service météorologique de Ain El Bey.*

*Mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin  
à la réalisation de ce travail.*

# **SOMMAIRE**

Liste des figures	VII
Liste des tableaux	XIV
Liste des photos	XVI
Introduction générale	1
Problématique	2
Hypothèses de travail	5

## **Première partie : Approche théorique**

### **Chapitre 1 : L'éclairage naturel dans le bâtiment**

1- Définition de l'éclairage naturel.	7
2- Sources de l'éclairage naturel	8
2.1-Sources lumineuses diurnes directes	9
2.1.1-Sources primaires	9
2.1.2-Sources secondaires	11
2.2-Sources lumineuses diurnes indirectes	11
3-Types d'éclairage naturel	12
3.1-Éclairage zénithal	12
3.1.1- Dispositifs d'éclairage zénithal direct	13
3.1.2- Systèmes d'éclairage zénithal indirect	17
3.2-Éclairage latéral	24
3.2.1-Exigences de l'éclairage latéral	25
3.2.2-Types d'éclairage latéral	26
3.2.3-Dimensionnement des ouvertures latérales	30
3.2.4-Paramètres influençant l'éclairage latéral	31

## **Chapitre 2 : Le climat lumineux**

1- La lumière solaire directe	35
1.1- Mouvement annuel de la terre autour du soleil	36
1.2- Définition de la « durée d'enseulement »	38
1.3- Mouvement diurne de la terre sur elle-même	38
1.4- Trajectoire apparente du soleil sur la voûte céleste	39
1.5- Influence de la latitude sur les conditions d'enseulement	41
1.6- Influence de l'orientation sur les conditions d'enseulement	42
2 -La lumière diffuse du ciel	43
2.1-Modèles de ciels	43
2.1.1- Ciel couvert	44
2.1.2- Ciel clair serein (ou ciel bleu)	46
2.1.3- Ciels intermédiaires	47
2.2-Influence de la couverture nuageuse sur l'éclairage naturel	49
2.3- Influence du type de ciel	51

## **Chapitre 3 : Le confort visuel dans les salles de classe**

1-Impact de la lumière naturelle en milieu scolaire	53
2-Tâches visuelles dans les salles de cours	57
3-Confort visuel dans les salles de cours	57
3.1-Définition du « confort »	57
3.2-Définition du « confort visuel »	58
3.3-Eléments du confort visuel dans les salles de cours	59
3.3.1- Niveau d'éclairage lumineux	61
3.3.2- Uniformité de l'éclairage	65
3.3.3- Eblouissement	67
3.3.4- Ombres portées	72
3.3.5-Rendu de couleur	73
3.3.6-Teinte de la lumière	74

## **Chapitre 4 : Réglementation relative à l'éclairage des salles de classe**

1-Objectifs de la réglementation de l'éclairage	76
2-Outils de la réglementation de l'éclairage	77
2.1- Règlements de construction	77
2.1.1-Lois, décrets et arrêtés	77
2.1.2-Les circulaires, Instructions, Notes	77
2.2- Textes normatifs	78
2.3- Règles techniques	78
3-Réglementations relatives à l'éclairage des salles de cours	78
3.1- Réglementation française	79
3.2- Réglementation belge	87
3.3- Réglementation du Royaume Uni	90
3.4- Réglementation algérienne	92

## **Deuxième partie : Approche pratique**

## **Chapitre 5 : Présentation et description de l'environnement de l'étude**

1- Climat lumineux de Constantine	96
1.1-Conditions d'ensoleillement dans la ville de Constantine	98
1.2-Les conditions de nébulosité à Constantine	101
2- Description de l'environnement de l'étude	104
2.1- Aperçu sur les établissements d'enseignement supérieur (universitaires) en Algérie	104
2.2- Les établissements universitaires à Constantine	106
2.3- Description du campus central de l'Université Mentouri de	

Constantine	108
2.3.1-Composantes du projet	108
2.3.2-Modes d'éclairage naturel	109
3- Choix des salles de cours types	115
4- Description des locaux types	115
4.1-Salle de cours n° 82	115
4.2- Salle de cours n° 59	116
4.3-Salle de cours n° 54-55	116
5- Dispositifs d'éclairage des salles de cours	119

## **Chapitre 6 : Méthodologie et description du travail de terrain**

1- Rappel des hypothèses d'étude	124
2- L'évaluation post occupation	124
2.1- Objectifs de l'évaluation post occupation	125
2.2- Types de l'évaluation post occupation	126
3- L'évaluation post occupation de l'éclairage naturel des salles de cours du bloc des lettres	127
3.1-Collecte des observations objectives de l'environnement physique	128
3.1.1-Les mesures effectuées	128
3.1.2-Choix des points de mesure	129
3.1.3-Instrumentation	130
3.1.4-Choix des journées et des moments de prise des mesures	133
3.1.5-Déroulement des mesures	133
3.1.6-Traitement des données mesurées	134
3.2- Collecte des réponses subjectives des occupants	136

3.2.1-Définition du « questionnaire »	136
3.2.2- La population (l'échantillon)	136
3.2.3- La description du questionnaire	137
3.2.4-La passation du questionnaire	138
3.2.5-Traitement des informations	140

## **Chapitre 7 : Présentation et interprétation des résultats**

1- Présentation et interprétation des résultats des mesures	142
1.1- Période hivernale	142
1.1.1- Ciel Couvert	142
1.1.2- Ciel clair serein	154
1.2- Période d'équinoxe	167
1.2.1- Ciel Couvert	167
1.2.2- Ciel clair serein	175
1.3- Période estivale	189
1.2.1- Ciel Couvert	189
1.2.2- Ciel clair serein	197
1.4- Comparaison entre les trois salles de cours types	210
2-Résultats du questionnaire	221

## **Chapitre 8 : Analyse et discussion des résultats**

1- Analyse quantitative de l'éclairage naturel des salles de cours types	231
1.1- Analyse de l'indicateur « éclairement lumineux »	231

1.1.1- Eclairage horizontal sur plan utile	231
1.1.2- L'éclairage vertical du tableau	234
1.2- Analyse du « facteur de lumière du jour »	235
2- Analyse qualitative de l'éclairage naturel des salles de cours types	236
2.1-Analyse de l'uniformité de l'éclairage naturel	236
2.1.1-l'uniformité de l'éclairage général	236
2.1.2-l'uniformité de l'éclairage naturel du tableau	237
2.2-Analyse de l'éblouissement	237
2.3-Analyse des ombres gênantes	238
3-Discussion	242
3.1-Paramètre « indice de vitrage »	242
3.2-Paramètre « orientation »	242
3.3-Paramètre « occultation »	244
3.4-Paramètre « couleur »	245
<b>Conclusion générale et recommandations</b>	<b>247</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>252</b>
<b>Annexes II</b>	<b>259</b>
<b>Annexes I et III sur CD-ROM</b>	
<b>Glossaire</b>	<b>263</b>

## LISTE DES FIGURES

<b><u>Figure 1.1</u></b> : Sources lumineuses diurnes	9
<b><u>Figure 1.2</u></b> : Rayonnement visible direct	10
<b><u>Figure 1.3</u></b> : Les tabatières	14
<b><u>Figure 1.4</u></b> : Performances lumineuses des tabatières	14
<b><u>Figure 1.5</u></b> : Inclinaison recommandée des tabatières	15
<b><u>Figure 1.6</u></b> : Critères d'uniformité pour les tabatières	15
<b><u>Figure 1.7</u></b> : Dispositifs d'éclairage zénithal direct	16
<b><u>Figure 1.8</u></b> : Composantes des sheds	17
<b><u>Figure 1.9</u></b> : Effet directif des sheds	18
<b><u>Figure 1.10</u></b> : Critères d'uniformité pour les sheds	19
<b><u>Figure 1.11</u></b> : Types de lanterneaux	20
<b><u>Figure 1.12</u></b> : Performances lumineuses des lanterneaux	20
<b><u>Figure 1.13</u></b> : Critères d'uniformité pour les lanterneaux	21
<b><u>Figure 1.14</u></b> : Performances lumineuses du puit de jour	22
<b><u>Figure 1.15</u></b> : Ratio optimal de la hauteur sur la largeur du puit de jour	23
<b><u>Figure 1.16</u></b> : Composants d'un conduit de lumière	24
<b><u>Figure 1.17</u></b> : Performances lumineuses d'un dispositif unilatéral	26
<b><u>Figure 1.18</u></b> : Pénétration approximative de la lumière naturelle	27
<b><u>Figure 1.19</u></b> : Pénétration approximative de la lumière naturelle avec l'usage d'un « light shelf »	28
<b><u>Figure 1.20</u></b> : Dispositifs anidoliques	28
<b><u>Figure 1.21</u></b> : Empreintes de bâtiments éclairés unilatéralement	29
<b><u>Figure 1.22</u></b> : Dispositifs d'éclairage bilatéral et ses performances lumineuses	29
<b><u>Figure 1.23</u></b> : Angle d'exposition au ciel	31
<b><u>Figure 1.24</u></b> : Performance lumineuse des ouvertures latérales en fonction de leur position	32
<b><u>Figure 1.25</u></b> : Performance lumineuse des ouvertures latérales avec angle d'obstruction = 0° et un angle d'obstruction = 45°	33
<b><u>Figure 2.1</u></b> : Mouvement annuel de la terre autour du soleil	36
<b><u>Figure 2.2</u></b> : Variations saisonnières de la déclinaison	37
<b><u>Figure 2.3</u></b> : Coordonnées horizontales du soleil	39

<b><u>Figure 2.4</u></b> : Trajectoire apparente du soleil	39
<b><u>Figure 2.5</u></b> : Diagramme solaire stéréographique - latitude 0°	40
<b><u>Figure 2.6</u></b> : Diagramme solaire cylindrique (latitude °)	41
<b><u>Figure 2.7</u></b> : Variation de l'épaisseur de la couche atmosphérique selon la latitude.	41
<b><u>Figure 2.8</u></b> : Répartition des luminances pour un ciel couvert uniforme	44
<b><u>Figure 2.9</u></b> : Répartition des luminances pour un ciel couvert C.I.E	45
<b><u>Figure 2.10</u></b> : Répartition des luminances pour le modèle d'un ciel clair C.I.E	47
<b><u>Figure 2.11</u></b> : Ciel intermédiaires de M. PERRAUDEAU	48
<b><u>Figure 3.1</u></b> : Eléments du confort visuel	60
<b><u>Figure 3.2</u></b> : Exigences du confort visuel en fonction de la tâche visuelle	60
<b><u>Figure 3.3</u></b> : Variation de l'acuité visuelle en fonction de l'âge	62
<b><u>Figure 3.4</u></b> : Impact du niveau d'éclairage sur la performance visuelle, d'après Baumgardt	63
<b><u>Figure 3.5</u></b> : Variabilité des performances visuelles selon l'éclairage et l'acuité visuelle de la tâche, d'après Weston	65
<b><u>Figure 3.6</u></b> : Zones du champs visuel	67
<b><u>Figure 3.7</u></b> : Cas d'éblouissement indirect dans une salle de cours	70
<b><u>Figure 3.8</u></b> : Usage d'éclairage mixte pour réduire les zones d'ombre	73
<b><u>Figure 4.1</u></b> : Angle critique d'éblouissement	83
<b><u>Figure 4.2</u></b> : Facteurs de réflexion recommandés par l' A.F.E	84
<b><u>Figure 4.3</u></b> : Position recommandée des sources lumineuses	87
<b><u>Figure 4.4</u></b> : Rapports d'éclairage lumineux recommandés	88
<b><u>Figure 5.1</u></b> : Zoning de la disponibilité de la lumière naturelle en Algérie	97
<b><u>Figure 5.2</u></b> : Diagramme solaire polaire de la ville de Constantine- Latitude 36°17'	99
<b><u>Figure 5.3</u></b> : Moyennes mensuelles de la durée d'ensoleillement à Constantine	100
<b><u>Figure 5.4</u></b> : Répartition mensuelle des conditions extrêmes du ciel	101
<b><u>Figure 5.5</u></b> : Répartition mensuelle des conditions les plus extrêmes du ciel	102
<b><u>Figure 5.6</u></b> : Fréquence de variabilité des conditions du ciel pour un jour moyen pour une période de 25 ans	103
<b><u>Figure 5.7</u></b> : Occurrence cumulative de la variabilité des conditions du ciel (1994-1996)	103
<b><u>Figure 5.8</u></b> : Evolution du nombre d'étudiants en Algérie (1997-2005)	105
<b><u>Figure 5.9</u></b> : Evolution du nombre d'enseignants en Algérie (1997-2005)	105

<b><u>Figure 5.10</u></b> : Evolution du nombre d'étudiants à Constantine (1995-2005)	106
<b><u>Figure 5.11</u></b> : Evolution du nombre d'enseignants à Constantine (1995-2005)	106
<b><u>Figure 5.12</u></b> : Plan de masse du campus universitaire Mentouri de Constantine	108
<b><u>Figure 5.13</u></b> : Composantes du campus central Mentouri de Constantine	109
<b><u>Figure 5.14</u></b> : Plans et coupe transversale du bloc des lettres	113
<b><u>Figure 5.15</u></b> : Orientation du bloc des lettres	114
<b><u>Figure 5.16</u></b> : Coupe est-ouest sur le terrain et le bloc des lettres	114
<b><u>Figure 5.17</u></b> : Position des trois salles de cours types du bloc des lettres	115
<b><u>Figure 5.18</u></b> : Plans et coupe des trois salles de cours types du bloc des lettres	117
<b><u>Figure 5.19</u></b> : Caractéristiques géométriques des dispositifs d'éclairage naturel des salles de cours du bloc des lettres	119
<b><u>Figure 5.20</u></b> : Angle d'exposition au ciel des lanterneaux des salles de cours.	120
<b><u>Figure 5.21</u></b> : Les angles d'ombre des masques solaires des lanterneaux verticaux.	120
<b><u>Figure 5.22</u></b> : le masque solaire d'un lanterneau vertical des salles de cours.	121
<b><u>Figure 6.1</u></b> : Grilles de mesures des trois salles de cours types	132
<b><u>Figure 6.2</u></b> : Plans de mesure des éclairagements lumineux	134
<b><u>Figure 7.1</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'hiver à 9 GMT	143
<b><u>Figure 7.2</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'hiver à 9 GMT	144
<b><u>Figure 7.3</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'hiver à 9GMT	145
<b><u>Figure 7.4</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'hiver à 11 GMT	147
<b><u>Figure 7.5</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'hiver à 11 GMT	148
<b><u>Figure 7.6</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'hiver à 11 GMT	149
<b><u>Figure 7.7</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'hiver à 14 GMT	151
<b><u>Figure 7.8</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'hiver à 14 GMT	152
<b><u>Figure 7.9</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert	

d'hiver à 14 GMT	153
<b>Figure 7.10</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'hiver à 9 GMT	155
<b>Figure 7.11</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'hiver à 9 GMT	156
<b>Figure 7.12</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'hiver à 9 GMT	157
<b>Figure 7.13</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'hiver à 11 GMT	159
<b>Figure 7.14</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'hiver à 11 GMT	160
<b>Figure 7.15</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'hiver à 11 GMT	161
<b>Figure 7.16</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'hiver à 14 GMT	163
<b>Figure 7.17</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'hiver à 14 GMT	164
<b>Figure 7.18</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'hiver à 14 GMT	165
<b>Figure 7.19</b> : Pénétration des rayons solaires dans les salles de cours du bloc des lettres au solstice d'hiver (21 Décembre)	166
<b>Figure 7.20</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'équinoxe à 9 GMT	168
<b>Figure 7.21</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'équinoxe à 9 GMT	169
<b>Figure 7.22</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'équinoxe à 9 GMT	170
<b>Figure 7.23</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'équinoxe à 14 GMT	172
<b>Figure 7.24</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'équinoxe à 14 GMT	173
<b>Figure 7.25</b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'équinoxe à 14 GMT	174

<b><u>Figure 7.26</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'équinoxe à 9 GMT	177
<b><u>Figure 7.27</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'équinoxe à 9 GMT	178
<b><u>Figure 7.28</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'équinoxe à 9 GMT	179
<b><u>Figure 7.29</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'équinoxe à 12 GMT	181
<b><u>Figure 7.30</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'équinoxe à 12 GMT	182
<b><u>Figure 7.31</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'équinoxe à 12 GMT	183
<b><u>Figure 7.32</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'équinoxe à 14 GMT	185
<b><u>Figure 7.33</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'équinoxe à 14 GMT	186
<b><u>Figure 7.34</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'équinoxe à 14 GMT	187
<b><u>Figure 7.35</u></b> : Pénétration des rayons solaires dans les salles de cours du bloc des lettres à l'équinoxe (21 Septembre/Mars)	188
<b><u>Figure 7.36</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'été à 9 GMT	190
<b><u>Figure 7.37</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'été à 9 GMT	191
<b><u>Figure 7.38</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'été à 9 GMT	192
<b><u>Figure 7.39</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'été à 14 GMT	194
<b><u>Figure 7.40</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'été à 14 GMT	195
<b><u>Figure 7.41</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'été à 14 GMT	196

<b><u>Figure 7.42</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'été à 9 GMT	198
<b><u>Figure 7.43</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'été à 9 GMT	199
<b><u>Figure 7.44</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'été à 9 GMT	200
<b><u>Figure 7.45</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'été à 12 GMT	202
<b><u>Figure 7.46</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'été à 12 GMT	203
<b><u>Figure 7.47</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'été à 12 GMT	204
<b><u>Figure 7.48</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'été à 14 GMT	206
<b><u>Figure 7.49</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'été à 14 GMT	207
<b><u>Figure 7.50</u></b> : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'été à 14 GMT	208
<b><u>Figure 7.51</u></b> : Pénétration des rayons solaires dans les salles de cours du bloc des lettres au solstice d'été (21 Juin)	209
<b><u>Figure 7.52</u></b> : Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel couvert d'hiver à 9 GMT	210
<b><u>Figure 7.53</u></b> : Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel couvert d'hiver à 14 GMT	211
<b><u>Figure 7.54</u></b> : Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel clair d'hiver à 9 GMT	211
<b><u>Figure 7.55</u></b> : Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel clair d'hiver à 11 GMT	212
<b><u>Figure 7.56</u></b> : Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel clair d'hiver à 14 GMT	213
<b><u>Figure 7.57</u></b> : Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel couvert d'équinoxe à 9 GMT	214

<b><u>Figure 7.58:</u></b> Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel clair d'équinoxe à 9 GMT	215
<b><u>Figure 7.59:</u></b> Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel clair d'équinoxe à 12 GMT	216
<b><u>Figure 7.60:</u></b> Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel clair d'équinoxe à 14 GMT	216
<b><u>Figure 7.61:</u></b> Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel couvert d'été à 9 GMT	217
<b><u>Figure 7.62:</u></b> Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel couvert d'été à 14 GMT	218
<b><u>Figure 7.63:</u></b> Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel clair d'été à 9 GMT	219
<b><u>Figure 7.64:</u></b> Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel clair d'été à 12 GMT	219
<b><u>Figure 7.65:</u></b> Comparaison des FLJ entre les trois salles de cours types sous ciel clair d'été à 14 GMT	220
<b><u>Figure 8.1 :</u></b> Énergie atteignant une fenêtre Est à 36°,17' de latitude nord	243
<b><u>Figure 8.2 :</u></b> Énergie atteignant une fenêtre Sud à 36°,17' de latitude nord	244
<b><u>Figure 9.1 :</u></b> Usage des cloisons internes de couleur claire	248
<b><u>Figure 9.2 :</u></b> Usage des cloisons externes	248

## LISTE DES TABLEAUX

<b><u>Tableau 2.1</u></b> : Classification des types de ciel selon M. Perraudau.	51
<b><u>Tableau 4.1</u></b> : Niveaux d'éclairage en service exigés dans les salles de cours par le Ministère de l'Education Nationale.	80
<b><u>Tableau 4.2</u></b> : Facteurs de réflexions recommandés par le Ministère de l'Education Nationale.	81
<b><u>Tableau 4.3</u></b> : Niveaux d'éclairage moyen recommandés par l'A.F.E pour l'enseignement du premier et second degré.	83
<b><u>Tableau 4.4</u></b> : Facteurs de réflexion recommandés par l'Association Promotelec.	85
<b><u>Tableau 4.5</u></b> : Luminances moyennes recommandées pour les luminaires selon l'angle $\gamma$	86
<b><u>Tableau 4.6</u></b> : Eclairages lumineux recommandés dans les salles de cours (Belgique)	87
<b><u>Tableau 4.7</u></b> : Indices de rendu de couleur recommandés dans les salles de cours.	89
<b><u>Tableau 4.8</u></b> : Températures de couleur recommandées dans les salles de cours.	89
<b><u>Tableau 4.9</u></b> : Coefficients de réflexion recommandés dans les salles de cours.	89
<b><u>Tableau 4.10</u></b> : Valeurs de facteurs de lumière du jour recommandées par C.I.B.S.E pour les locaux d'enseignement.	90
<b><u>Tableau 4.11</u></b> : Prescriptions de la Norme Européenne « EN-12464-1 : éclairage intérieur des lieux de travail » pour les locaux d'enseignement.	91
<b><u>Tableau 5.1</u></b> : Effectifs et capacités totales des infrastructures pédagogiques universitaires de Constantine.	107
<b><u>Tableau 6.1</u></b> : Détermination du nombre minimal de points de mesure en fonction de l'indice du local K.	130
<b><u>Tableau 6.2</u></b> : Répartition des occupants selon le sexe.	139
<b><u>Tableau 6.3</u></b> : Répartition des occupants selon l'âge.	139
<b><u>Tableau 6.4</u></b> : Répartition des occupants selon le groupe d'utilisateur.	140
<b><u>Tableau 7.1</u></b> : Répartition des occupants selon le degré d'appréciation de la présence de la lumière naturelle dans les salles de cours.	221
<b><u>Tableau 7.2</u></b> : Répartition des occupants selon l'appréciation de la lumière solaire directe.	222

<b><u>Tableau 7.3</u></b> : Répartition des occupants selon l’appréciation de la lumière naturelle disponible en hiver dans les salles de cours respectives.	223
<b><u>Tableau 7.4</u></b> : Répartition des occupants selon l’appréciation de la lumière naturelle disponible en été dans les salles de cours respectives.	224
<b><u>Tableau 7.5</u></b> : Exposition des plans de travail aux tâches solaires en fonction des salles de cours.	225
<b><u>Tableau 7.6</u></b> : Répartition des occupants selon la gêne causée par les tâches solaires.	226
<b><u>Tableau 7.7</u></b> : Répartition des occupants selon la gêne causée par réflexion sur tableau.	227
<b><u>Tableau 7.8</u></b> : Répartition des occupants selon le degré d'éblouissement.	228
<b><u>Tableau 7.9</u></b> : Répartition des occupants selon le degré de surchauffe en saison chaude.	229
<b><u>Tableau 7.10</u></b> : Répartition des occupants selon le besoin de protection solaire.	230
<b><u>Tableau 8.1</u></b> : Indicateurs quantitatifs et qualitatifs des conditions d’éclairage naturel au solstice d’hiver.	239
<b><u>Tableau 8.2</u></b> : Indicateurs quantitatifs et qualitatifs des conditions d’éclairage naturel à l’équinoxe.	240
<b><u>Tableau 8.3</u></b> : Indicateurs quantitatifs et qualitatifs des conditions d’éclairage naturel au solstice d’été.	241

## LISTE DES PHOTOS

<b><u>Photo 5.1</u></b> : Pyramide de verre de la salle de lecture.	110
<b><u>Photo 5.2</u></b> : Eclairage latéral de la salle de lecture de la bibliothèque centrale.	110
<b><u>Photo 5.3</u></b> : Eclairage indirect du sous sol de la bibliothèque centrale.	110
<b><u>Photo 5.4</u></b> : Façade latérale de l’auditorium.	111
<b><u>Photo 5.5</u></b> : Protection solaire intérieure de l’auditorium.	111
<b><u>Photo 5.6</u></b> : Façade principale de la tour administrative.	112
<b><u>Photo 5.7</u></b> : Façade Ouest du bloc des lettres.	113
<b><u>Photo 5.8</u></b> : Salle de cours 82.	118
<b><u>Photo 5.9</u></b> : Salle de cours 59.	118
<b><u>Photo 5.10</u></b> : Salle de cours 54-55.	118
<b><u>Photo 5.11</u></b> : Vue sur la toiture du bloc des lettres.	121
<b><u>Photo 5.12</u></b> : Dispositif d’éclairage électrique des salles de cours du bloc des lettres.	122
<b><u>Photo 6.1</u></b> : Luxmètre DVM 1300.	131

La démarche dite « Haute Qualité Environnementale », lancée au début des années 90 et appliquée au secteur du bâtiment, est une réponse à de nouvelles attentes qui sont la lutte à la fois contre le gaspillage des ressources énergétiques de plus en plus rares et contre la brutale accélération des changements climatiques de la planète.

De ce fait, elle permet d'élargir le champ de recherche des solutions les plus performantes en considérant tous les stades de vie et tous les impacts du bâtiment. De même qu'elle projette d'assurer un meilleur contrôle de l'acte de bâtir et se fixe comme objectifs la réalisation de bâtiments neufs et l'amélioration de ceux déjà existants afin qu'ils aient dans leur ensemble des retombés limitées sur l'environnement, quelles que soient leurs destinations. Pour toutes ces raisons, les spécialistes de la HQE ont cherché à intégrer la notion de développement durable dans le secteur du bâtiment afin de contribuer à répondre aux nouveaux défis du XXI<sup>e</sup> siècle.

Selon ces spécialistes : « la haute qualité environnementale des bâtiments correspond aux caractéristiques du bâtiment, de ses équipements (en produits et services) et du reste de la parcelle de l'opération de construction ou d'adaptation du bâtiment qui lui confère l'aptitude à satisfaire les besoins de maîtrise des impacts sur l'environnement extérieur et de la création d'un environnement intérieur confortable et sain. »<sup>1</sup>

Pour être plus opérationnelle, la Haute Qualité Environnementale d'un bâtiment a été décomposée en quatorze (14) exigences particulières, appelées « cibles » et chaque cible a été décomposée à son tour en cibles « élémentaires ». On en dénombre actuellement cinquante deux (52), dont l'ensemble est organisé suivant deux domaines et quatre familles qui sont:

1. Le domaine n°1 vise à maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur et regroupe les cibles d'écoconstruction (Famille 1) et les cibles d'écogestion (Famille 2).
2. Le domaine n°2 vise à produire un environnement intérieur satisfaisant et regroupe les cibles de santé (Famille 3) et les cibles de confort (Famille 4), à savoir le confort hygrothermique, le confort acoustique, le confort olfactif, ainsi que le confort visuel.

Ce dernier, qui constitue la dixième cible de la démarche HQE, a pour objectif d'assurer, non seulement une relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur, mais surtout un éclairage naturel optimal en termes de confort et de dépenses énergétiques, ainsi qu'un éclairage artificiel satisfaisant et en appoint de l'éclairage naturel. Pour les établissements d'enseignement, il est une cible importante puisque le travail scolaire consiste à capter, à retenir et à assimiler une multitude d'informations, dont 65% sont visuelles.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> **Association HQE.** Bâtiment et démarche HQE. Valbonne : ADEME. Avril 2004, p 5.

<sup>2</sup> **Association Française de l'Éclairage.** Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987, p12.

## PROBLEMATIQUE

Durant des millénaires, l'Homme était tributaire de la lumière naturelle qui constituait sa seule source d'éclairage nécessaire pour effectuer les différentes tâches et activités quotidiennes. Avec l'invention de la lampe à Tungstène par l'américain Thomas Alva Edison<sup>1</sup> en 1879 et son succès commercial accumulé dès le début du 20<sup>ème</sup> siècle, l'éclairage électrique associé aux nouvelles technologies, a profondément bouleversé les techniques de construction et considérablement atténué le besoin de disposer de prises de jour pour la pénétration de la lumière naturelle.

Mais aujourd'hui, l'énergie électrique commence à poser de sérieux problèmes en Algérie à cause de la forte demande qu'elle suscite. Il devient donc important d'inciter les citoyens à l'usage rationnel de celle-ci, aussi bien dans les lieux domestiques que dans les espaces de travail, d'enseignement...etc. Ceci est d'autant plus impératif que le « développement durable » exige de minimiser les recours aux énergies non renouvelables tels que le pétrole, le gaz...qui sont appelés à disparaître dans quelques décennies.

En matière d'éclairage, ceci se traduit par une exploitation optimale de la lumière naturelle, mais il se trouve que cette dernière, qui est largement disponible dans notre pays, contrairement à beaucoup d'autres, est très mal sinon insuffisamment exploitée.

Or, comme le souligne la plupart des chercheurs, l'éclairage naturel est recherché et même indispensable à l'Homme car, il joue un rôle très important non seulement dans le domaine de la vision, mais également sur le plan biologique et psychologique des individus. A ce sujet, SELKOWITZ<sup>2</sup> affirme que l'éclairage naturel a non seulement un impact sur l'économie de l'énergie qui peut être bénéfique pour la nation entière, mais il a surtout des bienfaits psychologiques sur les occupants.

De son côté, A. DE HERDE<sup>3</sup> avance que la lumière naturelle procure un rendement visuel accru et qu'elle est plus confortable pour des niveaux d'éclairement inférieurs à ceux apportés artificiellement. Pour cet auteur, la variabilité de la lumière naturelle dans le temps qui peut être considérée comme un désavantage, permet d'établir au contraire, une harmonie avec le monde extérieur et créer une ambiance intérieure plus chaleureuse. D'autre part, son caractère cyclique semble être un facteur important pour l'équilibre

---

<sup>1</sup> « Eclairage électrique » dans *Encyclopédie Encarta* sur CD-ROM, France: Microsoft corporation. 2004.

<sup>2</sup> SELKOWITZ in "Sunlight could perk up kids' grades, store profits", Québec (Canada), Juin 1999 [En ligne] <http://www.orientationsnova.com/frschools.htm> (Page consultée le 8 mai 2004)

<sup>3</sup> DE HERDE, André & al. « Le confort visuel ». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [En ligne] <http://www-energie.arch.ucl.ac.be/eclairage/theorie/ecltheconfortvisuel.htm> (Page consultée le 15 avril 2004)

psychique des gens, de même que les ouvertures par lesquelles elle pénètre, permettent une meilleure communication visuelle avec l'environnement extérieur et une vue au loin, nécessaire au repos de l'œil après une vision rapprochée.

Pour toutes ces raisons, plusieurs recherches ont été élaborées sur l'effet de la lumière naturelle dans les locaux d'enseignement et toutes ont conclu que l'éclairage naturel dans les salles de classe augmente les performances intellectuelles des élèves, crée un environnement intérieur sain et diminue les absences des élèves et des enseignants<sup>4</sup>, car selon L. HESCHONG, « la lumière du jour est une chose très complexe qui affecte notre façon de voir et influence aussi nos processus biochimiques de façon à modifier notre vigilance. »<sup>5</sup>

Il faut toutefois souligner que l'admission de la lumière naturelle dans ce type de locaux doit assurer à la fois le confort visuel des usagers, mais aussi l'économie d'énergie. Pour cela, le choix de la stratégie d'éclairage naturel est très important et doit dépendre du climat lumineux de la région ainsi que des exigences de la tâche visuelle à accomplir dans ces locaux.

Ce qui a attiré notre attention, c'est qu'en Algérie, comme dans beaucoup d'autres pays, nous avons constaté un large usage du système conventionnel d'éclairage unilatéral dans les constructions scolaires et universitaires qui est, de l'avis de J.J. DELETRE<sup>6</sup>, l'un des systèmes optiques les moins performant du point de vue éclairage, notamment lorsqu'il existe des obstructions extérieures et qui, selon G. DE BRIGODE<sup>7</sup>, a démontré depuis fort longtemps ses limites. Ce dispositif demeure pourtant l'un des plus utilisés pour des raisons pratiques mais aussi parce qu'il permet une vue vers l'extérieur. Dj. ROUAG<sup>8</sup> de son côté, dans sa thèse de doctorat traitant des conditions d'éclairage des salles de classe dans les écoles primaires à Constantine, a soulevé les multiples problèmes rencontrés suite à l'usage de ce type de dispositif d'éclairage naturel, à savoir les problèmes d'ensoleillement direct, d'éblouissement et de surchauffe estivale.

---

<sup>4</sup> **Lighting Research Center.** *Guide for daylighting schools.* Raleigh : Innovative Design. 2004, p 4.

<sup>5</sup> **GROUPE HESCHONG MAHON.** *Daylighting in schools: An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance.* Ed. Pacific Gas and Electric Company, U.S.A, Juin 1999, p 64.

<sup>6</sup> **DELETRE, J.J.** *Mémento de prises de jour et protections solaires.* Grenoble : Ecole d'Architecture de Grenoble. 25/11/03, p 2.

<sup>7</sup> **DE BRIGODE, Gérard.** *L'architecture scolaire.* Paris : Presses universitaires de France. 1966, p 35.

<sup>8</sup> **ROUAG, Djamilia.** *Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine.* Thèse de Doctorat, Constantine: Université Mentouri de Constantine, Avril 2001, p 124-127.

Contrairement à l'éclairage latéral, une récente étude du Lighting Research Center<sup>9</sup> aux Etats Unis, a démontré que les dispositifs d'éclairage zénithal indirect testés dans des établissements scolaires, sont plus efficaces dans les salles de classe et favorisent l'économie d'énergie. Face à cet important résultat, la question qui nous est venue à l'esprit c'est de savoir si ces derniers sont aussi performants pour l'éclairage des salles de classe sous un climat lumineux particulier tel que celui de la ville de Constantine. Si la réponse est positive, ils peuvent alors constituer une solution nouvelle à des problèmes très souvent renouvelés dans les bâtiments scolaires et universitaires dans notre pays.

Pour vérifier cela, nous avons choisi comme terrain d'investigation, les salles de cours du bloc des lettres de l'université Mentouri de Constantine qui sont éclairées par des lanterneaux verticaux. A noter que, dans son ouvrage intitulé « Architecture d'été », J.L. IZARD cite ce dispositif comme étant « un exemple de dispositif zénithal intéressant et surtout performant du point de vue à la fois lumineux et thermique ».<sup>10</sup>

### **-Objectif de la recherche:**

L'objectif principale de cette étude est d'évaluer quantitativement et qualitativement, les performances lumineuses du système d'éclairage zénithal indirect des salles de cours du bloc des lettres afin de déceler les différents points positifs et les points négatifs de ce dispositif qui nous permettrons par la suite de proposer d'éventuelles rénovations sur ce bâtiment. Ces évaluations seront effectuées sur la base de différents indicateurs (éclairage lumineux, facteur de lumière du jour, indice d'uniformité, indice de vitrage...) ainsi que sur la réglementation étrangère. Aussi, compte tenu de la rareté voire l'absence de réglementation algérienne dans le domaine<sup>11</sup>, cette évaluation nous aidera à établir une liste de recommandations ou de propositions concrètes pour les futures infrastructures pédagogiques.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons construit une série d'hypothèses qui vont nous aider à mieux cerner le champ de notre problématique. Ces hypothèses sont constituées d'une hypothèse principale qui est :

---

<sup>9</sup>Lighting Research Center. Guide for daylighting schools. Raleigh : Innovative Design. 2004, p 12-13.

<sup>10</sup> IZARD, Jean Louis. Architecture d'été : construire pour le confort d'été. Aix-En-Provence : EDISUD. 1993, p 46.

<sup>11</sup>ROUAG, Djamila. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine, Thèse de Doctorat, Constantine: Université Mentouri de Constantine, Avril 2001, p 13-14.

Le dispositif d'éclairage naturel zénithal mis au point par l'architecte O. Niemeyer dans les salles de cours du campus universitaire Mentouri de Constantine assure le confort visuel des occupants. Il constitue par conséquent une stratégie efficace d'éclairage naturel dans les salles de cours sous le climat lumineux particulier de la région.

Cette hypothèse est en pratique décomposée en trois hypothèses secondaires qui sont:

1. L'orientation Est des ouvertures zénithales est efficace pour l'éclairage des salles de classe sous le climat lumineux de Constantine
2. La couleur des surfaces internes des salles de cours a un impact important sur les conditions d'éclairage naturel.
3. Les usagers des salles de cours, à savoir les étudiants et les enseignants, sont satisfaits des conditions d'éclairage naturel de leur environnement de travail.

### **-Méthodologie et outils de recherche:**

Pour nous aider à confirmer ou à infirmer ces hypothèses, nous avons procédé à une « évaluation post- occupation des lieux » qui est basée sur l'usage de deux outils de recherche qui sont les mesures in situ à l'aide d'instrumentation technique et l'enquête par questionnaire.

Pour ce qui est du premier outil de recherche, nous avons effectué une campagne de mesures des niveaux d'éclairement lumineux dans trois salles de cours type à différents moments de l'année et de la journée, en essayant le plus possible de faire varier les conditions climatiques et les conditions du ciel pour une plus grande fiabilité. Ces mesures ont pour but de décrire la photométrie des locaux sélectionnés et de les comparer aux textes réglementaires et techniques élaborés par les différents organismes spécialisés. Cette comparaison nous permettra de porter un jugement sur l'efficacité du dispositif d'éclairage naturel zénithal.

Quant au second outil d'investigation utilisé, il s'agit d'une enquête de satisfaction basée sur un questionnaire adressé aux usagers des salles de cours types, ceci dans le but de recueillir l'appréciation subjective qu'ils ont des conditions d'éclairage naturel de leur environnement de travail.

Qualifié de cible principale de la démarche de Haute Qualité Environnementale (HQE), l'éclairage naturel présente un double intérêt, où le premier est d'ordre qualitatif car les variations de luminosité suivant les heures de la journée mettent l'architecture en relief et animent l'espace intérieur. Celles-ci fournissent l'information qui fait réagir notre horloge biologique très sensible notamment chez les enfants. De même qu'il permet de voir en spectre continu.

Quant au second intérêt, il est d'ordre économique: en effet, l'éclairage naturel permet de réduire les besoins d'électricité pour l'éclairage, ceci d'une part. D'autre part, il participe à assurer une partie des besoins en chauffage grâce aux apports solaires et à la ventilation naturelle pour éviter la climatisation en été.

Ce chapitre a pour but de définir le concept de l'éclairage naturel et ses sources, mais aussi d'identifier les différents types de « prises de jour » qui permettent la pénétration de la lumière naturelle à l'intérieur des constructions, ainsi qu'aux performances de chacune des techniques, leurs caractéristiques, leurs dimensions ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients afin de pouvoir se prononcer sur l'efficacité lumineuse de chaque dispositif et le meilleur choix à faire en matière d'éclairage naturel.

### **1-Définition de l'éclairage naturel :**

D'une manière générale, l'éclairage naturel est défini comme étant « l'utilisation de la lumière du jour pour éclairer les tâches à accomplir ».<sup>1</sup>

Si le soleil est la source mère de tout type de lumière, techniquement *l'éclairage naturel global* comprend à la fois l'éclairage produit par le soleil, la voûte céleste et les surfaces environnantes<sup>2</sup>.

Cependant, certains spécialistes dans le domaine ont, pendant longtemps, omis de considérer dans leurs définitions et leurs calculs l'éclairage direct provenant du soleil, ne prenant en considération que la lumière diffuse du ciel. Parmi ces spécialistes, nous citerons

---

<sup>1</sup> **W. C. BROWN et K. RUBERG.** «RSB 88 : Facteurs de performance des fenêtres ». Canada.1988 [En ligne] <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/bsi/rsb.html> (Page consultée le 12 octobre 2004)

<sup>2</sup> **MUDRI, Ljubica.** De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris. Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p 1-3.

F. BOUVIER<sup>3</sup> qui le définit comme étant « l'éclairage produit par la voûte céleste et les réflexions de l'environnement, à l'exclusion de l'éclairage direct du soleil ».

P. CHAUVEL<sup>4</sup> de son côté, le décrit comme étant « l'éclairage produit par la voûte du ciel, à l'exclusion de l'éclairage produit par le soleil. Toutefois, dans certains cas, on considère l'éclairage global, mais il doit toujours être précisé que c'est y compris la lumière provenant directement du soleil ou réfléchi par des surfaces ensoleillées. »

Quant à M. GARCIA<sup>5</sup>, il précise que lorsqu'on étudie l'éclairage naturel à l'intérieur des locaux, on prend seulement en compte le rayonnement solaire diffus ; c'est-à-dire la lumière provenant de la voûte céleste, car l'ensoleillement dans un local a des effets lumineux très intenses, mais crée rarement un éclairage fonctionnel.

Cette exclusion du rayonnement direct du soleil est approuvée lorsque la région d'étude se caractérise par une fréquence quasi absolue de ciel couvert qui masque totalement le disque solaire, comme c'est le cas aux Royaume Unis par exemple. Mais ceci est inadmissible dans une région caractérisée par un ciel clair, où le soleil brille une bonne partie de l'année, comme par exemple dans les régions tropicales et subtropicales (notamment en Algérie).

## **2-Sources de l'éclairage naturel**

Avant de répertorier les sources de l'éclairage naturel, voyons d'abord la définition du mot « source ». Du point de vue de la physique, une source est « un convertisseur qui transforme une énergie en un rayonnement »<sup>6</sup>. Comme nous le savons, l'Homme est exposé à une grande variété de sources d'énergie naturelles qui émettent un rayonnement sur plusieurs bandes du spectre électromagnétique. Pour cela, il est indispensable de les classer car comme il existe des « *sources lumineuses nocturnes* », qui émettent un rayonnement électromagnétique durant la nuit et sont à l'origine de la vision dite « scotopique », tel que la lune et les étoiles ; il existe également des « *sources lumineuses*

---

<sup>3</sup> BOUVIER, François. « Eclairage naturel », *Technique de l'ingénieur*, Vol. C6, n°C 3 315, Paris (1981), p 6.

<sup>4</sup> CHAUVEL.P & DERIBERE. M. L'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment. Paris: Eyrolles. 1968, p61.

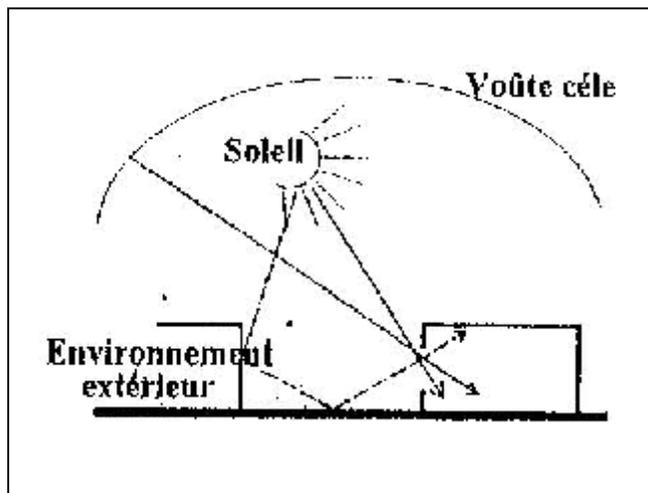
<sup>5</sup> GARCIA, M in THIRY, Raymond. Eclairage naturel dans le bâtiment. Marseille: Ecole d'Architecture de Marseille- Luminy, p5.

<sup>6</sup> « Les sources primaires et les sources secondaires de la lumière » dans Encyclopédie ENCARTA sur CD-ROM , Paris: Encyclopédie Ecarta.2004.

diurnes » (Figure 1.1) qui émettent un rayonnement électromagnétique pendant la journée et sont à l'origine de la vision dite « photopique ».

**Figure 1.1 : Sources lumineuses diurnes.**

Source : A. BELAKHAL et K. Tabet AOUL, 2003.



Pour ce qui nous concerne, nous nous intéresserons dans cette étude uniquement aux sources lumineuses diurnes qui permettent à l'être humain de percevoir clairement son environnement et d'accomplir les différentes tâches et activités qui rythment sa vie.

Ainsi, nous avons classé les sources de la lumière diurne en deux catégories : les sources directes et les sources indirectes.

**2.1-Sources lumineuses diurnes directes**

Parmi les sources lumineuses diurnes directes, nous distinguons une source primaire qui est le soleil et une source secondaire représentée par la voûte céleste.

**2.1.1-Source primaire**

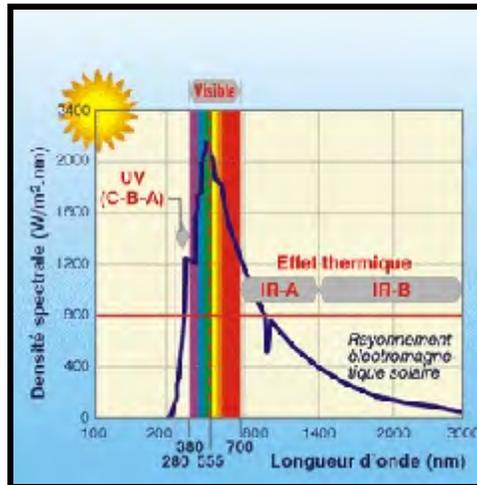
La « **source primaire** » est une source de lumière qui émet de la lumière qu'elle a elle-même produite. Elle est visible et isolée de toute autre source lumineuse.<sup>7</sup> Le Soleil est une source primaire de la lumière naturelle diurne et il est à l'origine du rayonnement visible direct (figure 1.2) appelé « lumière solaire ». Quant à cette dernière, elle est définie

<sup>7</sup>« Les sources primaires et les sources secondaires de la lumière » dans Encyclopédie ENCARTA sur CD-ROM, France : Microsoft Corporation.2004.

par J. BELL et W. BURT comme étant « la partie de l'irradiation solaire qui atteint la surface terrestre sous forme de rayons parallèles et qui résulte d'une atténuation sélective par l'atmosphère »<sup>8</sup>.

**Figure 1.2 : Rayonnement visible direct.**

Source : A. DE HERDE & al. [www-energie.arch.ucl.ac.be]



Cette composante de la lumière naturelle est prépondérante sous un ciel clair et dispense un flux considérable qui s'avère facile à capter et à diriger, de même qu'elle présente une dynamique intéressante et peut être utilisée en tant qu'énergie lumineuse et thermique.

Par contre, le rayonnement solaire direct est souvent une source d'éblouissement et parfois de surchauffe du bâtiment. En plus, sa disponibilité est épisodique et dépend de l'orientation des ouvertures et du type du climat lumineux. D'autre part, la lumière solaire qui est une lumière directive donne des ombres propres et portées très contrastées qui peuvent être souvent gênantes pour l'exécution d'une tâche visuelle pointue. Tous ces paramètres doivent être pris en considération lors de la conception d'un projet d'éclairage naturel afin d'aboutir à une stratégie à la fois efficace et économique.

<sup>8</sup> J. BELL & W. BURT in ROUAG, Djamila. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse de Doctorat. Constantine : Université Mentouri, Avril 2001, p 143.

### **2.1.2-Sources secondaires**

Une « **source secondaire** » est une source de lumière qui n'est visible que lorsqu'elle est éclairée par une source primaire<sup>9</sup>, telle la voûte céleste qui est éclairée par le rayonnement solaire dont une partie (environ 25%), qui est absorbée et réémise par l'atmosphère, constitue ce que les spécialistes appellent **la lumière diffuse du ciel**.

Selon J. BELL et W. BURT: « la lumière du ciel est la partie de l'irradiation solaire qui atteint la surface terrestre et qui résulte de la diffusion par l'atmosphère ». <sup>10</sup>

L'avantage de la lumière diffuse du ciel est qu'elle est disponible dans toutes les directions, suscite peu d'éblouissement et ne provoque pas de surchauffe. Elle crée peu d'ombres et de très faibles contrastes mais elle peut être considérée comme insuffisante dans de nombreux cas notamment sous les conditions du ciel couvert en hiver.

De l'avis de L. MUDRI<sup>11</sup>, les répartitions spectrales de la lumière solaire et de la lumière diffuse par le ciel sont différentes à cause des composantes de ces deux sources. En effet, la voûte céleste est composée d'un voile plutôt uniforme et de nuages, qui sont des formations non uniformes et variables, qui sont à l'origine de la composition spectrale du rayonnement diffus. Ainsi, la luminosité du ciel et la qualité de la lumière qu'il émet dépendent essentiellement de la composition de l'atmosphère, de son épaisseur, de la présence de particules en suspension...etc. (voir chapitre 2, « Climat lumineux »)

### **2.2-Sources lumineuses diurnes indirectes**

Les corps environnants ne sont perceptibles par l'œil et n'émettent en gamme du visible que s'ils sont portés à une température élevée, ou bien s'ils *réfléchissent*, *diffractent* ou bien *diffusent* les rayonnements visibles qui les éclairent.

Tous les corps opaques excepté les corps noirs, interceptent le rayonnement solaire et le réfléchissent mais la quantité de la lumière réfléchie, dépend du facteur de réflexion de la

---

<sup>9</sup>« Les sources primaires et les sources secondaires de la lumière » dans Encyclopédie ENCARTA sur CD-ROM, France : Microsoft Corporation.2004.

<sup>10</sup> J. BELL & W. BURT in ROUAG, Djamila. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse de Doctorat. Constantine : Université Mentouri, Avril 2001, p 143.

<sup>11</sup> MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002. p 1-4.

surface, c'est-à-dire de son albédo. Quant à la couleur de la lumière réémise, elle correspond à la couleur de l'objet (si l'objet est éclairé en lumière blanche).

### **3-Type d'éclairage naturel**

Le type d'éclairage naturel est défini par la position des prises de jour qui le procure et qui peuvent être placées soit en façade (éclairage latéral), soit en toiture (éclairage zénithal), soit les deux à la fois. Mais leurs fonctions restent les mêmes. La prise de jour est cependant un des plus complexe et coûteux composants du bâtiment à cause du grand nombre de rôles contradictoires qu'elle doit jouer tels que l'éclairage et l'occultation, la vue sur l'extérieur et la recherche d'intimité, la pénétration du soleil et la protection solaire, et enfin, l'étanchéité et la ventilation.

En effet, il a toujours été difficile de répondre à toutes ces demandes et certaines priorités dominent chaque conception ; car en plus des qualités techniques nécessaires pour assurer le confort thermique, visuel et parfois acoustique, la prise de jour doit définir l'organisation de l'espace intérieur et situer l'entrée de la lumière naturelle.

Par conséquent, il est préférable lors de la conception des ouvertures de séparer la fonction « visuelle » qui est la vue vers l'extérieur, des fonctions « énergétiques » de la fenêtre qui comprend l'éclairage, le chauffage et la ventilation, puisque la conception d'une prise de jour adaptée à une fonction, n'est probablement pas adaptée aux besoins des autres.

#### **3.1-Eclairage zénithal :**

D'après C. TERRIER et B. VANDEVYVER<sup>12</sup>, le recours à l'éclairage zénithal est indispensable pour les constructions dont la hauteur sous plafond est supérieure à 4,50 mètres. Quant aux locaux de hauteur intermédiaire, de 3 mètres à 4,50 mètres, le choix dépend d'autres caractéristiques à l'image de la profondeur, la largeur et la forme du bâtiment. Si la profondeur du bâtiment par exemple est importante par rapport à la hauteur du local, l'éclairage zénithal sera indispensable afin d'assurer une distribution uniforme des éclairagements intérieurs.

---

<sup>12</sup>TERRIER. Christian et VANDEVYVER. Bernard. "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, *Travail et Sécurité*, (Mai 1999), p1 [En ligne] [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) (Page consultée le 21 septembre 2004)

Mais rappelons que cette technique demande de grandes exigences qui doivent prendre en compte simultanément quatre impératifs majeurs qui sont les suivants:

1. Il faut assurer un éclairage naturel suffisant dans les locaux de moyenne et de grande hauteur. Pour atteindre cet objectif, la surface des parties transparentes ou translucides est l'élément essentiel.
2. Il faut éviter les effets négatifs de l'éblouissement et du rayonnement solaire direct.
3. Il faut prévoir le nettoyage intérieur et extérieur dans des conditions de sécurité satisfaisantes par un choix approprié des matériaux (vieillessement, résistance...) et des accès aux faces intérieures et extérieures.
4. Enfin, il faut assurer l'évacuation des fumées en cas d'incendie. La surface minimale des exutoires de fumée doit être de 1 % de la surface du local et ne doit pas être située exclusivement sur la toiture<sup>13</sup>.

D'autre part, les systèmes d'éclairage zénithal peuvent procurer de la lumière naturelle soit directement ou indirectement. Pour ce qui est des systèmes d'éclairage zénithal direct, ils sont composés uniquement d'une ouverture percée dans la toiture. Tandis qu'un système d'éclairage zénithal indirect est composé de deux parties : une ouverture qui capte la lumière naturelle et un système de distribution qui réfléchit ou diffuse cette lumière.

### **3.1.1- Dispositifs d'éclairage zénithal direct**

#### **-Les tabatières (ou skylights)**

Selon J.J. Delétré<sup>14</sup>, la tabatière (Figure 1.3) constitue le système d'éclairage naturel direct le plus performant : elle procure de 3 à 5 fois plus de lumière à surface équivalente qu'un vitrage vertical car, disposée horizontalement, elle est exposée à une plus grande portion du ciel visible à partir de l'intérieur du local, sans aucune obstruction et dont la luminance est plus élevée. Elle procure de la même manière, un éclairage intérieur uniforme.

---

<sup>13</sup> **TERRIER. Christian** et **VANDEVYVER. Bernard**. "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, *Travail et Sécurité*, (Mai 1999), p4 [En ligne] [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) (Page consultée le 21 septembre 2004)

<sup>14</sup> **DELETRE, J.J.** Mémento de prises de jour et protections solaires. Grenoble: Ecole d'Architecture de Grenoble, 2003, p 2.

**Figure1.3: Les tabatières (Skylights)**

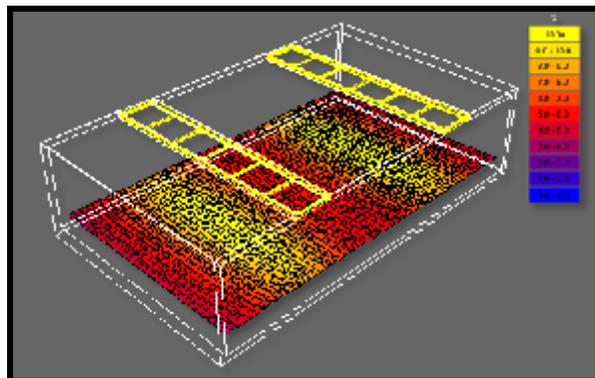
Source : [www.squ1.com]



La figure1.4 indique clairement que les valeurs de facteurs de lumière du jour obtenues grâce à ce dispositif sont très élevées et sont enregistrées à la surface du plancher se situant directement sous les prises de jour, tandis que les plans verticaux des deux extrémités du local sont moins éclairés.

**Figure 1.4 : Performances lumineuses des tabatières.**

Source : [www.squ1.com]



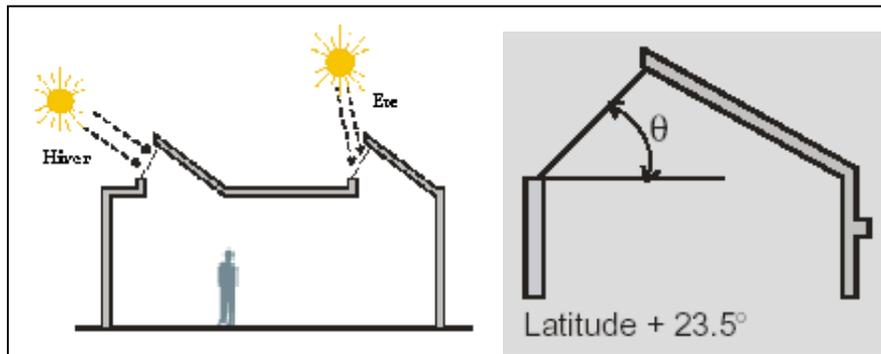
Par contre, si la tabatière est mal conçue, elle va créer plus de surchauffe l'été, car une paroi horizontale reçoit en cette saison, en raison des altitudes solaires importantes, près de deux fois plus de chaleur qu'une façade verticale orientée Sud (sous les latitudes moyennes). Elle favorise également les déperditions de chaleur par convection et par conduction pendant la nuit et en hiver plus que les autres systèmes d'éclairage.

Pour ces raisons, la conception d'un tel système d'éclairage naturel doit être accompagné d'un système de contrôle solaire performant, surtout dans les climats chauds, afin de limiter à la fois les surchauffes estivales et les déperditions hivernales ainsi que le phénomène d'éblouissement. L'emploi de vitrage diffusant, par exemple, réduit ces risques, mais fait perdre la plupart des bienfaits psychologiques de la connexion visuelle des occupants avec

le ciel<sup>15</sup>. Une autre solution consiste à incliner les vitrages vers le Nord ou vers le Sud afin de collecter plus de lumière l'hiver et moins en été, en sachant que pour une orientation Sud, l'inclinaison doit être supérieure à la latitude du site + 23,5° (Figure 1.5)<sup>16</sup>.

**Figure 1.5 : Inclinaison recommandée des tabatières.**

Source : I. PASINI et al, 2002.

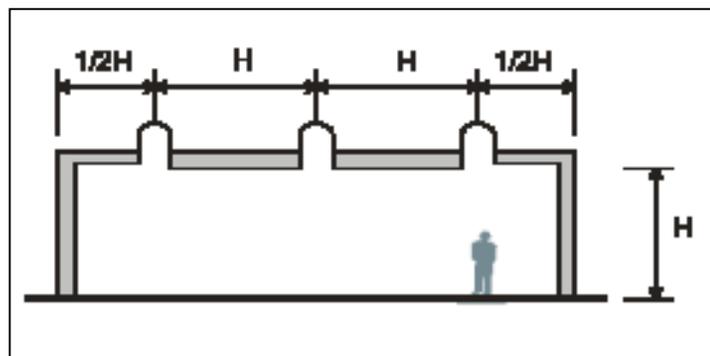


Il faut signaler aussi que ce système d'éclairage naturel est le système le plus coûteux et à la fois le moins isolant, à cause des exigences du montage: ce paramètre joue un rôle très important dans leur performance.

Pour des raisons d'uniformité de l'éclairage, l'espacement des tabatières doit être égale à la hauteur sous plafond du local, comme le montre la Figure 1.6.

**Figure 1.6 : Critères d'uniformité pour les tabatières.**

Source : I. PASINI et al, 2002.



<sup>15</sup>SCHILER, Marc. *Simplified design of building lighting*. New York-Chichester- Weinheim- Brisbane-Toronto-Singapore: John Wiley & Sons .INC, 1992, p 89.

<sup>16</sup> PASINI, Ivan et al. *Daylighting guide for Canadian commercial buildings*. Ontario: Travaux Publics et Services Gouvernementaux. Canada, Août 2002, p 34.

### -Les dômes :

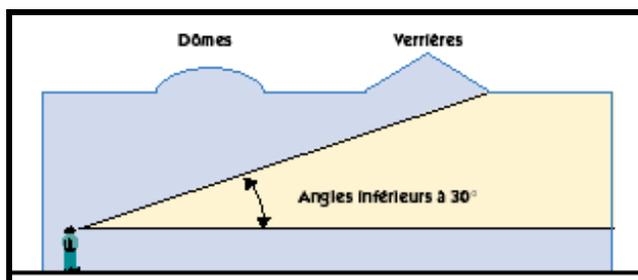
Économiques, les dômes ne nécessitent pas de structure lourde et ils permettent d'atteindre l'objectif en termes de facteur de lumière du jour direct avec une surface d'environ 10 % d'indice de vitrage<sup>17</sup>. Cependant, ils n'évitent pas la pénétration solaire et, en conséquence, l'éblouissement. Pour empêcher l'éblouissement des occupants, les dômes ne doivent pas être dans un angle de 30° au-dessus de l'horizontale<sup>18</sup> (Figure 1.7). Ceci peut être obtenu en les équipant de costières surélevées et de garde-corps. Les gains de chaleur ainsi que les déperditions calorifiques sont également très importants. Il faut donc penser à les munir de systèmes de protection solaire performants.

### - Les verrières :

L'architecture moderne utilise abondamment les verrières, notamment pour les halls d'accueil et les grandes surfaces. Elles peuvent être horizontales ou inclinées et sont économiques à la construction. Elles sont recommandées particulièrement dans le cas de présence d'obstacles extérieurs élevés qui gêneraient éventuellement l'éclairage naturel intérieur.

#### Figure 1.7 : Dispositifs d'éclairage zénithal direct.

Source : C. TERRIER et B. VANDEVYVER, 1999 [www.inrs.fr]



Ces trois dispositifs d'éclairage zénithal direct (tabatières, dômes et verrières), performant du point de vue éclairage, présentent de nombreux inconvénients, notamment un apport solaire important lié à la surface du vitrage, des problèmes d'étanchéité et une difficulté de nettoyage et d'entretien (extérieur et intérieur) qui pourrait réduire leur efficacité, surtout pour les surfaces horizontales (dépôt de poussière).

<sup>17</sup> TERRIER. Christian et VANDEVYVER. Bernard. "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, *Travail et Sécurité*, (Mai 1999), p3 [En ligne] [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) (Page consultée le 21 septembre 2004)

<sup>18</sup> Idem.

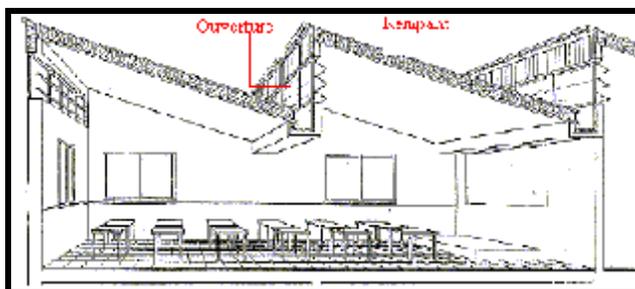
### **3.1.2-Systèmes d'éclairage zénithal indirect**

#### **-Toitures en dents de scie (ou sheds)**

Les sheds sont constitués d'une surface transparente ou translucide appelée « ouverture » qui collecte la lumière naturelle pour la faire pénétrer à l'intérieur d'un local, et d'une surface opaque inclinée appelée « rampant » faisant face au rayonnement lumineux et qui a pour rôle de distribuer la lumière du jour à l'intérieur du local (Figure 1.8).

**Figure 1.8 : Composantes des sheds (Collège d'Estagel- France).**

Source : [www.outilssolaires.com]



Les sheds qui ont fait leur apparition au tournant du siècle précédent en Europe dans les bâtiments industriels puis en Amérique en 1930<sup>(19)</sup>, sont largement utilisés à présent dans les constructions scolaires. Ce système constitue la meilleure solution pour l'éclairage naturel en procurant de la lumière indirectement car il permet de concilier un éclairage suffisant, homogène (une répartition des sheds sur toute la toiture permet une homogénéité de l'éclairage) et une limitation des apports solaires en jouant sur l'orientation et l'inclinaison du vitrage. Ils permettent aussi de couvrir des espaces de grandes portées tout en bénéficiant des avantages des vitrages verticaux ou peu inclinés.

Les vitrages des sheds peuvent en effet être verticaux et inclinés à 45 ° ou à 60 ° par rapport à l'horizontale, en prenant en considération que plus le vitrage se rapproche de la verticale, plus sa surface doit être importante pour un facteur de lumière du jour directe équivalent. Il est donc plus économique d'avoir un vitrage incliné qui évitera le rayonnement direct sur le plan de travail. D'après C. TERRIER et B. VANDEVYVER<sup>20</sup>, une inclinaison de 60° permet d'éviter totalement ce rayonnement, même en été. Tandis qu'une inclinaison de 45°

<sup>19</sup> SCHILER, Marc. *Simplified design of building lighting*, New York-Chichester- Weinheim- Brisbane-Toronto-Singapore: John Wiley & Sons .INC, 1992, p 89.

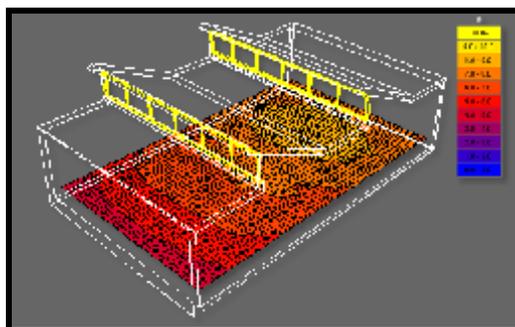
<sup>20</sup> TERRIER, Christian et VANDEVYVER, Bernard. "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, *Travail et Sécurité*, (Mai 1999), p3 [En ligne] [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) (Page consultée le 21 septembre 2004)

est acceptable, mais moins favorable que la première à cause du rayonnement direct du soleil au zénith, en été.

L'inconvénient majeur des sheds consiste à une « directivité » prononcée de la lumière du jour (c'est-à-dire que les rayons lumineux se propagent dans une seule direction déterminée par la forme du shed) dûe à la mono exposition du vitrage. Ainsi, et comme le montre la figure 1.9, la moitié du local faisant face aux vitrages enregistre des valeurs d'éclairement supérieures à l'autre moitié, car elle reçoit la lumière directe du ciel pénétrant à travers les vitrages. L'autre moitié est de plus en plus sombre au fur et à mesure qu'on se rapproche du mur de l'extrémité : le plan vertical à gauche, situé sous la partie opaque du dernier shed, ne reçoit pas de lumière directe du ciel et ne peut être éclairé que par les réflexions internes du local.

**Figure 1.9: Effet directif des sheds.**

Source : [www.squ1.com]



Or, pour réduire au maximum les effets directifs de la lumière du jour, A. VANDENPLAS<sup>21</sup> souligne que le vitrage des sheds doit de préférence être orienté au Nord afin de procurer de la lumière diffuse du ciel sans aucune pénétration solaire directe. Une autre solution consiste à utiliser près des murs, dans le sens de la longueur, là où l'éclairement est plus faible, des vitrages latéraux ou bien de petites ouvertures percées dans la partie opaque du shed. Si cela n'est pas possible, les vitrages doivent être inclinés de 60° sur l'horizontale pour recevoir plus de lumière.

En ce qui concerne l'effet des ombres portées sur les plans de travail, il peut être atténué en utilisant des verres diffusants et en peignant les rampants des sheds de couleur claire.

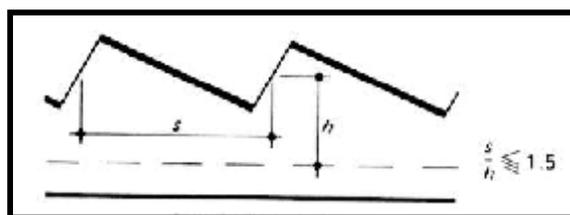
<sup>21</sup> A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel. L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964, p124.

Il existe d'autres dispositifs du type de sheds tels que les **mini sheds** et les **sheds-lanterneaux** qui évitent l'ensoleillement direct si la partie vitrée est dirigée vers le nord et ont les avantages des sheds pour un prix et un poids équivalents à ceux d'un lanterneau ou d'une coupole. Le vitrage est incliné de  $80^\circ$  à  $45^\circ$  par rapport à l'horizontale, selon les modèles. Ils peuvent intégrer une fonction d'aération et de désenfumage.

Selon les règles empiriques fixant les proportions à donner aux sheds et garantissant l'uniformité de l'éclairage, la largeur d'un shed doit être inférieure au double de la hauteur sous plafond du local à éclairer.<sup>22</sup> D'autre part, S. SZOKOLAY<sup>23</sup> indique que le rapport du pas des sheds (S), à la hauteur moyenne des vitrages (h), doit être inférieur ou égale à 1,5 (Figure 1.10).

**Figure 1.10 : Critères d'uniformité pour les sheds.**

Source : S. SZOKOLAY, 1980.



### -Lanterneaux

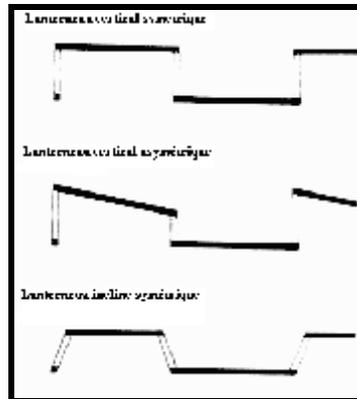
Les lanterneaux sont constitués de surélévations de la toiture totalement ou partiellement translucides. Ils peuvent se présenter sous différentes formes (Figure 1.11) tels que: le lanterneau symétrique vertical, le lanterneau asymétrique, le lanterneau symétrique incliné...etc.

<sup>22</sup> A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964, p124.

<sup>23</sup> SZOKOLAY, Steve. Environmental science handbook: for architects and builders. Lancaster-London-New York: The Construction Press, 1980, p105.

**Figure 1.11 : Types de lanterneaux.**

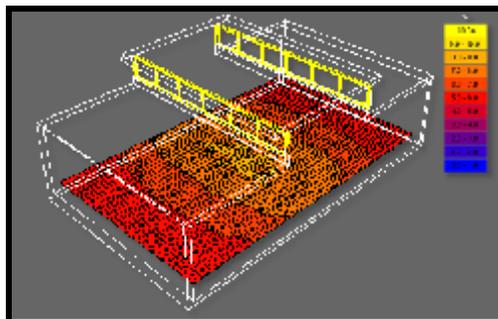
Source : CIBSE, 1987.



L'avantage de ce type de système d'éclairage naturel indirect c'est qu'il supprime l'effet directionnel de la lumière du jour que nous rencontrons avec les sheds, grâce à la pénétration de la lumière selon deux (bi exposition des vitrages) ou plusieurs directions à la fois. Ainsi, et comme le montre la figure 1.12, la distribution des facteurs de lumière du jour est symétrique par rapport à l'axe du lanterneau. Le centre du local enregistre les valeurs maximales de FLJ et les deux extrémités sont éclairées à peu près de la même manière car elles reçoivent toutes les deux la lumière direct du ciel à travers les deux vitrages, en plus des réflexions internes des parois opaques.

**Figure 1.12: Performances lumineuses des lanterneaux.**

Source : [www.squ1.com]



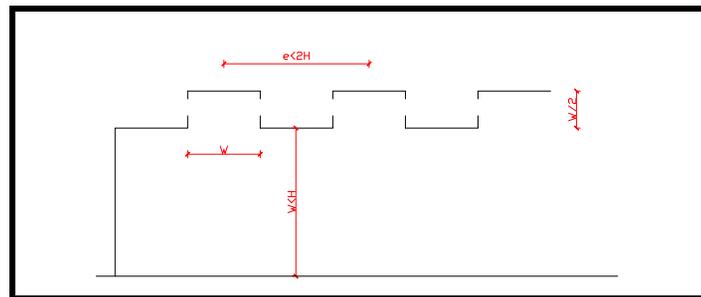
Une orientation préférentielle Nord-Sud et l'usage de matériaux diffusants auront pour avantage de réduire les effets thermiques et des saillies du côté Sud peuvent être utilisé pour le contrôle solaire en été.

Pour éviter les zones sombres sur les parties opaques des lanterneaux, dont l'effet est de produire une ambiance triste et déplaisante, il est recommandé de peindre les parties opaques de la toiture en couleurs claires faciles à entretenir, ainsi que les sols. Il faut également éviter autant que possible l'ensoleillement direct des parties vitrées afin d'éviter l'éblouissement des occupants. Pour cela, les sources lumineuses ne doivent pas être situées dans des angles inférieurs à  $30^\circ$  de la direction naturelle du regard<sup>24</sup>.

Pour des exigences d'uniformité de l'éclairage, A. VANDENPLAS<sup>25</sup> recommande que la hauteur du lanterneau soit égale à la moitié de sa largeur ( $w$ ); et son pas ( $e$ ) ne doit pas dépasser le double de sa largeur, avec une hauteur sous plafond ( $H$ ) toujours supérieure à sa largeur ( $w$ ). D'autre part, F. BOUVIER<sup>26</sup> indique que le rapport du pas des lanterneaux ( $e$ ), à la hauteur moyenne des vitrages ( $h$ ) doit être inférieur ou égale à 2 (Figure 1.13).

**Figure 1.13 : Critères d'uniformité pour les lanterneaux.**

Source : Auteur.



### **-Puits de jour**

L'utilisation des puits de jour (patio, cour intérieure et atrium) pour éclairer et pour ventiler les pièces sans ouverture directe sur l'extérieur, remonte à très loin dans l'histoire de l'architecture. C'est une conséquence de la densité du bâti dans la plupart des villes anciennes. La performance énergétique de ces dispositifs est complexe car elle dépend, d'après A. BELAKEHAL et K. TABET AOUL<sup>27</sup>, de leur géométrie (forme, rapport entre

<sup>24</sup> Société Saint Gobain. *Les verres et le rayonnement naturel*. Paris : Saint-Gobain, p29.

<sup>25</sup> A. VANDENPLAS. *Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications*. Bruxelles : S.I.C, 1964, p124.

<sup>26</sup> BOUVIER, François. « Qualité de l'éclairage naturel ». *Technique de l'ingénieur*. Vol. C6, n° C 3 316, Paris (1981), p3.

<sup>27</sup> A. BELAKEHAL et K. TABET AOUL. « L'éclairage naturel dans le bâtiment, référence aux milieux arides à climat chaud et sec ». *Courrier du Savoir*, n°04, Biskra : Université Mohamed Khider (Juin 2003), p5.

la hauteur et la largeur), des propriétés de leurs surfaces verticales et horizontales (surtout la couleur), de la proportion de fenêtres dans les murs de séparation, de leur orientation et de la qualité du vitrage utilisé (soit pour la couverture ou bien pour les fenêtres latérales).

Par contre leur inconvénient réside dans le fait que la quantité de lumière naturelle disponible aux niveaux des différents étages organisés autour d'eux, diminue au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'ouverture du ciel, comme l'indique la Figure 1.14.

**Figure 1.14: Performances lumineuses du puit de jour.**

Source : [www.squ1.com]



Pour cela, la partie opaque supérieure de ces systèmes doit avoir un facteur de réflexion élevé pour permettre, en particulier pour les étages inférieurs, une pénétration importante de la lumière. Mais ceci peut conduire à créer des protections contre l'éblouissement dans les parties hautes. De même, l'inclinaison des murs du puit de jour (par exemple de  $10^\circ$ ) permet également un accroissement important de la lumière, car la composante directe augmente.<sup>28</sup>

En ce qui concerne le dimensionnement des puits de jour, les spécialistes recommandent que le ratio de la hauteur sur la largeur de ce type de système d'éclairage zénithal indirect ne doit pas être supérieure à 2/1 pour qu'il soit efficace car un puit de jour trop profond

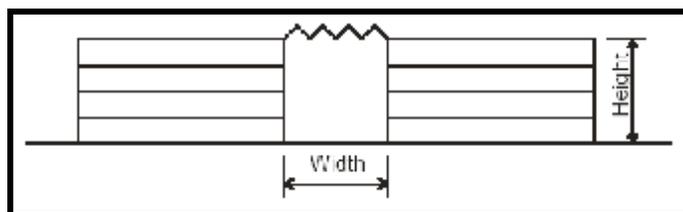
---

<sup>28</sup> **DE HERDE, André et al.** « Choix de l'atrium ». Université Catholique de Louvain-La-Neuve [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be/facade/concevoir/frames/cbfacconchoixatrium.htm](http://www-energie.arch.ucl.ac.be/facade/concevoir/frames/cbfacconchoixatrium.htm) (Page consultée le 25 février 2005)

suscitera des problèmes d'éclairage dans les niveaux inférieurs<sup>29</sup>. Cependant, une augmentation de sa largeur aura pour effet d'accroître considérablement la quantité de lumière naturelle dans les pièces mitoyennes. Selon I. PASINI et al<sup>30</sup>, le ratio optimal est égal à 1 (Figure 1.15).

**Figure 1.15: Ratio optimal de la hauteur sur largeur du puit de jour.**

Source : I. PASINI, 2002.



**-Conduits de lumière ou « Light pipes »**

Les conduits de lumière sont le système d'éclairage naturel le plus sophistiqué à cause des longues distances sur lesquelles ils peuvent opérer. En principe, ils collectent, dirigent, et canalisent la lumière solaire vers n'importe quel espace d'un bâtiment. Ce système est constitué de trois composants principaux (Fig.1.16):

1. Collecteur/concentrateur, connu sous le nom d'« héliostat ».
2. Un système de transport dont les surfaces internes ont une grande réflectivité.
3. Un émetteur.

Leur efficacité est toutefois réduite par l'absorption au niveau des parois du système de transport (tuyau) car la lumière est réfléchi plusieurs fois lors de son parcours dans ce dernier. Selon K. ROBERTSON<sup>31</sup>, cette perte de lumière est proportionnelle au ratio longueur- largeur du tuyau car plus la lumière est déviée, plus l'absorption est importante.

Il existe cependant de nombreux types de conduit de lumière qui vont du simple « tube réfléchissant » fixe (canon à lumière), à des systèmes mobiles sophistiqués liés à des concentrateurs et à un pilotage par ordinateur.

Pour être un véritable système d'éclairage, les collecteurs doivent être orientés du côté du soleil et capter directement la lumière solaire. Ils sont donc réservés à des régions où le ciel

<sup>29</sup> « Daylighting systems » [En ligne] [www.squ1.com](http://www.squ1.com) (Page consultée le 19 novembre 2004)

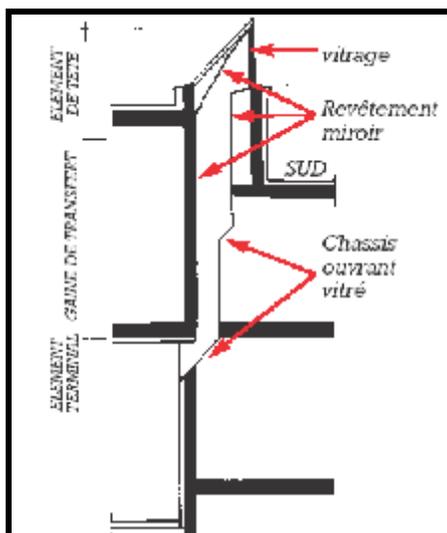
<sup>30</sup> PASINI, Ivan et al. Daylighting guide for Canadian commercial buildings. Ontario: Travaux Publics et Services Gouvernementaux. Canada, Août 2002, p 23.

<sup>31</sup> ROBERTSON, Keith. Guide sur l'éclairage naturel des bâtiments, Ontario : SCHL-CMHC, 2003, p 6.

reste clair une bonne partie de l'année. Dans tous les autres cas, ils ne dispensent qu'une faible lumière qui, d'après J.J. DELETRE<sup>32</sup>, n'a alors qu'un sens esthétique, psychologique ou social.

**Figure 1.16 : Composants d'un conduit de lumière**  
**(Ecole maternelle de Collioure en France).**

Source : Agence Méditerranéenne de l'Environnement, 2002.



### **3.2-Eclairage latéral**

L'éclairage latéral caractérisé par l'usage de prises de jour en façade est associé, selon C. TERRIER et B. VANDEVYVER<sup>33</sup>, aux locaux de faible hauteur sous plafond : de 2,50 mètres à 3 mètres. Ce système optique est, d'après J.J. DELETRE<sup>34</sup>, l'un des moins performants du point de vue éclairage par la lumière du jour, en particulier dans les cas où il y a un masque extérieur. C'est pourtant l'un des plus utilisés, notamment dans les constructions scolaires, pour des raisons pratiques mais aussi parce qu'il permet la vue vers l'extérieur.

<sup>32</sup> **DELETRE, J.J.** Mémento de prises de jour et protections solaires. Grenoble: Ecole d'Architecture de Grenoble, 2003, p 3.

<sup>33</sup> **TERRIER, Christian** et **VANDEVYVER, Bernard**. "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, *Travail et Sécurité*, (Mai 1999), p1 [En ligne] [www.inrs.fr](http://www.inrs.fr) (Page consultée le 21 septembre 2004)

<sup>34</sup> **DELETRE, J.J.** Mémento de prises de jour et protections solaires. Grenoble: Ecole d'Architecture de Grenoble, 2003, p 2.

### **3.2.1-Exigences de l'éclairage latéral**

#### **1-Aspects thermiques et éblouissement**

Lors de la conception d'un dispositif d'éclairage latéral, il faut tenir compte des aspects thermiques du rayonnement solaire et de l'éblouissement. En effet, il faut éviter la pénétration directe des rayons solaires sur les plans de travail afin d'empêcher l'éblouissement des occupants. Un autre objectif consiste à réaliser une bonne isolation thermique afin d'éviter un apport excessif de chaleur dans l'ensemble du local, notamment en été. Ce surplus thermique conduisant à l'effet de serre. Ces deux objectifs seront atteints par un choix judicieux de l'orientation des vitrages et par un système de protection solaire performant.

#### **2-Incidences par rapport à l'acoustique**

Dans le cas de prises de jour latérales, le concepteur doit concilier, en plus des contraintes thermiques, les contraintes acoustiques avec les exigences en matière d'éclairage naturel. Une attention toute particulière doit être portée à l'acoustique aussi bien pour les bruits venant de l'extérieur que de l'intérieur lorsqu'on a une grande proportion de vitrage. Pour cela, l'étude acoustique du local doit être réalisée en fonction de sa disposition, des bruits et du type de vitrage choisi, en sachant que plus le coefficient de transmission acoustique du vitrage est élevé, plus les ondes sonores venant de l'extérieur sont retransmises vers l'intérieur des locaux.<sup>35</sup>

Plusieurs solutions sont proposées par CIBSE<sup>36</sup> afin de réduire la pénétration des nuisances sonores extérieures. Parmi ces solutions, nous citerons :

- l'usage d'ouverture fixe.
- la conception de barrières acoustiques minérales ou végétales.
- l'usage du double vitrage acoustique (fenêtre avec lame d'air intérieure importante).
- l'usage de vitrage épais.
- la réduction de la surface des ouvertures.

---

<sup>35</sup> **The Chartered Institution of Building Services Engineers.** Applications manual: Window design. London: CIBSE, 1987, p 15.

<sup>36</sup> **Idem**, p 16.

### **3-Incidences par rapport à la sécurité**

Un autre critère à prendre en compte pour un dispositif d'éclairage latéral est celui de la sécurité. En effet, les vitrages doivent répondre à des critères de résistance aux chocs et au feu. Il est également nécessaire que, en l'absence de climatisation, les fenêtres puissent s'ouvrir afin d'assurer le renouvellement d'air.

### **4-Vue sur l'extérieur**

Les locaux doivent comporter, à hauteur des yeux, des baies transparentes donnant sur l'extérieur. Ce paramètre est essentiel pour le bien être psychologique des occupants.

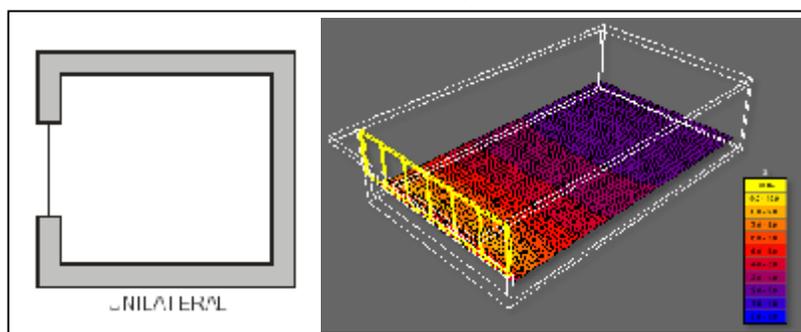
#### **3.2.2-Types d'éclairage latéral**

##### **-Eclairage unilatéral**

Il s'agit d'un éclairage fourni par une ou plusieurs ouvertures verticales disposées sur une même façade d'une orientation donnée. Cette disposition permet de réaliser des effets de relief et des harmonies de contrastes. L'inconvénient que présente ce type de système d'éclairage naturel est la possibilité d'ombres gênantes, dues aux allèges par exemple, surtout si les parois du local sont sombres. Mais le défaut majeur est que l'éclairage intérieur résultant est très peu uniforme, comme l'indique la figure 1.17, car il est fortement influencé par la profondeur du local.

**Figure 1.17 : Performances lumineuses d'un dispositif d'éclairage unilatéral.**

Source : [www.squ1.com]



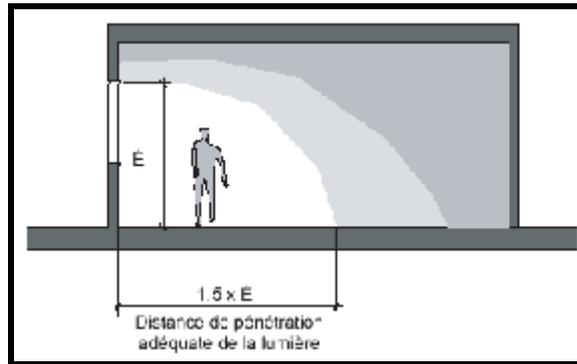
En effet, si l'intérieur est trop profond par rapport à la hauteur de l'ouverture au dessus du plancher, l'éclairage sera insuffisant au fond du local car, d'après K. ROBERTSON<sup>37</sup>, une lumière du jour suffisante pénètre sur une distance d'une fois et demie la hauteur de

<sup>37</sup>ROBERTSON, Keith. Guide sur l'éclairage naturel des bâtiments, Ontario : SCHL-CMHC, 2003, p 5.

l'ouverture au dessus du plancher (Figure 1.18), bien que cette distance puisse atteindre deux fois cette hauteur sous un ensoleillement direct.

**Figure 1.18 : Pénétration approximative de la lumière naturelle.**

Source : K. ROBERTSON, 2003.



Pour cela, A. VANDENPLAS<sup>38</sup> recommande que la profondeur des pièces éclairées unilatéralement par des fenêtres classiques à verre transparent doit se limiter pratiquement à deux fois la hauteur du plafond au dessus du plan utile. Elle peut aller jusqu'à un maximum de trois fois dans le cas où le plan de la fenêtre est complété par des briques fonctionnelles. Quant au British Research Establishment<sup>39</sup>, il propose une méthode plus précise qui prend en compte la réflectance moyenne des parois intérieures et qui s'exprime par la relation suivante :

$$(P/L + P/H) < 2 / (1-RB) \dots \dots \dots [39]$$

Où :

**P** : profondeur du local.

**L** : largeur du local.

**H**: hauteur sous linteau de l'ouverture.

**RB**: réflectance moyenne du local.

Toutefois, la pénétration ainsi que l'uniformité de l'éclairage naturel unilatéral peuvent être améliorées par l'utilisation de dispositifs de déviation de la lumière naturelle

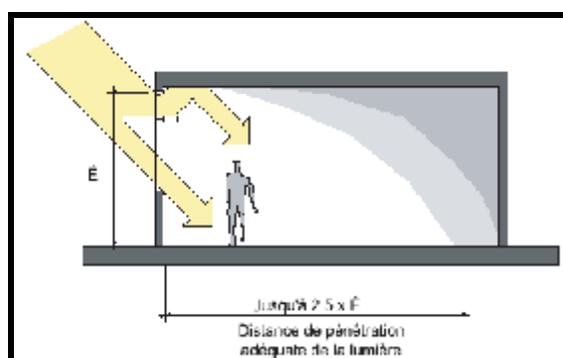
<sup>38</sup> A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Éclairage- Commission de l'Éclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964, p123.

<sup>39</sup> The Chartered Institution of Building Services Engineers. Applications manual: Window design. London: CIBSE, 1987, p14.

comme les bandeaux lumineux « light shelves » (Figure 1.19), les dispositifs anidoliques (Figure 1.20), ou bien les verres prismatiques qui, grâce à leurs propriétés physiques, dirigent une partie de la lumière du jour vers le plafond du local qui va à son tour la diffuser vers le fond du local. Nous pouvons aussi jouer sur la réflectivité des surfaces intérieures de l'espace. En l'augmentant, nous augmentons la quantité de lumière du jour réfléchi vers l'arrière du local ainsi que les niveaux d'éclairage.

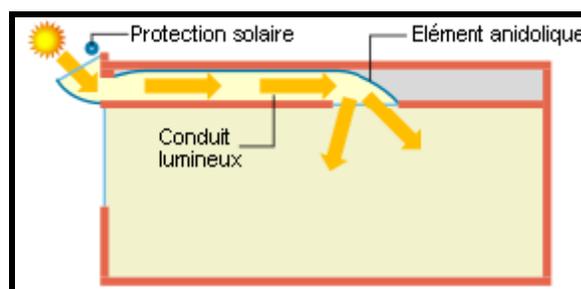
**Figure 1.19: Pénétration approximative de la lumière naturelle avec l'usage d'un « light shelf ».**

Source : K. ROBERTSON, 2003.



**Figure 1.20: Dispositif anidolique.**

Source : A. DE HERDE et al. [www-energie.arch.ucl.ac.be]



D'autre part, la largeur d'un bâtiment éclairé unilatéralement est limitée par la profondeur de deux pièces et le vestibule les reliant. A ce propos, F.L. WRIGHT<sup>40</sup> a trouvé que la largeur idéale d'une aile d'un bâtiment disposant d'un éclairage unilatéral serait d'environ 13 mètres afin que ce dernier puisse jouir de bonnes conditions d'éclairage naturel. Mais pour augmenter la largeur totale de certains bâtiments éclairés

<sup>40</sup> WRIGHT, Frank Loyd in SCHILER, Marc. Simplified design of building lighting, New York-Chichester- Weinheim- Brisbane- Toronto-Singapore: John Wiley & Sons .INC, 1992, p87.

unilatéralement, les architectes adoptent des plans de formes variées (Figure 1.21) en créant des puits de jour qui laissent pénétrer la lumière naturelle et évitent les masses sombres.

**Figure 1.21 : Empreintes de bâtiments éclairés unilatéralement.**

Source : I. PASINI, 2002.



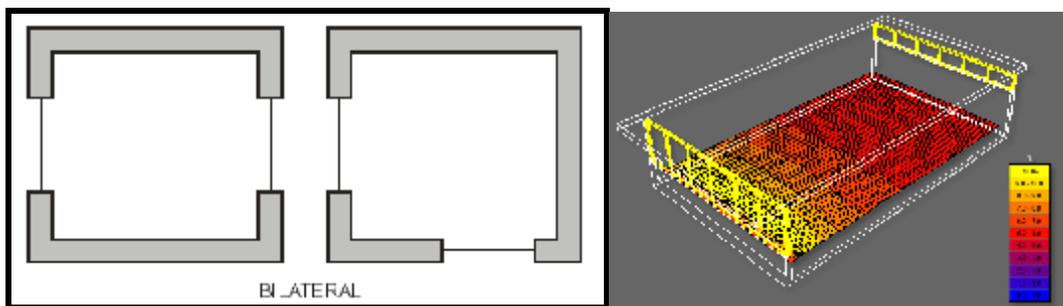
### **-Eclairage bilatéral**

L'éclairage bilatéral consiste à avoir des ouvertures verticales sur deux murs, soit parallèles, soit perpendiculaires, d'un même local (Figure 1.22).

**Figure 1.22 : Dispositifs d'éclairage bilatéral et ses performances lumineuses.**

Source : I. PASINI, 2002.

Source : [www.squ1.com]



Cette solution remédie au défaut majeur que pose l'éclairage unilatéral. En effet, selon A. VANDENPLAS<sup>41</sup>, la profondeur des pièces éclairées par un dispositif bilatéral peut atteindre facilement quatre fois la distance entre le plafond et le plan utile. Ce qui permet d'éclairer efficacement un local de dimensions plus importantes que celles permises par un éclairage unilatéral. En plus, il procure un éclairage plus uniforme et réduit les contrastes ainsi que les risques d'éblouissement.

<sup>41</sup>A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964, p123.

### **-Éclairage multilatéral**

L'éclairage multilatéral présente de nombreux avantages, notamment:

- Favoriser la ventilation naturelle transversale des pièces en la doublant ou en la triplant.
- Les ouvertures réduisent les ombres denses et augmentent les contrastes à l'intérieur des pièces.
- Les ouvertures réduisent le risque d'éblouissement du ciel en augmentant l'éclairement des murs de fenestration.

Mais il présente certaines contraintes dont la plus importante consiste à augmenter les risques de surchauffe en période estivale ainsi que les déperditions de chaleur en période hivernale.

### **3.2.3-Dimensionnement des ouvertures latérales**

Pour le cas d'un éclairage latéral, la surface du vitrage nécessaire pour procurer un facteur de lumière de jour ciblé dépend principalement de :

- La transmittance lumineuse du vitrage.
- L'étendue des obstacles extérieurs.
- La taille et la forme de l'intérieur du local.
- La réflectance des surfaces internes.

La formule suivante, donnée par le B.R.E.<sup>42</sup>, permet une évaluation approximative de la surface vitrée nécessaire pour procurer un facteur de lumière du jour moyen désiré :

$$W = \frac{DF \cdot A \cdot (1 - R^2)}{T \cdot \theta} \dots \dots \dots [42]$$

Où :

**W**: surface nette du vitrage des ouvertures (la menuiserie en métal représente 20% de la surface totale et la menuiserie en bois ou en plastic représente 30% de la surface totale)

**DF**: facteur de lumière du jour moyen désiré.

<sup>42</sup>The Chartered Institution of Building Services Engineers. Applications manual: Window design, London: CIBSE, 1987, p25.

**A**: aire totale de toutes les surfaces intérieures du local, y compris celle des ouvertures.

**R** : facteur de réflexion moyen des surfaces intérieures du local (plafond, plancher et murs avec les ouvertures). On peut prendre 0,5 par défaut mais pour le calculer, on a recours à la formule suivante :

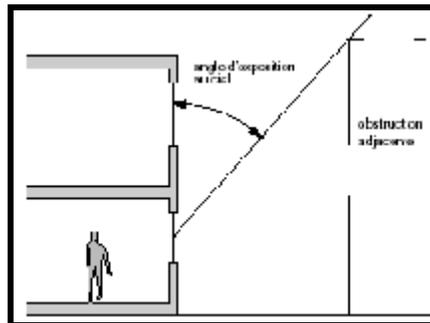
$$\begin{array}{l} \text{aire des murs} \times \text{réflectance des murs} \quad + \quad \text{aire ce plancher} \times \text{réflectance du plancher} \quad + \quad \dots \text{ etc.} \\ \text{aire totale de la surface} \quad \quad \quad \text{aire totale de la surface} \quad \quad \quad \dots [43] \end{array}$$

**T**: facteur de transmission lumineuse du vitrage, dont on déduit 10 % pour saleté.

$\theta$ : angle du ciel visible depuis l'ouverture, exprimé en degrés (Figure 1. 23 ).

**Figure 1.23 : Angle d'exposition au ciel.**

Source : K. ROBERTSON, 2003.



### 3.2.4-Paramètres influençant l'éclairage latéral

Plusieurs paramètres influencent l'éclairage naturel latéral, à savoir : la forme des ouvertures, leur position, la surface vitrée (taille) ainsi que les obstructions extérieures.

#### 1-Position des ouvertures latérales

Selon l'étude de CADIERGUES<sup>44</sup> (Figure 1.24), une ouverture horizontale (ou carrée) placée le plus haut possible apporte plus de lumière du jour qu'une fenêtre de même forme placée au niveau du plan utile, car la luminance du ciel croît de plus en plus de l'horizon au zénith, augmentant avec elle la composante directe du facteur de lumière du jour à l'intérieur du local. En effet, il s'avère qu'en passant de la baie horizontale placée au niveau

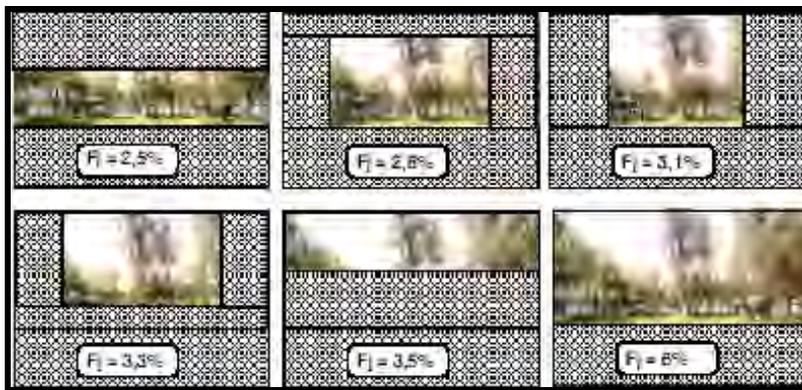
<sup>43</sup> ROBERTSON, Keith. Guide sur l'éclairage naturel des bâtiments, Ontario : SCHL-CMHC, 2003, p 22.

<sup>44</sup> CADIERGUES in A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel. L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964, p122.

du plan utile (cas1) à la baie horizontale placée le plus haut possible (cas 5), l'éclairage du fond croît de 50%. De même, en passant de la baie carrée placée au niveau du plan utile (cas2) à la même baie carrée placée le plus haut possible (cas 4), l'éclairage du fond croît de 22%. Cependant, opter pour une baie horizontale haute n'est pas toujours possible pour des raisons de prospect, de vue sur l'extérieur mais aussi pour des raisons esthétiques comme le montre si bien la figure 1.24.

**Figure 1.24: Performance lumineuse des ouvertures latérales en fonction de leur position.**

Source : J.J. DELETRE, 2003.



## 2-Surface des ouvertures latérales

Selon la même étude, l'efficacité lumineuse d'une ouverture latérale est proportionnelle à sa surface. Ainsi, en doublant la surface de la baie horizontale haute (cas6), on double pratiquement le facteur de lumière du jour : le gain est d'environ 67%.<sup>45</sup>

## 3-Forme des ouvertures latérales

La performance de n'importe quelle forme d'ouverture latérale dépend essentiellement de sa position dans le mur de fenestration. C'est pour cette raison qu'en passant de la baie horizontale placée au niveau du plan utile (cas1) à la fenêtre classique verticale de même position et de même surface (cas 3), on relève un gain de lumière de 30%. Tandis qu'en passant de la fenêtre classique verticale (cas3) à la baie horizontale haute (cas 5) de même surface, on relève un gain de lumière de 17%.

<sup>45</sup> CADIERGUES in A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel. L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964, p122.

La fenêtre classique verticale est donc plus performante en matière d'apport de lumière naturelle qu'une baie horizontale (ou carrée) placée au niveau du plan utile de même surface (Figure 1.24), mais elle est moins performante qu'une baie horizontale (ou carrée) haute. Ce résultat est directement lié à la distribution des luminances du ciel : sachant que la luminance du ciel couvert CIE, par exemple, croit en allant de l'horizon au zénith, une ouverture ayant le maximum de surface exposée à la luminance la plus élevée du ciel offre un meilleur éclairage intérieur.

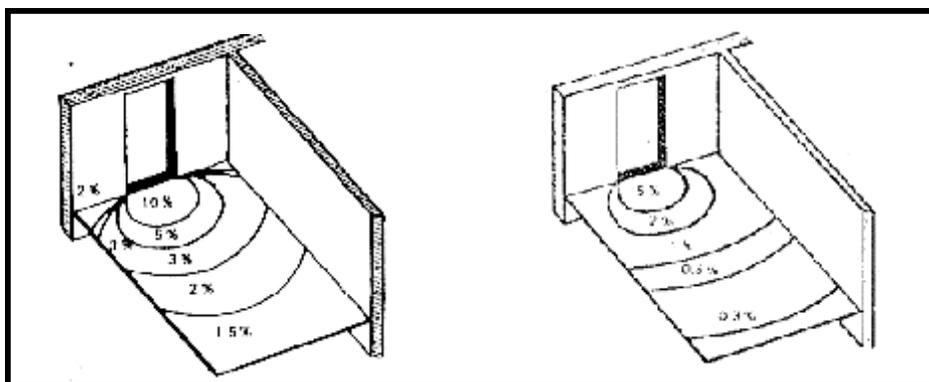
Toutefois, selon K. ROBERTSON<sup>46</sup>, les fenêtres rondes et carrées créent un fort contraste entre l'ouverture et le mur par rapport aux ouvertures en bande horizontale qui offrent une meilleure distribution de la lumière et, souvent, une meilleure vue.

#### 4-Obstructions extérieures

Comme le montre la figure 1.25, la valeur de l'angle d'obstruction (défini comme étant l'angle sous lequel l'obstacle extérieur est vu depuis le centre de la fenêtre) joue un rôle important dans la disponibilité de l'éclairage naturel à l'intérieur d'un local. Ainsi, les valeurs du facteur de lumière du jour à l'intérieur d'un local diminuent considérablement avec l'augmentation de l'angle d'obstruction car plus l'obstruction est importante, moindre est la surface du ciel visible à partir des points intérieurs du local.<sup>47</sup>

**Figure 1.25: Performance lumineuse des ouvertures latérales avec**  
**angle d'obstruction=0°**                      **angle d'obstruction=45°**

Source : J.L. IZARD, 1994.



<sup>46</sup> ROBERTSON, Keith. Guide sur l'éclairage naturel des bâtiments, Ontario : SCHL-CMHC, 2003, p 13.

<sup>47</sup> Société Saint Gobain. Les verres et le rayonnement naturel. Paris : Saint-Gobain, p19.

**-Conclusion**

Les ouvertures zénithales s'ouvrent sur la totalité de la voûte céleste; elles induisent par conséquent une large pénétration de la lumière naturelle. La distribution lumineuse obtenue par ce type d'ouverture est également beaucoup plus homogène que celle produite par une fenêtre verticale. De plus, la lumière pénètre dans les locaux par le plafond, ce qui limite a priori les phénomènes d'éblouissement. Par contre, par ciel clair serein, les dispositifs d'éclairage zénithal directe captent mal les rayons solaires d'hiver alors qu'ils laissent largement pénétrer le soleil d'été, ce qui implique un mauvais comportement thermique.

Fréquemment utilisés dans les constructions scolaires, les ouvertures latérales ne voient qu'une moitié du ciel. Par ciel couvert, ces ouvertures verticales ont donc des performances lumineuses nettement plus faibles que les ouvertures zénithales. En outre, la lumière pénètre latéralement dans les locaux, ce qui peut créer des situations de contre-jour ou d'éblouissement à proximité des fenêtres. Cependant, les ouvertures latérales en façade Sud transmettent un maximum de rayons solaires en hiver, ce qui favorise l'utilisation des gains solaires, tout en limitant les pénétrations estivales et les surchauffes qu'elles induisent.

Les ouvertures latérales et les ouvertures zénithales ont donc un comportement radicalement divergeant en ce qui concerne la sélection des pénétrations solaires. Le choix entre ces deux types d'éclairage naturel lors d'une conception architecturale doit dépendre principalement du « climat lumineux » de la région.

La qualité ainsi que la quantité de la lumière naturelle disponible dans un local sont, tout d'abord, fonction du climat lumineux extérieur de son site d'implantation<sup>1</sup>. En effet, l'éclairement lumineux, la luminance et la composition spectrale de la lumière du jour sont fonction de la position géographique du site (latitude), des saisons, des moments de la journée et des conditions météorologiques.

Cependant, si ces facteurs sont connus, il demeure très difficile de définir des zones normalisées du climat lumineux à travers le monde, comme c'est le cas pour les zones climatiques mentionnées dans les calculs d'ambiance thermique ; à cause notamment de la complexité du phénomène et du caractère aléatoire de certains facteurs précisés.

Dans ce chapitre, nous allons essayer de définir l'influence de chacun de ces facteurs sur le potentiel lumineux d'un site, et par la même occasion, leur impact à l'intérieur d'un bâtiment implanté sur ce dernier et ce, en présentant séparément les paramètres de variabilité de la lumière solaire et de la lumière diffuse provenant du ciel.

L. MUDRI<sup>2</sup> mentionne que pour pouvoir décrire le climat lumineux extérieur d'un site, il faut connaître :

1. un modèle du mouvement apparent du soleil sur la voûte céleste.
2. un modèle de la voûte céleste (soit le type de ciel dominant).
3. la mesure des luminances du ciel et d'éclairements lumineux (directs et diffus) des différents plans du site (plan horizontal, vertical nord, vertical sud...).
4. les facteurs de réflexion du sol et des autres obstructions existant dans le site.

Certains de ces facteurs sont faciles à prédire comme le mouvement apparent du soleil, mais d'autres le sont moins, comme c'est le cas du modèle de la voûte céleste et des mesures qui ne sont, malheureusement, pas très répandus et requièrent un matériel sophistiqué coûteux ainsi que des spécialistes pointilleux et rigoureux.

## **1-La lumière solaire directe**

La disponibilité de la lumière solaire en un lieu donné dépend du mouvement et des positions du soleil. Ainsi, la connaissance du mouvement apparent de ce dernier sur la voûte céleste pour un observateur terrestre, permet de mettre à jour les principales spécificités d'ensoleillement et les ressources solaires d'un site. Ces données fixent un certain nombre de contraintes ou d'attitudes à adopter pour mieux intégrer les facteurs

---

<sup>1</sup> **MUDRI, Ljubica.** De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris. Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-1.

<sup>2</sup> **Idem,** p1-5.

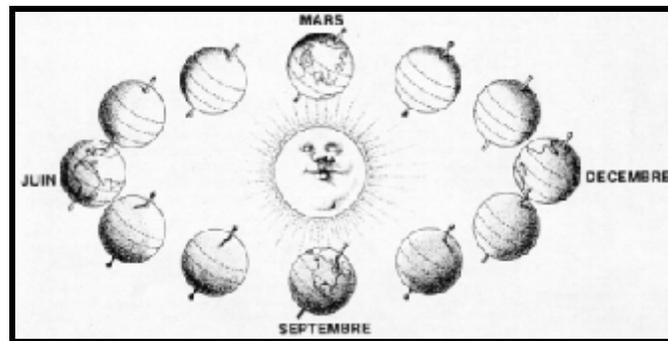
solaires dans le projet architectural, notamment en matière d'éclairage naturel. Au delà, ces même données facilitent l'utilisation de techniques simples de contrôle et d'évaluation de l'ensoleillement des différentes composantes du bâtiment.

### 1.1- Mouvement annuel de la terre autour du soleil

En raison du mouvement annuel de la terre autour du soleil (Figure 2.1), l'angle d'incidence des rayons solaires parallèles varie d'une saison à l'autre. Leur inclinaison par rapport au plan de l'équateur terrestre est représentée par un angle appelé « déclinaison », positive ou négative, suivant que le rayon principal frappe au dessus, vers l'hémisphère Nord, ou au dessous vers l'hémisphère Sud. Ainsi, au cours de l'année, les zones géographiques terrestres sont soumises différemment au rayonnement direct.

**Figure 2.1 : Mouvement annuel de la terre autour du soleil.**

Source : E. MAZRIA, 1981.



L'examen des propriétés géométriques de ce mouvement de la terre dans le plan de l'écliptique, a permis de déterminer que la déclinaison varie au cours de l'année de  $-23^{\circ}27'$  à  $+23^{\circ}27'$ .<sup>3</sup> Ces variations décrivent une sinusoïde dont le sens peut être appréhendé à travers quatre positions clés (Figure 2.2), qui correspondent respectivement :

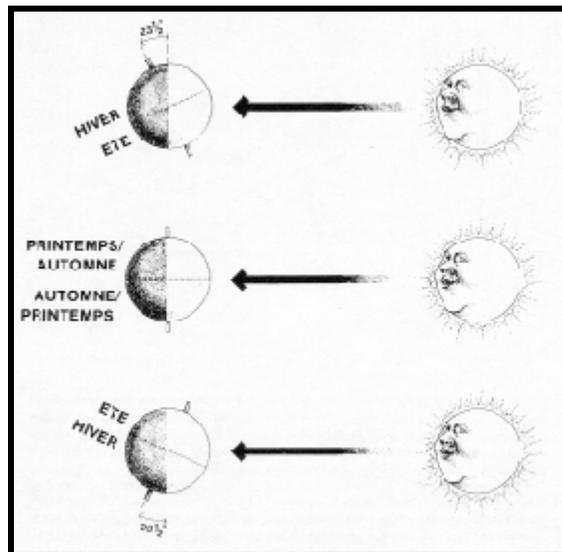
1. **Au solstice d'hiver** (21 décembre à l'hémisphère Nord) : les rayons solaires sont perpendiculaires au tropique du capricorne avec un angle de déclinaison de  $-23^{\circ}27'$ . Durant cette période, la nuit est plus longue que le jour car le soleil se

<sup>3</sup> **Laboratoire CERMA.** « La géométrie solaire », Ecole d'Architecture de Nantes [En ligne] <http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/theorie/solaire/.html> (Page consultée le 18 avril 2004)

- lève au sud-est et se couche au sud-ouest. Les altitudes solaires sont basses et l'intensité des éclairagements lumineux directs est également minimale.
2. **Aux équinoxes de printemps (21 mars) et d'automne (22 septembre)** : les rayons solaires sont dans le plan de l'équateur et la déclinaison mesure alors  $0^\circ$ . Cette position traduit l'égalité des jours et des nuits où le soleil se lève en plein Est et se couche en plein Ouest.
  3. **Au solstice d'été (23 juin)** : la position de la terre est opposée à celle du 21 décembre et le soleil frappe l'hémisphère Nord avec un angle maximum de déclinaison égal à  $+23^\circ 27'$ . Durant cette période, le jour est plus long que la nuit car le soleil se lève au Nord-est et se couche au Nord-ouest. Les éclairagements lumineux directs sont intenses et les altitudes solaires sont importantes.

**Figure 2.2 : Variations saisonnières de la déclinaison.**

Source : E. MAZRIA, 1981.



Ces variations saisonnières de l'angle de déclinaison s'accompagnent donc d'une modification de l'intensité du rayonnement lumineux direct (qui est faible en hiver et intense en été) mais également de la « durée d'ensoleillement » qui est un indicateur du nombre d'heures durant lesquelles un bâtiment peut bénéficier de la lumière naturelle.

### **1.2- Définition de la « durée d'ensoleillement »**

Au sujet de la durée d'ensoleillement, PERRIN de BRICHANBAUT et VAUGE<sup>4</sup> la définissent comme étant la durée pendant laquelle le disque solaire était resté visible, dessinant ainsi des ombres portées au sol. Mais suite à la mise au point des instruments de mesure appelés héliographes, la durée d'ensoleillement a correspondu à la durée pendant laquelle ces héliographes indiquaient que le rayonnement solaire direct dépassait un certain seuil, évalué à  $120 \text{ W/m}^2$  (+ 10 %) selon une normalisation internationale. Cette durée en Heure, une fois évaluée par les stations météorologiques, nous offre un aperçu sur la possibilité d'autonomie d'une structure en éclairage naturel.

### **1.3-Mouvement diurne de la terre sur elle-même**

Au cours d'une journée, la terre tourne autour d'elle-même présentant ainsi un secteur géographique différent face au soleil. Ce deuxième mouvement de rotation s'effectue autour de l'axe des pôles, dans un mouvement uniforme et à vitesse constante, d'Ouest en Est en 24 heures. Pour chaque heure, la rotation est donc de  $15^\circ$ .

Suite à ce mouvement diurne, un point situé à la surface de la terre va donc successivement se trouver placé dans une situation particulière par rapport au soleil et voir son état d'éclairement modifié. Ainsi, il passera d'un état limite entre l'ombre et la lumière, correspondant au lever du jour où le point appartient alors au contour d'ombre de la terre et où le rayon solaire est tangent à ce point ; à un état d'ensoleillement maximum lorsque ce même point fera face au soleil et plus précisément lorsque le soleil sera dans le plan du méridien du lieu qui correspond au plan Nord-Sud du lieu : il est alors 12 Heure Solaire pour ce point. Ultérieurement, il passera de nouveau à un état limite entre l'ombre et la lumière, indiquant ainsi la fin du jour pour ce point ; pour être finalement dans une situation d'ombre correspondant à la période de nuit.

Durant ce mouvement, les coordonnées horizontales du soleil (Figure 2.3) varient également: la hauteur solaire augmente jusqu'à 12 Heure Solaire, puis diminue tandis que l'azimut solaire diminue jusqu'à midi Heure Solaire puis il augmente, en sachant que ces positions solaires sont symétriques par rapport à midi entre la matinée et l'après

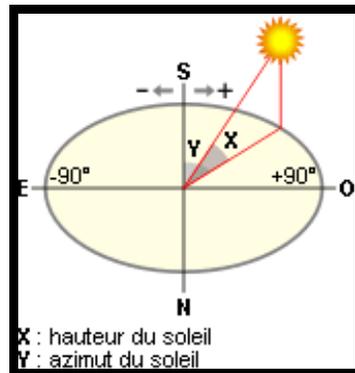
---

<sup>4</sup> PERRIN de BRICHANBAUT.Ch et VAUGE.Ch. Le gisement solaire : évaluation de la ressource énergétique. Paris: Technique et Document (Lavoisier). 1982, p59.

midi. Notons que par ciel clair ensoleillé, le changement de la hauteur solaire modifie le degré de pénétration (la profondeur) des rayons directs à l'intérieur d'un local. Quant à l'azimut solaire, il définit la face du bâtiment qui va bénéficier de cette lumière directe. Le soleil passe ainsi d'Est en Ouest et les ouvertures se trouvent éclairées de manières différentes en fonction de l'heure de la journée et selon leur orientation.

### **Figure 2.3 : Coordonnées horizontales du soleil.**

Source : A. DE HERDE et al. [www-energie.arch.ucl.ac.be]

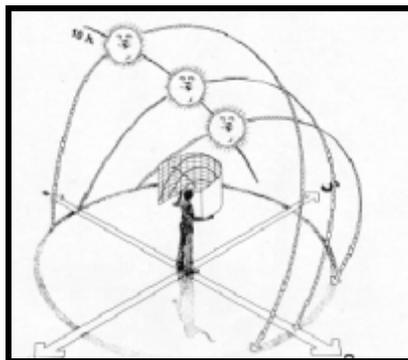


### **1.4- Trajectoire apparente du soleil sur la voûte céleste**

De son côté B. GIVONI écrit: « En supposant que la terre est stable, le soleil suit sur la voûte céleste une trajectoire en forme de spirale. La ligne imaginaire tirée entre le soleil et la position de l'observateur terrestre, trace d'énormes cônes de révolution plats dont le sommet est occupé par l'observateur. En hiver, le cône de révolution est concave descendant vers le Sud et en été le cône concave est montant vers le Nord. Tandis qu'aux équinoxes, il est réduit à un disque »<sup>5</sup> (Figure 2.4).

### **Figure 2.4: Trajectoire apparente du soleil.**

Source : E. MAZRIA, 1981.



<sup>5</sup> GIVONI. B. L'homme, l'architecture et le climat, Traduction de JL. IZARD. Paris : Le Moniteur. 1978, p 208.

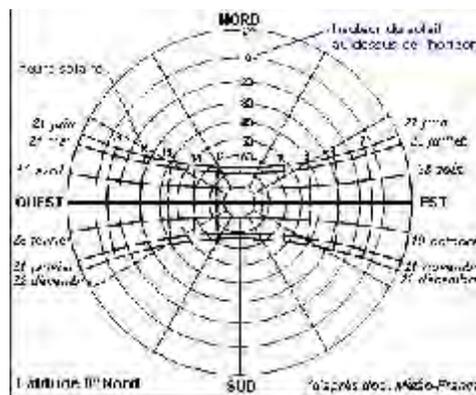
Ces changements annuels et journaliers de la position solaire sont beaucoup plus simples et plus rapides à lire d'une table ou d'un diagramme de la trajectoire solaire. Selon E. MAZRIA, un diagramme solaire est « une représentation plane en coordonnées locales de la trajectoire du soleil, perçue depuis un point de la surface terrestre »<sup>6</sup>. Son usage le plus immédiat est que l'azimut et l'altitude solaires peuvent être lu directement pour n'importe quelle heure de la journée et n'importe quel jour de l'année. Il y a cependant plusieurs types de diagrammes solaires et qui sont:

#### **1.4.1-Diagramme solaire stéréographique ou polaire**

A. MARSH<sup>7</sup> définit le diagramme solaire stéréographique (Figure 2.5) comme étant une projection de la sphère céleste locale sur un plan horizontal où le point de vue est situé au Nadir et regarde suivant la verticale du lieu. Son usage est plus étendu et permet quelques manipulations par projection de certains éléments du projet, comme une façade verticale ou un environnement. La projection stéréographique est utilisée pour donner plus de détail à l'horizon et moins au zénith.<sup>8</sup>

#### **Figure 2.5: Diagramme solaire stéréographique (latitude 0°).**

Source : [www.educnet.education.fr]



#### **1.4.2-Diagramme solaire cylindrique ou frontale**

Quant à la projection cylindrique, c'est une représentation graphique en deux dimensions de la position du soleil dans un système de coordonnées cartésiennes (Figure 2.6). Ici, l'azimut est planté le long de l'axe horizontal, tandis que l'altitude solaire est plantée verticalement. A l'inverse des diagrammes stéréographiques, les

<sup>6</sup>MAZRIA, Edward. *Le guide de l'énergie solaire passive*. Paris : Parenthèses. 1981, p239.

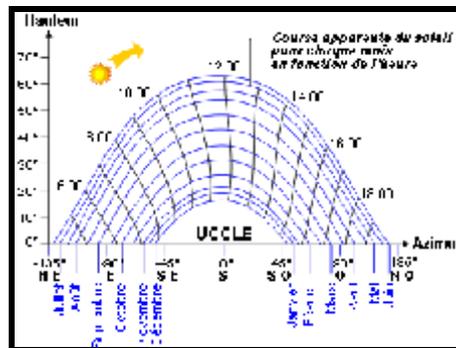
<sup>7</sup>MARSH. A. «Sun-path diagrams » [En ligne] [www.squ1.com](http://www.squ1.com) (Page consultée le 19 mai 2004)

<sup>8</sup> Idem.

diagrammes cylindriques donnent plus d'importance à la hauteur solaire qu'à son azimut.

**Figure 2.6 : Diagramme solaire cylindrique (latitude 50°45')**

Source : A. DE HERDE & al.[www-energie.arch.ucl.ac.be]

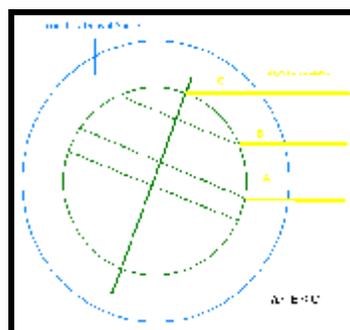


### **1.5-Influence de la latitude sur les conditions d'ensoleillement**

La position géographique d'un lieu sur la terre est déterminée par sa latitude, qui est définie comme étant « l'angle compris entre la droite joignant le point considéré sur la terre et le centre de la terre avec le plan de l'équateur terrestre ».<sup>9</sup> En fonction de la latitude des lieux, pour une même date, les périodes d'ensoleillement seront plus ou moins longues, inversées, voire inexistantes. Selon L. MUDRI<sup>10</sup>, les éclairagements lumineux directs seront aussi d'intensité variable à cause de l'épaisseur de la masse d'air (ou de la couche atmosphérique) traversée par les rayons solaires car plus la latitude est élevée, plus l'épaisseur de la masse d'air à traverser est importante et plus l'éclairage lumineux direct est faible (Figure 2.7).

**Figure 2.7: Variation de l'épaisseur de la couche atmosphérique selon la latitude.**

Source : Auteur.



<sup>9</sup> Laboratoire CERMA. « La géométrie solaire », Ecole d'Architecture de Nantes [En ligne] <http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/theorie/solaire/html> (Page consultée le 18 avril 2004)

<sup>10</sup> MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris. Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-6.

La partie du ciel occupée par le soleil aux différents moments du jour et de l'année diffère également suivant la latitude : en effet, plus la latitude est faible, donc proche de l'équateur, plus les trajectoires solaires sont centrées dans le ciel autour du zénith, à la verticale du lieu. A l'inverse, plus la latitude s'approche de celle des pôles, plus les trajectoires s'approchent de l'horizon. Par conséquent, la distribution des luminances du ciel en est également affectée.

Pour chaque latitude, nous pouvons déterminer avec précision les coordonnées horizontales du soleil correspondantes à partir des deux formules suivantes:

$$\begin{aligned} \text{Sin hauteur solaire} &= (\sin \varphi \times \sin \delta) + (\cos \varphi \times \cos \omega \times \cos \delta) \\ \text{Sin azimut solaire} &= (\sin \omega \times \cos \delta) / \cos h \dots\dots\dots[11] \end{aligned}$$

Où :

$\varphi$  : latitude du lieu.

$\delta$  : déclinaison du soleil.

$\omega$  : angle horaire.

$h$  : hauteur solaire.

### **1.6- Influence de l'orientation sur les conditions d'enseillement**

Lorsque le ciel est couvert, le rayonnement lumineux est diffusé dans toutes les directions. C'est pour cette raison que les ouvertures verticales captent la lumière naturelle de manière similaire, indépendamment de leur orientation. Par contre, lorsque le ciel est clair, l'orientation de l'ouverture influence directement la quantité de lumière captée : grâce à une ouverture latérale orientée Sud, le local bénéficie d'une lumière naturelle plus facile à contrôler et d'un ensoleillement maximal en hiver et en mi-saison, ce qui est souvent l'idéal. En été, les apports solaires sur cette surface sont nettement inférieurs qu'à l'Est ou à l'Ouest, car ils sont diminués par un facteur égal au cosinus de l'angle d'incidence<sup>12</sup>.

Par contre, les locaux éclairés par des ouvertures orientées au Nord bénéficient toute l'année d'une lumière uniforme et du rayonnement solaire diffus. Pendant l'été, ils

<sup>11</sup> **BOUVIER, François.** « Soleil et architecture ». *Technique de l'ingénieur*, Vol. C6, n° C 3 310. Paris (1981), p5.

<sup>12</sup> **DE HERDE, André et al.** « Le choix de la fenêtre comme capteur de lumière naturelle ». Université Catholique de Louvain La Neuve (Belgique) [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be) (Page consultée le 20 mars 2004)

peuvent être exposés à l'éblouissement, difficile à contrôler car le soleil est bas au coucher et au lever. Toutefois, il est judicieux de placer des ouvertures vers le nord lorsque le local nécessite une lumière homogène, peu variable ou diffuse, ce qui est préférable pour certaines activités comme un atelier de dessin, par exemple.

Sinon, quand les locaux sont éclairés par des ouvertures orientées vers l'Est, ils profitent du soleil le matin mais le rayonnement solaire est alors difficile à maîtriser car les rayons sont bas sur l'horizon. Dans ce cas précis, l'exposition solaire y est faible en hiver mais elle permet d'apporter des gains solaires au moment où le bâtiment en a le plus besoin. Par contre, en été, l'orientation Est présente une exposition solaire supérieure à l'orientation Sud, ce qui est peu intéressant.

Enfin, une ouverture latérale orientée Ouest, assure une insolation directe en soirée. Mais elle présente toutefois un risque réel d'éblouissement et les gains solaires ont tendance à induire des surchauffes importantes puisque les vitrages tournés vers l'ouest apportent des gains durant l'après-midi, au moment où le bâtiment est depuis longtemps en régime.

## **2-La lumière diffuse du ciel**

Dans le domaine de l'éclairage naturel, et contrairement à la thermique, l'étude du ciel ainsi que de la répartition de ses luminances selon les différents moments de la journée et de l'année, est fondamentale pour la compréhension du phénomène.

Par ailleurs, la qualité et la quantité de lumière diffuse émise par la voûte céleste sont instables car les phénomènes climatiques qui entrent en jeu restent aléatoires et ne peuvent être approchés que statistiquement à travers les relevés météorologiques qui déterminent les probabilités de survenu d'un type de ciel.

### **2.1-Modèles de ciel**

Compte tenu de la trop grande variabilité de la répartition des luminances du ciel, il a fallu faire appel à des modèles pour les différents cas dominants de ciels dans le but de faciliter les calculs de l'éclairage naturel. Selon L. MUDRI<sup>13</sup>, ces modèles standards de ciel permettent de représenter la distribution spatiale et temporelle des luminances de la voûte céleste. Ainsi, il existe différents modèles de ciel:

---

<sup>13</sup> MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p 1-9.

### **2.1.1- Ciel couvert**

Dans le passé, le ciel couvert était considéré comme représentant les conditions défavorables pour un éclairage naturel et a servi de base pour l'élaboration de méthodes d'évaluation des niveaux d'éclairement lumineux dans les locaux<sup>14</sup>.

L. MUDRI le définit comme étant « un ciel caractérisé par un soleil non visible et des nuages distribués entièrement sur toute la voûte céleste ».<sup>15</sup> Cependant, il existe deux types de ciel couverts :

#### **2.1.1.1- Ciel couvert uniforme**

D'après F. BOUVIER<sup>16</sup>, le ciel couvert uniforme correspond à un ciel très fortement couvert. Il s'agit du modèle de ciel le plus anciennement utilisé et c'est lui qui donne les calculs les plus simples pour l'établissement des abaques. Mais ce n'est pas lui qui a été retenu pour une normalisation internationale puisqu'on considère que tous les points de la voûte céleste ont la même luminance (Figure 2.8), qui est exprimée par la formule suivante:

$$L_p = E_H/\pi.....[17]$$

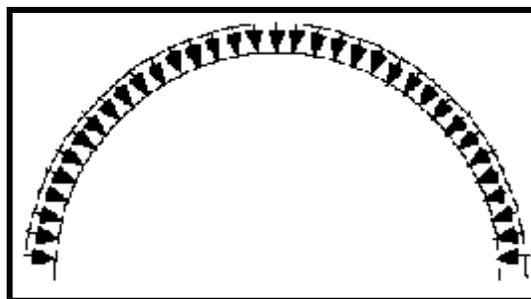
Où :

$L_p$  : la luminance d'un point p du ciel.

$E_H$  : l'éclairement sur un plan horizontal d'un site, sans aucune obstruction de la voûte céleste.

#### **Figure 2.8 : Répartition des luminances pour un ciel couvert uniforme.**

Source : J.L. IZARD, 1994.



<sup>14</sup> CHAUVEL.P et DERIBERE. M. L'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment. Paris: Eyrolles. 1968, p17.

<sup>15</sup> MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p 1-13.

<sup>16</sup> BOUVIER, François « Eclairage naturel ». *Technique de l'ingénieur*, Vol. C 6, n°C 3 315. Paris (1981), p8.

<sup>17</sup> MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-13.

### 2.1.1.2-Ciel couvert C.I.E

Le premier type de ciel normalisé en 1955 par la Commission Internationale de l'Éclairage fut un ciel couvert nuageux, appelé ciel C.I.E ou ciel « Moon et Spencer ». Ces deux chercheurs ont proposé une distribution des luminances basée sur des mesures américaines effectuées par HH.Kimball en 1923 qui correspondait à un ciel couvert moyen que l'on rencontre au Royaume Uni<sup>18</sup> et dont la répartition des luminances est de révolution autour d'un axe vertical de symétrie (Figure 2.9). Cette dernière est caractérisée par une luminance au zénith ( $L_z$ ) trois fois supérieure à celle de l'horizon ( $L_0$ ):

$$L_0 = 1/3 L_z \dots\dots [19]$$

La luminance ( $L_p$ ) d'un point p de la voûte céleste dépend uniquement de la hauteur angulaire ( $\theta$ ) de ce point au dessus de l'horizon, comme l'indique la formule suivante:

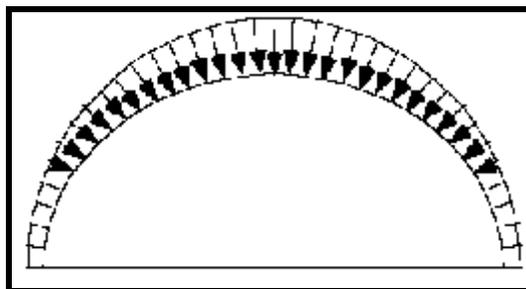
$$L_p = L_z \frac{1+2 \sin \theta}{3} \quad \text{où} \quad L_z = 9/7 E_H / \pi \dots\dots [20]$$

3

$E_H$ : l'éclairement sur un plan horizontal d'un site sans aucune obstruction de la voûte céleste.

#### Figure 2.9: Répartition des luminances pour un ciel couvert C.I.E.

Source : J.L. IZARD, 1994.



Pour ces deux modèles de ciel couvert, les niveaux de luminance varient d'un instant à l'autre. Par contre, la répartition est constante. Théoriquement et dans la réalité d'un climat lumineux, la répartition et le niveau des luminances sont cycliques.<sup>21</sup>

<sup>18</sup>A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Éclairage- Commission de l'Éclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964, p137.

<sup>19</sup> IZARD, Jean Louis. Maîtrise des ambiances : contrôle de l'ensoleillement et de la lumière en architecture ». Marseille : Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy. 1994, p 65.

<sup>20</sup>BOUVIER, François « Eclairage naturel ». *Technique de l'ingénieur*, Vol. C 6, n°C 3 315. Paris (1981), p8.

<sup>21</sup>MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-13.

### **2.1.2- Ciel clair serein (ou ciel bleu)**

Dix-huit ans après la normalisation du ciel couvert C.I.E, et compte tenu du fait que ce ciel ne peut être représentatif des conditions climatiques réelles de beaucoup de régions à travers le monde, notamment dans les régions arides et semi arides, un autre modèle standard de la répartition de la luminance de la voûte céleste a été adopté par la C.I.E en 1973 : il s'agit du **ciel clair C.I.E.**

Le modèle de ciel clair tient compte des conditions réelles moyennes et des relations de diffusion et de réfraction de la lumière solaire dans une atmosphère parfaitement claire et sans nuages.<sup>22</sup> Alors que la répartition des luminances est axée sur la position du soleil dans le ciel où la valeur de la luminance dépend en particulier de la hauteur apparente du soleil. La relation suivante permet de calculer la luminance ( $L_p$ ) de n'importe quel point sur le ciel clair CIE:

$$\frac{L_p}{L_z} = \frac{(a + b e^{-3k} + c \cos^2(k)) (1 - e^{-d \sec(z)})}{(a + b e^{-3zs} + c \cos^2(zs)) (1 - e^{-d})}$$

Où :

$L_z$  : luminance du ciel au zénith.

$k$  : angle (en radians) entre le point P et le soleil.

$z$  : angle entre le zénith et le point P.

$zs$  : angle entre le zénith et le soleil.

$a, b, c, d$  sont des coefficients ajustables.

Selon la publication n° 22 de la Commission Internationale de l'Eclairage<sup>23</sup>, "*Standardization of Luminance Distribution on Clear Skies*" (Paris, 1973), le modèle du ciel clair C.I.E utilise les coefficients suivants:

$$a = 0.91 \quad b = 10.0 \quad c = 0.45 \quad d = 0.32$$

La C.I.E a aussi standardisée le ciel clair pour les atmosphères polluées, en utilisant les coefficients suivants:

$$a = 0.856 \quad b = 16.0 \quad c = 0.30 \quad d = 0.32$$

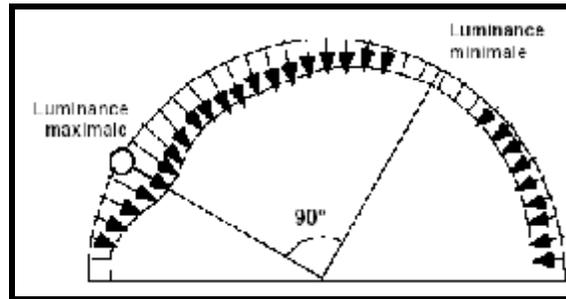
<sup>22</sup> MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-11.

<sup>23</sup> **Commission Internationale de l'Eclairage** in « Luminous distribution of the sky » [En ligne] [www.squ1.com](http://www.squ1.com) (Page consultée le 12 Février 2005)

Ainsi et comme l'indique la figure 2.10, la luminance du ciel clair est maximale à proximité du soleil et minimale dans une zone située à 90° de différence de hauteur par rapport à la position du soleil.<sup>24</sup> D'après L. MUDRI<sup>25</sup>, cette différence des luminances est due à la forme géométrique de la voûte céleste (demi sphère), à la particularité des éléments qui la constituent et aux réflexions lumineuses engendrées.

**Figure 2.10: Répartition des luminances pour le modèle du ciel clair C.I.E.**

Source : J.L. IZARD, 1994.



De plus, la luminance d'un point du ciel serein varie d'un instant à l'autre avec le mouvement apparent du soleil (annuel et diurne). Mais, pour une position solaire précise, la luminance de ce point sera la même chaque année (si le ciel est toujours clair). Ceci veut dire que la distribution des luminances de ce type de ciel est cyclique.

### **2.1.3- Ciel intermédiaires**

S'il n'existe jusqu'à présent que deux modèles standard de ciel normalisés par la C.I.E, les recherches quant à elles n'arrêtent pas d'évoluer et sont basées essentiellement sur des campagnes de mesures de grande envergure, comme celle menée en 1986 par M. PERRAUDEAU qui a conduit à une nouvelle classification des types de ciel et qui est en train d'être adopté au niveau international<sup>26</sup>. En effet, ce chercheur a établi, dans son rapport intitulé: «Climat lumineux à Nantes, résultats de 15 mois de mesures» (CSTB, EN-ECL 86.14L), cinq types de ciel, comprenant le ciel bleu et le ciel couvert ainsi que trois nouveaux types de ciel dits « **intermédiaires** » qui sont: le ciel intermédiaire bleu IB, le ciel intermédiaire médian IM, et enfin le ciel intermédiaire couvert IC (Figure 2.11).

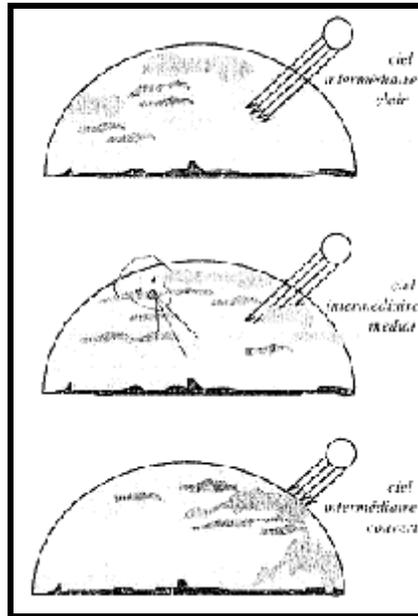
<sup>24</sup> **IZARD, Jean Louis.** *Maîtrise des ambiances : contrôle de l'ensoleillement et de la lumière en architecture* ». Marseille : Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy. 1994, p 66.

<sup>25</sup> **MUDRI, Ljubica.** *De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses*. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-11.

<sup>26</sup> **Idem**, p1-9.

**Figure 2.11: Ciels intermédiaires de M. PERRAudeau.**

Source : L. MUDRI, 2002.

**2.1.3.1-Ciel intermédiaire bleu IB et ciel intermédiaire couvert IC**

En ce qui concerne le *ciel intermédiaire bleu*, il représente un ciel avec des nuages répartis non uniformément sur la voûte céleste sans couvrir le soleil (soleil visible). Quant au *ciel intermédiaire couvert*, il représente un ciel avec des nuages répartis non uniformément sur la voûte céleste mais qui couvrent le soleil (soleil invisible)<sup>27</sup>. Ces deux modèles ne sont pas normalisés.

Comme pour un ciel clair, la répartition et le niveau des luminances pour ces deux modèles de ciel varient suivant la position solaire. De même que sur le plan théorique, cette répartition et ce niveau de luminance ont un caractère cyclique annuel. Pourtant, ils couvrent une infinité de ciels différents en fonction de la luminance des nuages, de leur surface, de leur position...etc.

**2.1.3.2- Ciel intermédiaire médian IM**

Au sujet du ciel intermédiaire médian, M. PERRAudeau le définit comme « le type de ciel qui varie très rapidement au cours du temps »<sup>28</sup> car il regroupe en fait tous les types de ciels précédents.

<sup>27</sup> PERRAudeau, Michel in MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-9.

<sup>28</sup> Idem.

Pour cela, l'auteur insiste sur la probabilité d'apparition de ce ciel qui dépend largement des pas de temps choisis pour l'intégration des mesures du ciel (heure, minute....) car lors de la campagne de mesures menée pour le C.S.T.B et qui avait pour but de définir la probabilité d'apparition des différents types de ciel à Nantes, il y eu un besoin théorique de ce modèle car, même avec un pas de temps d'intégration du ciel d'une minute, les mesures ont montré que ce ciel intermédiaire médian apparaissait pendant 25% du temps.

### **2.2-Influence de la couverture nuageuse sur l'éclairage naturel**

Les nuages, qui sont des formations non uniformes et variables du point de vue surface, forme et luminosité, agissent comme un facteur dynamique dans la redistribution de l'énergie du spectre solaire. Cette redistribution dépend à la fois du mouvement du soleil et des évolutions des nuages qui relèvent du calcul météorologique de ce que les spécialistes appellent la «**nébulosité**» et qui est défini comme étant « le paramètre météorologique qui permet d'estimer l'importance prise par les nuages dans les phénomènes de réflexion, diffusion et absorption à leur traversée par le rayonnement solaire »<sup>29</sup>. Nous distinguons cependant deux types de nébulosité :

-La **nébulosité totale** qui correspond à la fraction du ciel occulté par les nuages pour un observateur situé au sol, en essayant de compenser les effets de perspective trompeurs liés à la forme des nuages et surtout au rapport entre leurs dimensions horizontales et verticales.

-Il existe aussi des estimations de **nébulosité partielle**, qui ne prennent en compte que des catégories déterminées de nuages en fonction de telle ou telle caractéristique ou une combinaison de caractéristiques tels que le genre, l'espèce, la variété, la couche ou l'étage atmosphérique...

Or en l'absence de mention explicite, écrit PERRIN de BRICHANBAUT et VAUGE<sup>30</sup>, le terme « nébulosité » équivaut à la **nébulosité totale** qui s'applique à l'ensemble des nuages présents dans le ciel au moment de l'évaluation. Il s'agit alors d'une grandeur mesurable, usuellement évaluée en **octas** (ou huitièmes du ciel couvert) ou bien en fractions décimales (dixièmes du ciel couvert) utilisées aux Etats Unis.

---

<sup>29</sup> PERRIN de BRICHANBAUT.Ch et VAUGE.Ch. Le gisement solaire : évaluation de la ressource énergétique. Paris: Technique et Document (Lavoisier). 1982, p46.

<sup>30</sup> Idem.

Des dénominations courantes de valeurs ou d'intervalles de valeurs de la nébulosité totale sont associées à la description de l'état du ciel. Selon Météo France<sup>31</sup>, trois types de ciel peuvent de ce point de vue être distingués en priorité, il s'agit du :

1. ciel clair qui est entièrement ou presque entièrement dégagé de nuages, l'estimation de sa nébulosité étant inférieure à **1 octa**.
2. ciel couvert qui est au contraire entièrement occulté par les nuages et où l'estimation de sa nébulosité atteint **8 octas**.
3. ciel nuageux qui est un ciel dont plus d'une moitié est occultée par les nuages, l'estimation de sa nébulosité dépassant **4 octas** sans toutefois atteindre celle d'un ciel couvert.

Nous pouvons en outre retenir :

- un ciel avec une nébulosité située entre **1 et 3 octas** dit « peu nuageux », que l'on juge largement dégagé malgré la présence effective de nuages.
- un ciel avec une nébulosité entre **4 et 5 octas** dit « assez nuageux », que les nuages recouvrent pour moitié, si ce n'est davantage.
- un ciel avec une nébulosité entre **6 et 7 octas** dit « très nuageux », qui est recouvert en grande majorité de nuages.

En ce qui concerne nos stations météorologiques algériennes, la classification établie est la suivante:

- **0-1-2 octas** correspondent à un ciel clair.
- **3-4-5 octas** correspondent à un ciel semi couvert.
- **6-7-8 octas** correspondent à un ciel couvert.

Pour la C.I.E, le type de ciel est basé sur la classification introduite par M. PERRAUDEAU qui est basée sur « l'indice de nébulosité »  $I_N$  et qui est calculé par la formule suivante :

$$I_N = \frac{1 - CR_M}{1 - CR_T} \dots \dots \dots [32]$$

**CR** : Cloud Ratio =  $\frac{\text{Rayonnement horizontal diffus}}{\text{Rayonnement horizontal global}}$

<sup>31</sup> **Météo France**. « Nébulosité » [En ligne] [http://www.meteofrance.com/FR/glossaire/designation/369\\_curieux\\_view.jsp](http://www.meteofrance.com/FR/glossaire/designation/369_curieux_view.jsp) (Page consultée le 22 Février 2005)

<sup>32</sup> **MUDRI, Ljubica**. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p 1-14.

$CR_M$  : la valeur mesurée de CR.

$CR_T$  : la valeur théorique moyenne de CR par ciel clair.

Le tableau 2.1 indique l'intervalle de l'indice de nébulosité correspondant à chaque type de ciel:

**Tableau 2.1: Classification des types de ciel selon M. Perraudau.**

Source : L. MUDRI, 2002.

Cas	Indice de nébulosité	Observation
1	$0,00 < I_n < 0,05$	Ciel couvert C
2	$0,05 < I_n < 0,20$	Ciel intermédiaire couvert IC
3	$0,20 < I_n < 0,70$	Ciel intermédiaire médian IM
4	$0,70 < I_n < 0,90$	Ciel intermédiaire bleu IB
5	$0,90 < I_n < 1,00$	Ciel bleu B

### **2.3-Influence du type de ciel**

Comme nous l'avons déjà mentionné plus haut, la lumière naturelle traduit les fluctuations de l'état du ciel. Des études ont montré que le ciel couvert fournit un éclairage parfaitement symétrique par rapport à l'axe du local<sup>33</sup>, ce qui est dû au fait que la distribution des luminances de la voûte céleste de ce type de ciel est symétrique par rapport au zénith. Ce n'est cependant pas le cas d'un ciel clair puisque la répartition lumineuse d'un local éclairé naturellement par un ciel clair serein est très souvent fortement asymétrique et les valeurs d'éclairage intérieur sont nettement supérieures que par ciel couvert car la lumière solaire disponible diminue fortement lorsque le ciel se couvre.

### **-Conclusion**

Il demeure très difficile de décrire avec précision le climat lumineux d'une région, en raison des nombreux facteurs entrants en jeu. Face à cette difficulté, la Commission Internationale de l'Eclairage<sup>34</sup> a lancé en 1991 à l'échelle internationale, un vaste programme de mesures « International Daylight Measurement Programme » dont le but

<sup>33</sup> DE HERDE, André et al. « La variation de l'éclairage naturel ». Université Catholique de Louvain La Neuve (Belgique) [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be/NouvelleConception/theorie/NcthEclairage Nat.htm](http://www-energie.arch.ucl.ac.be/NouvelleConception/theorie/NcthEclairage%20Nat.htm) (Page consultée le 20 mars 2004)

<sup>34</sup> Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat. « Thèmes principaux ». Vaulx-en-Velin : ENTPE. 2001 [En ligne] <http://idmp.entpe.fr/vaulx/stufr.htm> (Page consultée le 20 Février 2005)

est de définir les tendances climatiques lumineuses des différentes régions à travers le globe terrestre en terme de rayonnement solaire. Les mesures relevées dans les cinquante stations I.D.M.P sont:

1. les éclairements lumineux horizontaux globaux et diffus.
2. les éclairements lumineux verticaux globaux: Nord, Est, Sud et Ouest.
3. les éclairements énergétiques horizontaux globaux et diffus.
4. la luminance du zénith de la voûte céleste.
5. la température sèche.
6. l'humidité relative.
7. la direction et la vitesse du vent.

Mais, le nombre des stations de mesure reste insuffisant. C'est pour cela que depuis 1996, les chercheurs travaillent sur l'utilisation des images satellites, qui fournissent une couverture spatiale complète de la terre, pour déterminer les « *éclairements lumineux* ».

Une fois le climat lumineux de la région identifié, le choix du type de dispositif d'éclairage naturel dépendra en second lieu de la destination et du type de local à éclairer. Dans notre étude, il s'agira d'identifier les exigences de l'éclairage intérieur des **salles de classe** qui assureront le « confort visuel » de ses occupants, à savoir les étudiants et les enseignants.

D'après certains auteurs<sup>1</sup>, les conditions de travail des adultes sont sévèrement réglementées à travers le monde, mais rien de tel n'existe pour les locaux d'enseignement. Les élèves et les enseignants, tout cycles confondus, travaillent souvent dans des conditions de confort visuel peu satisfaisantes.

En Algérie, plus de 8 millions de jeunes, représentant plus du quart de la population globale, sont sur les bancs d'écoles, collèges, lycées et universités<sup>2</sup>. Ces jeunes étudient pendant au moins 9 ans, durant 8 mois de l'année, 6 jours par semaine et 8 heures par jour dans une salle de classe. Cette période de vie concerne des êtres en pleine évolution, il faut donc leur assurer des conditions de travail optimales dans un environnement confortable, favorisé notamment par un bon éclairage. Il faut savoir que les performances visuelles demandées à ces jeunes sont considérables : « le travail scolaire consiste à capter, à retenir et à assimiler une multitude d'informations, dont 65% sont visuelles et seulement 35% sont orales. »<sup>3</sup>

Ce chapitre a pour but non seulement de démontrer l'impact de la lumière naturelle sur les performances intellectuelles des élèves et étudiants en milieu scolaire : un atout qui fut durant longtemps objet de controverse, mais également d'identifier les exigences d'un environnement visuel confortable dans les salles de cours. En bref, dans ce chapitre nous allons examiner et mentionner les besoins en éclairage des salles de cours et préciser les façons de répondre techniquement et économiquement à leurs exigences.

### **1-Impact de la lumière naturelle en milieu scolaire**

L'impact de l'éclairage naturel sur les performances intellectuelles des écoliers a constitué un sujet d'intérêt durant plusieurs décennies. Dès 1965, dans une compilation d'études sur les classes sans fenêtres, C.T. LARSON<sup>4</sup> a conclu que ces dernières n'avaient pas d'effets négatifs sur leurs utilisateurs. D'après cet auteur, « la valeur éducative d'un tel

---

<sup>1</sup> **Association Promotelec.** Label Promotelec : éclairage salles de classe. Paris : Promotelec. 2002, p2.

<sup>2</sup> Algérie. **Conseil Supérieur de l'éducation.** Principes généraux de la nouvelle politique éducative et la réforme de l'enseignement fondamental : Synthèse du document de base. Alger : Conseil Supérieur de l'éducation. Mars 1998, p13.

<sup>3</sup> **Association Française de l'Eclairage.** Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987, p12.

<sup>4</sup> **LARSON, C.T.** in **GROUPE HESCHONG MAHON.** Daylighting in schools: An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance. Californie: Pacific Gas and Electric Company. Août 1999, p6.

point de vue [que les fenêtres sont nécessaires pour l'apprentissage des élèves] devrait être établi contre le coût d'installer et maintenir les fenêtres des classes ».

De son côté, B. COLLINS<sup>5</sup>, interpellée par la tendance de la conception des écoles et tous les types de bâtiments sans fenêtres aux Etats Unis, a conduit en 1974 une révision majeure de la littérature traitant des fenêtres. Elle cite d'un livre concernant les aspects comportementaux de la conception qui a conclu que les fenêtres ne sont pas nécessaires dans les classes : «aujourd'hui, les partisans des fenêtres manquent encore de données comportementalistes à l'appui de leur conviction et argumentent sur la base de métaphores et de suppositions, mais leurs arguments doivent s'appuyer sur des statistiques ». Ce même auteur a affirmé plus loin que : "les opposants aux écoles sans fenêtre puisent maintenant dans le besoin de communion avec la nature, le contact avec l'extérieur et la variation du stimulus qui est plus difficile à mesurer et dont l'importance n'est pas aisément apparente." COLLINS, elle-même, a trouvé que les recherches qui avait été faites jusqu'en 1974 étaient suggestives de l'importance des fenêtres, mais pas concluantes.

Depuis l'étude de Collins, d'autres recherches sur l'importance des ouvertures et de la lumière naturelle ont été faites, mais à l'origine dans les hôpitaux. C'est durant les années 90 que l'intérêt porté à l'éclairage dans les établissements d'enseignement a proliféré : en effet, plusieurs études suggérant un rapport entre l'éclairage naturel et l'augmentation des performances des élèves ont produit une excitation considérable parmi les partisans de l'éclairage naturel. Ces études, suscitées par un intérêt croissant aux environnements naturels et sains, ont contribué à faire renaître la question de l'éclairage naturel dans les écoles. En 1991, par exemple, l'étude conduite par HATHAWAY, HARGREAVES, THOMPSON et NOVITSKY<sup>6</sup> pour le Département de l'Éducation de l'Alberta, au Canada, a examiné l'impact de quatre différents systèmes d'éclairage artificiels sur les résultats scolaires, la santé et l'assiduité à l'école chez les élèves de l'élémentaire. Pour cela, des médecins, des éducateurs, des travailleurs sociaux, des diététiciens et des dentistes ont contribué à l'étude. L'hypothèse nulle énonçait que le type de lumière n'avait aucun effet marquant sur les résultats scolaires des élèves, sur leur croissance et leur développement, l'assiduité et l'historique dentaire. Mais l'étude a démontré que les

---

<sup>5</sup> COLLINS, B. Windows and People: a Literature Survey. Psychological Reaction to Environments With and Without Windows. National Bureau of Standards. 1975, p5.

<sup>6</sup>W. E. HATHAWAY et al. A Study Into the Effects of Light on Children of Elementary School Age-A Case of Daylight Robbery. Edmonton: Alberta Education. 1992, p19-23.

élèves, sous la lumière à spectre complet se rapprochant le plus de la lumière naturelle avec des traces d'ultraviolet ont:

1. appris plus vite.
2. mieux réussis.
3. grandi plus vite.
4. eu 1/3 moins d'absences dûes à la maladie.
5. eu 2/3 moins de caries dentaires.

Une autre recherche entreprise en Suède et datant de 1992, conduite par KULLER et LINDSTEN<sup>7</sup>, a revu l'impact de la lumière du jour sur le comportement d'écoliers élémentaires. Ces chercheurs ont suivi la santé, le comportement et le niveau d'hormone de 88 écoliers de huit ans, dans quatre classes, au cours d'une année scolaire. Ces classes avaient des conditions d'éclairage naturel et d'éclairage électrique très différentes : deux avaient de la lumière du jour, deux n'en n'avaient pas; deux avaient des lampes fluorescentes blanches chaudes (3000K), deux avaient des lampes fluorescentes très froides (5500K). Les résultats ont démontré une corrélation considérable entre la disponibilité de la lumière du jour, les niveaux d'hormone, et le comportement des écoliers et ont conclu que les classes sans fenêtres devraient être bannies.

Aux Etats-Unis, les établissements scolaires ont lutté pour trouver une solution à la triste performance des étudiants aux examens standardisés en essayant des programmes alternatifs, de différentes méthodes d'enseignement, des nouveaux livres, des professeurs mieux formés, de plus petites classes, des tuteurs après l'école, des sessions du samedi et même des années scolaires plus longues. Dans l'ensemble, les dirigeants scolaires ont dû s'intéresser de plus près à l'espace physique où l'apprentissage a lieu ; c'est-à-dire la classe. Ils se posèrent la question suivante : Est-ce qu'une partie de la solution au problème serait d'améliorer l'éclairage dans les classes? Pour répondre à cette question, l'étude du groupe HESHONG MAHON<sup>8</sup>, dirigée par Fair Oaks Energy (une firme consultante pour The State Board for Energy Efficiency and Pacific Gas and Electric Co.) et qui avait pour objet l'épargne de l'énergie, fut la première à évaluer l'impact de la

---

<sup>7</sup> KULLER, R and LINDSTEN, C. "Health and Behavior of Children in Classrooms with and without Windows". *Journal of Environmental Psychology*, n° 12 (1992), p 305-317.

<sup>8</sup> GROUPE HESHONG MAHON. Daylighting in schools: An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance. Californie: Pacific Gas and Electric Company. Août 1999, p 35; 48; 54.

lumière du jour sur l'apprentissage. Cette perspective qui date de 1999, une des plus vastes jamais faite sur la lumière naturelle dans les écoles, suggère que les enfants apprennent plus vite et réussissent mieux dans les examens standards en classe en ayant plus de lumière du jour.

A cet effet, le groupe Heschong Mahone a apporté aux statisticiens, à des fins d'analyse, des résultats de test de plus de 21.000 élèves d'écoles élémentaires dans trois districts d'école de l'ouest: Capistrano en Californie, Fort Collins au Colorado et Seattle à Washington. L'étude a utilisé une méthode statistique sophistiquée appelée « analyse de régression » pour contrôler les caractères sociaux des élèves, les variations dans la grandeur de la classe et d'autres facteurs connus pour affecter l'apprentissage. Les résultats furent déconcertants :

- Au Capistrano Unified School District, une comparaison entre 750 classes a montré le plus d'amélioration dans celles qui disposaient le plus de lumière du jour. Les élèves des classes avec l'éclairage naturel ont progressé 20% plus vite aux tests de mathématiques et 26% plus vite aux tests de lecture par rapport aux classes sans la lumière naturelle. Similairement, les élèves des classes avec des surfaces de fenêtres plus grandes ont progressé 15% plus vite en mathématiques et 23% plus vite en lecture.
- À Seattle et à Fort Collins, les élèves des classes bénéficiant le plus de l'éclairage du jour ont eu des résultats plus élevés de 7% à 18% que ceux qui étaient le moins exposés.

Bien que les trois districts avaient des programmes, des styles d'enseignement, des modèles d'édifices et des climats très différents, les résultats de l'étude ont montré de forts effets significatifs et constamment positifs sur la performance des élèves suite à l'éclairage du jour, car ils semblaient plus attentifs et plus concentrés. D'après Kenneth J. Cooper<sup>9</sup>, la principale théorie qui explique le résultat de cette recherche est que la lumière naturelle augmente l'apprentissage en stimulant la vue, l'humeur et la santé des élèves et des professeurs. Cette étude a été reconnue comme la première rigoureuse de la sorte, puisqu'elle amène à confirmer ce que certains dessinateurs d'écoles ont soutenu en se

---

<sup>9</sup>**Kenneth J. Cooper** "Study Says Natural Classroom Lighting Can Aid Achievement". *Washington Post Staff Writer* (26 Novembre 1999), p A14 [En ligne] [http://www.orientationsnova.com/fnov\\_1999.htm](http://www.orientationsnova.com/fnov_1999.htm) (Page consultée le 24/02/2005)

basant sur cette évidence anecdotique: les enfants apprennent mieux lorsqu'ils sont éclairés par des ouvertures zénithales ou des fenêtres que par des lampes électriques. Ainsi, cette découverte va contre la théorie du plan de l'école des années 70 qui éliminait les fenêtres dans les classes de façon à ce que les élèves ne soient pas distraits par les allées et venues extérieures.

## **2-Tâches visuelles dans les salles de classe**

Les tâches visuelles auxquelles sont confrontés les élèves et étudiants dans une salle de cours sont multiples:

- lecture ou écriture d'un document disposé sur le plan utile.
- lecture de ce qui est écrit au tableau.
- regard prolongé vers le professeur ou vers un autre élève.
- visualisation de films, de diapositives, d'émissions télévisées.
- travail sur ordinateur.

A travers ces données, nous constatons que le caractère principal de la tâche visuelle dans les salles de cours consiste à alterner entre une vision rapprochée et une vision éloignée. En effet, l'élève écrit sur une table (vision rapprochée), regarde le tableau (vision éloignée), revient à son cahier (vision de près), observe son professeur (vision de loin)... Ce qui implique des changements d'accommodation et de convergence mais aussi des changements d'adaptation rapides.

## **3-Confort visuel dans les salles de classe**

### **3.1-Définition du « confort »**

Etymologiquement, le terme *confort*, tiré du mot anglais « *comfort* », fait allusion au « bien être matériel résultant des commodités de ce dont on dispose » ou à « l'ensemble des éléments qui contribuent à la commodité matérielle et au bien-être » mais également au « sentiment de bien-être et de satisfaction ».<sup>10</sup>

Quant aux spécialistes de l'éclairage, C.A. ROULET le définit comme étant « une sensation subjective fondée sur un ensemble de stimuli »<sup>11</sup>, c'est-à-dire des facteurs

---

<sup>10</sup> « Confort » dans *Dictionnaire Encyclopédique Larousse*. Paris : Librairie LAROUSSE, 1979, p351.

<sup>11</sup> **ROULET, Claude-Alain**. *Energétique du bâtiment II : Prestations du bâtiment, bilan énergétique global*. Collection « Gérer l'Environnement ». Lausanne : Presses Polytechniques Romandes. 1987. p37.

internes ou externes qui provoquent une réponse de l'organisme. Selon l'auteur, le critère de confort correspond à la satisfaction des occupants.

Comme nous le voyons, les termes employés pour définir le « confort » (bien être, sentiment, sensation..) attestent du caractère subjectif de ce concept. Les facteurs internes et externes susceptibles de provoquer cette sensation restent indéterminés. En effet, la définition du confort reste ambiguë car tout dépend de l'appréciation personnelle de chaque individu : ce qui est « confortable » pour certains, peut ne pas l'être pour les autres et ceci dépendra de nombreux facteurs à la fois physiologiques et psychologiques.

### **3.2-Définition du « confort visuel »**

D'après le Syndicat de l'Eclairage de France, le *confort visuel* fait référence aux « conditions d'éclairage nécessaires pour accomplir une tâche visuelle déterminée sans entraîner de gêne pour l'œil ». <sup>12</sup>

Selon L. MUDRI, il implique « l'absence de gêne qui pourrait provoquer une difficulté, une peine et une tension psychologique, quel que soit le degré de cette tension ». <sup>13</sup>

Quant à l'association Haute Qualité Environnementale<sup>14</sup>, elle définit le « *confort visuel* » comme la dixième cible du projet de bâtiment de Haute Qualité Environnementale. Ses exigences élémentaires en matière d'éclairage sont les suivantes :

- éclairage naturel optimal en terme de confort et de dépenses énergétiques.
- éclairage artificiel satisfaisant et en appoint de l'éclairage naturel.
- relation visuelle suffisante avec l'extérieur.

Le confort visuel, cible importante pour un établissement d'enseignement, est largement fonction des apports d'éclairage naturel qui procure une meilleure qualité de lumière, tant au niveau physiologique que psychologique, qu'un éclairage électrique.

---

<sup>12</sup> **Syndicat de l'éclairage** « L'éclairage et le confort visuel ». Paris. p1 [En ligne] [www.syndicat-eclairage.com](http://www.syndicat-eclairage.com) (Document pdf consulté le 20 mai 2004)

<sup>13</sup> **MUDRI, Ljubica.** De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris. Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p 2-3.

<sup>14</sup> **HETZEL, J.** Haute qualité environnementale du cadre bâti : enjeux et pratiques. Paris: AFNOR. 2003, p 155.

### **3.3-Éléments du confort visuel dans les salles de classe**

Les principes de mise en œuvre du confort visuel, selon l'association H.Q.E, sont les suivants<sup>15</sup> :

- disposer de la lumière du jour dans les zones d'occupation situées en fond de pièce.
- rechercher un équilibre des luminances de l'environnement lumineux extérieur.
- éviter l'éblouissement direct et indirect.
- accéder à des vues dégagées et agréables depuis les zones d'occupation des locaux.
- protéger l'intimité de certains locaux.
- faire appel à des revêtements clairs pour la décoration des locaux.
- optimiser les parois vitrées, en terme de confort visuel, en traitant leur positionnement, dimensionnement et protection solaire.

D'une manière générale, un environnement visuel confortable (Figure 3.1), donc favorable à l'exécution d'une tâche visuelle sera obtenu par:

1. Un niveau d'éclairage suffisant.
2. Une répartition harmonieuse de la lumière.
3. L'absence d'éblouissement.
4. L'absence d'ombre gênante.
5. Un rendu de couleur correct.
6. Une teinte de lumière agréable.

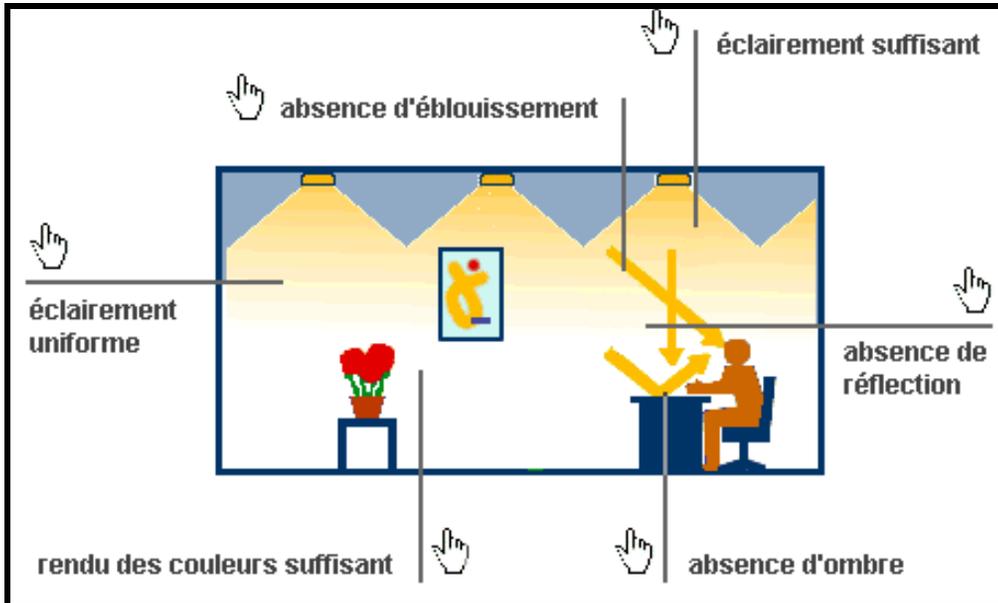
Par ailleurs, la satisfaction de ces six exigences à la fois dans un même espace peut s'avérer difficile à réaliser. Des priorités sont donc à définir en fonction de la tâche visuelle à accomplir dans cet espace. La figure 3.2 résume ces exigences selon le type de la tâche visuelle à effectuer.

---

<sup>15</sup>**HETZEL. J.** Haute qualité environnementale du cadre bâti : enjeux et pratiques. Paris: AFNOR. 2003, p155.

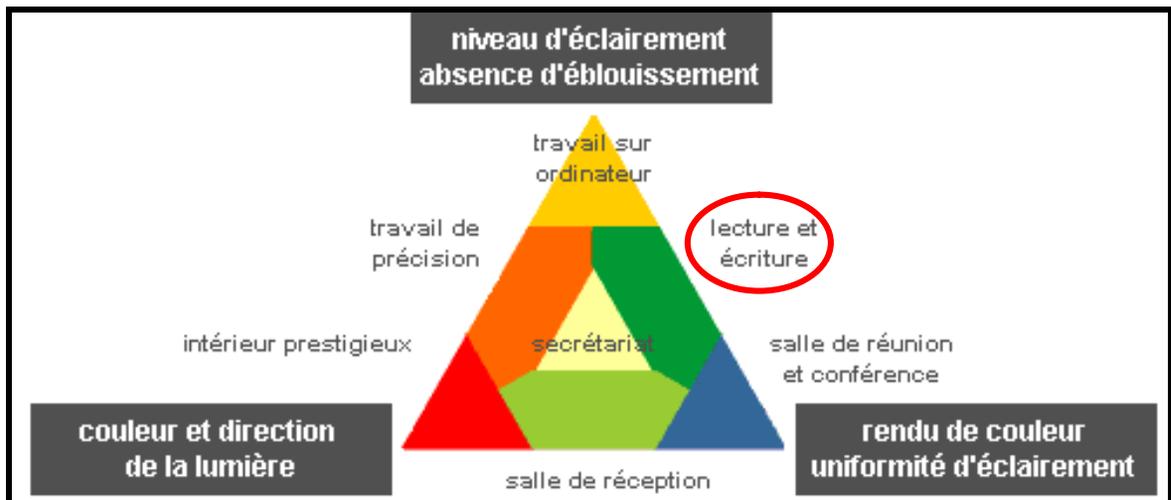
**Figure 3.1: Eléments du confort visuel.**

Source : A. DE HERDE & al.[www-energie.arch.ucl.ac.be]



**Figure 3.2 : Exigences du confort visuel en fonction de la tâche visuelle.**

Source : DE HERDE & al.[www-energie.arch.ucl.ac.be]



Pour la lecture et l'écriture, les deux tâches visuelles principales effectuées dans les salles de cours, les exigences nécessaires pour établir un confort visuel optimum sont:

1. un niveau d'éclairage suffisant.
2. une uniformité de l'éclairage.
3. l'absence d'éblouissement.
4. un rendu de couleur correct.

Par contre, la couleur de la lumière n'a pas beaucoup d'importance. Elle peut agrémenter l'ambiance lumineuse dans ces locaux, mais n'a pas d'effet direct ou préjudiciable sur l'exécution des tâches visuelles des élèves et des enseignants.

### **3.3.1-Niveau d'éclairage lumineux**

Les locaux d'enseignement, plus particulièrement les salles de cours, doivent bénéficier d'un niveau d'éclairage lumineux adéquat pour l'exécution des différentes tâches visuelles qui s'y accomplissent. Il permettra une bonne vision des tâches visuelles et facilitera l'accommodation rapide de l'œil pour passer de l'une à l'autre.

Selon l'Association Française de l'Eclairage<sup>16</sup>, le choix de la valeur d'éclairage dans une salle de cours dépend de *facteurs humains* tels que l'âge des occupants et les anomalies de vision, de *facteurs d'ambiance* comme la couleur des parois du local et du mobilier, ainsi que de *facteurs économiques* tels que le coût de l'installation, les dépenses de fonctionnement et d'entretien..., en plus de la difficulté de la tâche visuelle.

#### **a- Facteur humain : l'âge**

L'œil change à de nombreux égards à mesure que nous vieillissons. Ces changements réduisent notre perception des détails, notre sensibilité aux contrastes, la discrimination des couleurs, et la vitesse d'adaptation et de traitement des sensations visuelles. Il faut savoir que les capacités visuelles de l'homme évoluent: elles sont optimales vers 20 ans et se dégradent ensuite lentement.<sup>17</sup> Ce facteur « âge » affecte, d'une part, le pouvoir d'accommodation qui atteint son optimum à 5 ans pour commencer à décroître jusque vers 50 ans. D'autre part, la diffusion de la lumière dans l'œil augmente avec l'âge, altérant

---

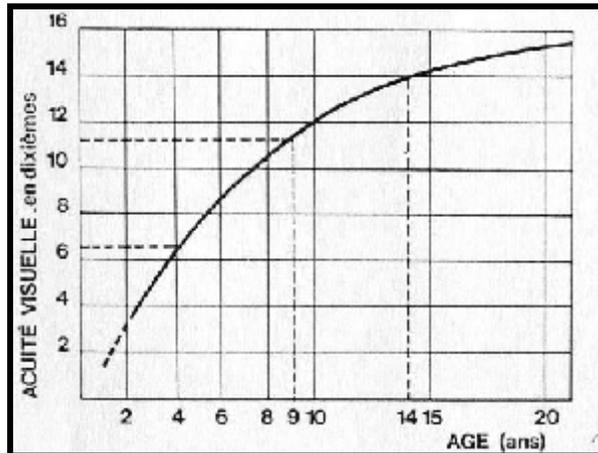
<sup>16</sup> Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987, p 26.

<sup>17</sup> Idem, p8.

ainsi la visibilité des objets. Quant à l'acuité visuelle, qui est un paramètre important de la vision en milieu scolaire, elle croît en moyenne avec l'âge, comme l'indique la figure 3.3 et augmente encore plus, lorsque l'éclairement lumineux croît.

**Figure 3.3 : Variation de l'acuité visuelle en fonction de l'âge.**

Source : A.F.E, 1987.

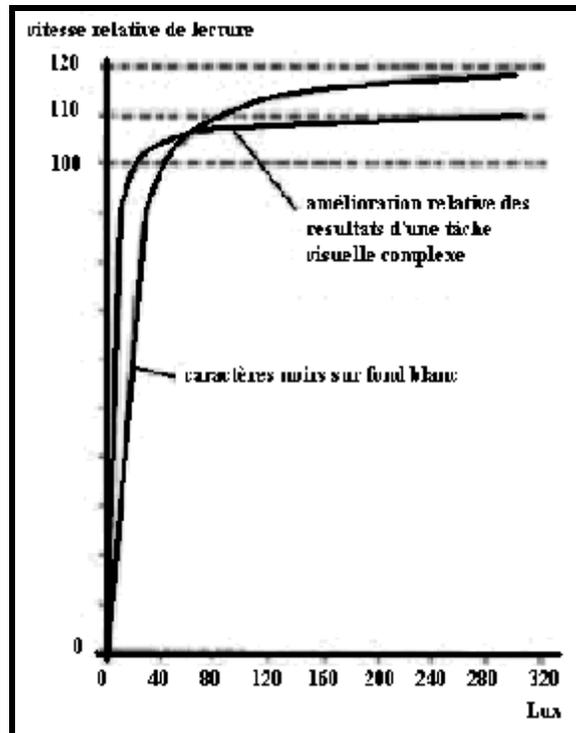


Il faut noter également que la performance visuelle chez l'homme diminue au fur et à mesure que la difficulté de la tâche visuelle augmente, et cette dernière croît avec l'âge. La durée de travail aussi influe fortement sur la performance visuelle qui, pour un niveau de lumière constant et un travail de même nature, décroît avec l'accroissement de la durée de ce travail.

Tous ces aspects nous amènent à conclure que les performances visuelles des étudiants (dont l'âge est supérieur à 18 ans) en milieu universitaire, où la difficulté des tâches visuelles ainsi que la durée du travail sont importantes (8 heures par jour en moyenne), peuvent être réduites à cause de la fatigue visuelle. Seul un éclairement lumineux suffisant (plus important que celui recommandé pour les élèves du premier et second degré) augmentera leurs performances et compensera la dégradation de la vision liée à l'âge, comme l'indique la figure 3.4.

**Figure 3.4 : Impact du niveau d'éclairément sur la performance visuelle**  
**d'après Baumgardt.**

Source : B. DENOEUDE, 2002-2003.



**b- Facteur d'ambiance:**

**-couleur des parois internes**

La luminance d'une surface mate est proportionnelle au produit de l'éclairément qu'elle reçoit par son « facteur de réflexion ».<sup>18</sup> Ainsi, pour accroître la luminance d'un local en présence de parois internes de couleur sombre, c'est-à-dire à facteur de réflexion faible, l'éclairément lumineux doit être plus important que si les parois sont de couleur claire, c'est-à-dire à facteur de réflexion élevé.

En règle générale, que ce soit en éclairage direct ou indirect, il est toujours préférable de favoriser les parois de couleur claire et mate, de manière à bien diffuser la lumière sans former de reflets brillants et à éviter un trop fort contraste avec les prises de jour et les luminaires.

<sup>18</sup> Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987, p 24.

Quant à la couleur du plafond, elle joue un rôle peu important lorsque l'éclairage est direct. Mais son rôle devient primordial lorsqu'il s'agit de distribuer la lumière naturelle en profondeur dans un local. En éclairage indirect (électrique ou naturel), le plafond sert de diffuseur à la lumière ; il doit donc toujours avoir le coefficient de réflexion le plus élevé.

En ce qui concerne le plancher, il est rarement complètement libre et dégagé : le mobilier y représente souvent une surface importante. La couleur du sol aura donc peu d'influence sur la qualité et la quantité de l'éclairage. La seule recommandation est que la luminance du sol doit être inférieure à celle des plans de travail.<sup>19</sup>

### **-Couleur des plans de travail**

La clarté des tables de travail constitue un élément favorable au confort visuel dans les salles de cours, car la réduction du contraste entre le support papier et la table diminue les efforts d'accommodation de l'oeil à chacun de ses déplacements. De plus, il est conseillé d'utiliser des revêtements mates pour les plans de travail et les tableaux de manière à limiter les luminances excessives et les risques d'éblouissement indirect par réflexion.

### **-Impact d'un éclairage insuffisant sur les occupants**

D'après les spécialistes, un niveau d'éclairage insuffisant entraîne progressivement une diminution du pouvoir de perception (diminution de l'acuité et de la sensibilité aux contrastes). Cela peut occasionner dans les salles de cours, un plus grand pourcentage d'erreurs dans la retranscription des cours et la compréhension des élèves.

Pour l'ergonome B. DENOEUDE<sup>20</sup>, un éclairage lumineux insuffisant cause une dispersion élevée des résultats obtenus par l'ensemble d'une population, représentée dans les salles de cours par les élèves, dispersion d'autant plus élevée que les détails sont fins et l'éclairage faible (Figure 3.5). Il entraîne également une baisse globale des résultats, qu'il s'agisse de la lecture ou de toute autre tâche visuelle, surtout si l'éclairage est inférieur à 100 lux (Figure 3.4).

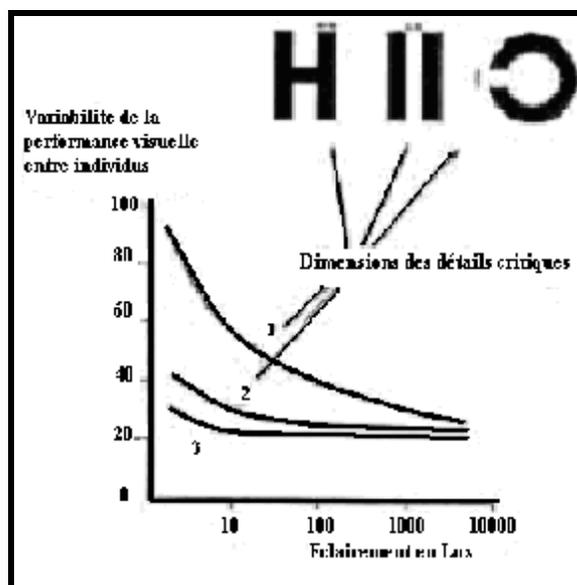
---

<sup>19</sup> Association Française de l'Éclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987, p 25.

<sup>20</sup> B. DENOEUDE. Ergonomie B1: L'éclairage. Paris: Conservatoire National des Arts et Métiers. 2002-2003, p89.

**Figure 3.5 : Variabilité des performances visuelles selon l'éclairage et l'acuité visuelle de la tâche, d'après Weston.**

Source : B. DENOEUDE, 2002-2003.



### **3.3.2-Uniformité de l'éclairage**

Si le niveau d'éclairage et la luminance varient dans le champ visuel, une adaptation de l'œil est nécessaire lorsque le regard se déplace. Durant ce moment, l'acuité visuelle est diminuée, entraînant des fatigues inutiles. Pour l'éviter, il faut donc respecter une certaine homogénéité dans les conditions d'éclairage.

#### **3.3.2.1- Uniformité de l'éclairage**

Selon la Norme Européenne EN 12464-1: «éclairage intérieur des lieux de travail», la répartition lumineuse ou l'uniformité des niveaux d'éclairage (exprimée par l'indice d'uniformité  $I_u$ ) est définie comme étant « le rapport entre l'éclairage minimum ( $E_{\min}$ ) et l'éclairage moyen ( $E_{\text{moy}}$ ) observé dans la zone de travail ». <sup>21</sup>

$$I_u = E_{\min} / E_{\text{moy}}$$

<sup>21</sup> DE HERDE, André et al. "Répartition lumineuse". Université Catholique de Louvain La Neuve, Belgique [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be) (Page consultée le 25 mars 2005)

La zone de travail correspond à la zone où la tâche visuelle est exécutée. Dans les salles de cours, cette zone est représentée par la surface d'un bureau ou d'une table à une hauteur de 0.7 mètre, la surface d'un tableau vertical, ....

En règle générale, pour obtenir un éclairage uniforme, l'éclairage maximum ( $E_{\max}$ ) et l'éclairage minimum ( $E_{\min}$ ) relevés dans un local ne doivent pas s'écarter de plus du 1/6 de l'éclairage moyen ( $E_{\text{moy}}$ ).<sup>22</sup>

Un éclairage uniforme dans une salle de cours est nécessaire pour éviter d'incessantes et fatigantes adaptations des yeux et pour garantir une qualité d'éclairage semblable, quel que soit l'endroit où se trouve l'élève. Pour cela, il faut éviter les zones d'ombre trop importantes dans le local, sur le plan de travail et entre les locaux adjacents (classes – couloir par exemple). De plus, une certaine uniformité de couleur entre l'environnement et la tâche visuelle est préférable :

- entre support papier et plan de travail.
- entre plan de travail et murs.

Il est également nécessaire d'éclairer le plafond d'un local dans les limites de 30 à 90% de l'éclairage du plan utile et de maintenir l'éclairage des parois entre 50 et 80% de l'éclairage de ce dernier, car la luminance des parois internes doit être en équilibre avec la luminance de la tâche.<sup>23</sup>

### **3.3.2.2- Uniformité de la luminance**

En ce qui concerne l'uniformité de la luminance, elle dépend de la répartition des sources lumineuses et de la réflexion des parois. Elle est d'autant meilleure que les réflexions de chaque paroi sont élevées et uniformément réparties (couleurs uniformes).

Il est très important, du point de vue adaptation, de garder les rapports de luminance entre les différentes zones du champ visuel (Figure 3.6) dans des proportions limitées (effet statique). De même, entre les différentes zones susceptibles d'être fixées successivement

---

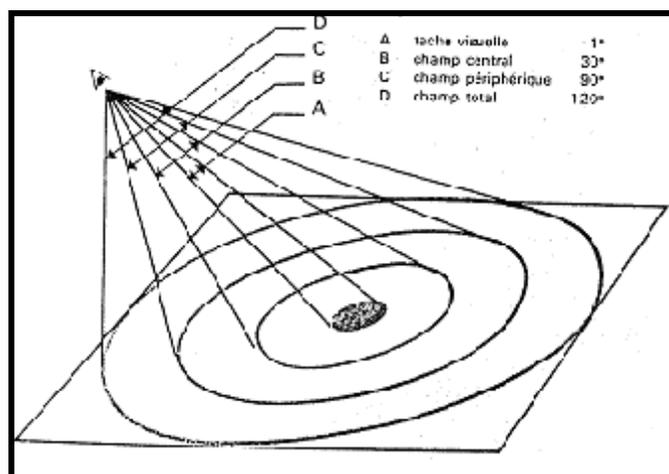
<sup>22</sup> B. DENOEUDE. Ergonomie B1 : L'éclairage. Paris : Conservatoire National des Arts et Métiers. 2002-2003, p 94.

<sup>23</sup> Idezm, p 95.

(tables- tableaux) et entre le champ visuel en position de travail (le plan de travail) et au repos (les murs). C'est ce qu'on appelle « l'effet dynamique ». <sup>24</sup>

**Figure 3.6 : Zones du champs visuel.**

Source : Société Saint-Gobain.



Pour garantir une répartition harmonieuse des luminances, il convient aussi de ne pas dépasser certaines valeurs de contraste entre les différentes zones du champ visuel ou les surfaces de référence, car des rapports trop importants entre différentes plages lumineuses réduisent la performance visuelle des sujets.

### **3.3.3-Eblouissement**

L'éblouissement est dû à la présence, dans le champ de vision, de luminances excessives (sources lumineuses intenses) ou de contrastes de luminance excessifs dans l'espace ou dans le temps. Ce phénomène est directement lié à l'adaptation de l'œil qui n'est pas instantanée et qui est régie par trois mécanismes<sup>25</sup> :

- Le fonctionnement mécanique de la pupille.
- La réaction chimique de la rétine.
- La commutation dans le système visuel nerveux.

<sup>24</sup> Société Saint Gobain. Les verres et le rayonnement naturel. Paris: Saint-Gobain, p15.

<sup>25</sup> Association Française de l'Éclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987, p 8.

### **3.3.3.1-Types d'éblouissement**

Suivant l'origine de l'éblouissement, nous pouvons distinguer : l'éblouissement direct et l'éblouissement indirect.

#### **a- L'éblouissement direct**

L'éblouissement direct est produit par un objet lumineux (lampe, fenêtre, ...) situé dans la même direction que l'objet regardé ou dans une direction voisine. Nous pouvons cependant définir deux types d'éblouissement direct :

##### **a.1- Eblouissement d'inconfort**

L'éblouissement d'inconfort résulte de la vue en permanence de sources lumineuses de luminances relativement élevées (soleil ou ciel par exemple). D'après M. LA TOISON<sup>26</sup>, cet éblouissement peut créer de l'inconfort sans pour autant empêcher la vue de certains objets ou détails. Il se rencontre, selon A. DE HERDE et al.<sup>27</sup>, dans des locaux où l'axe du regard est toujours relativement proche de l'horizontale. C'est le cas des classes ou des bureaux par exemple.

Des expériences ont montré que l'éblouissement d'inconfort produit par la vue directe d'un ciel à travers une ouverture, doit être évalué lorsque la luminance moyenne du ciel excède 8900 cd/m<sup>2</sup>, ce qui correspond à un éclairage total du ciel de 28000 lux.<sup>28</sup> Son évaluation se fait selon la méthode U.G.R (United Glare Rating System) de la C.I.E qui a remplacé les deux méthodes européennes qui prévalaient jusqu'ici, qui sont: les courbes limites de Söllner (méthode allemande) et Glare Indice (méthode anglaise).

$$UGR = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{\rho^2} \right) \dots\dots\dots[29]$$

<sup>26</sup> LA TOISON, Marc. Introduction à l'éclairagisme. Paris : Eyrolles. 1982, p 101.

<sup>27</sup> DE HERDE, André et al. "Le confort visuel". Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be) (Page consultée le 25 mars 2005)

<sup>28</sup> The Chartered Institution of Building Services Engineers. Applications manual: Window design. London : CIBSE. 1987, p 36.

<sup>29</sup> « Norme EN/12464-1 : Lumière et éclairage : Eclairage des lieux de travail - Lieux de travail intérieurs » [En ligne] [www.bbri.be](http://www.bbri.be) (Page consultée le 10 mai 2004)

Où :

- $L_b$  est la luminance de fond.
- $L$  est la luminance contenant les parties lumineuses de chaque luminaire dans la direction de l'observateur.
- $\omega$  est l'angle solide des parties lumineuses de chaque luminaire au niveau de l'oeil de l'observateur.
- $\rho$  est l'indice de position de Guth pour chaque luminaire se rapportant à la position du luminaire par rapport à l'axe visuel.

### **a.2- Eblouissement invalidant ou perturbateur**

L'éblouissement invalidant est provoqué par la vue d'une luminance très élevée pendant un temps très court. D'après M. LA TOISON<sup>30</sup>, celui-ci peut, juste après l'éblouissement, empêcher la vision de certains objets sans pour autant créer de l'inconfort. Ce cas se présente dans les salles de sport, par exemple, où l'axe de vision d'un sportif est constamment changeant.

### **b- Eblouissement indirect**

L'éblouissement indirect (Figure 3.7) est produit par des réflexions de sources lumineuses sur des surfaces brillantes (écrans d'ordinateur, plan de travail, tableau ...). Lorsque la lumière se réfléchit dans le champ visuel, les contrastes sont réduits. Mais la présence de reflets peut rendre impossible la lecture de certaines parties d'un message écrit ou dessiné. De plus, il est courant de voir des élèves essayer de corriger cette situation en adoptant une mauvaise position de travail (tête tournée ou penchée, rotation du corps, ...) qui entraîne à terme une certaine fatigue physique.

---

<sup>30</sup> LA TOISON, Marc. Introduction à l'éclairagisme. Paris : Eyrolles. 1982, p 101.

**Figure 3.7 : Cas d'éblouissement indirect dans une salle de cours.**

Source : DE HERDE et al.[www-energie.arch.ucl.ac.be]



Réflexions sur le plan de travail



Réflexions sur les écrans d'ordinateur



Réflexions sur les tableaux de présentation

Comme le montre la figure 3.7, les problèmes d'éblouissement indirect risquent d'apparaître dans les salles de cours si le tableau est brillant et si les luminaires de l'éclairage général présentent une luminance importante, ou bien si le tableau est brillant et que les luminaires spécifiques au tableau sont trop éloignés de ce dernier.

**3.3.3.2- Eblouissement et éclairage naturel**

En éclairage naturel, l'éblouissement peut être provoqué soit par la vue directe du soleil, soit par une luminance excessive du ciel vu par les fenêtres (éblouissement direct), ou bien par des parois très réfléchissantes (éblouissement indirect) qui provoquent des contrastes trop élevés par rapport aux surfaces avoisinantes.

Il faut savoir que l'éblouissement d'inconfort produit par la vue d'un ciel brillant à travers une ouverture suit un modèle d'évaluation différent de celui produit par des sources d'éclairage électrique relativement petites. En effet, en éclairage naturel, l'augmentation de la surface apparente de l'ouverture ou de l'angle sous tendu par celle-ci n'augmente pas la sensation d'éblouissement, comme c'est le cas en éclairage électrique, mais au contraire. Selon CIBSE<sup>31</sup>, une plus grande ouverture à la lumière naturelle cause moins d'éblouissement qu'une petite, car elle augmente le niveau d'adaptation des yeux et diminue le contraste de luminance. De plus, une grande ouverture augmente la luminance

<sup>31</sup> **The Chartered Institution of Building Services Engineers.** Applications manual: Window design. London : CIBSE. 1987, p36.

des surfaces intérieures car elle permet l'admission de plus de flux lumineux vers l'intérieur.

Il a été prouvé aussi, qu'un éblouissement léger dû à des sources naturelles est mieux toléré par les occupants qu'un éblouissement causé par des sources artificielles et que des facteurs, autres que la source d'éblouissement et ses alentours, affectent le degré d'inconfort visuel, comme par exemple l'apparence de l'ouverture, le mode d'utilisation du local, l'utilisation de protections solaires et la vue sur l'extérieur.<sup>32</sup> En effet, il a été démontré qu'une ouverture procurant une vue intéressante, est plus acceptée qu'une autre à travers laquelle on n'aperçoit principalement que le ciel. Ces facteurs impliqués dans la sensation d'inconfort, dont certains sont d'ordre psychologiques, aboutissent à une échelle d'indice d'éblouissement différente par rapport à celle de l'éclairage électrique.

### **3.3.3.3- Contrôle de l'éblouissement**

Pour éviter l'éblouissement produit par les ouvertures, il est souvent nécessaire de réduire leur luminance excessive par rapport à celle de la tâche visuelle en adoptant des systèmes appropriés, dont nous citerons ici quelques uns :

- Concevoir une grande fenêtre moins éblouissante que plusieurs petites ou bien distribuer les ouvertures sur plusieurs murs. Ceci aura pour effet d'augmenter la luminance d'adaptation de l'environnement général ainsi que la luminance du mur de fenestration qui réduit l'inconfort en diminuant le contraste avec le ciel.
- Diminuer le contraste mur-huisserie grâce à un cadre de couleur claire et matte.
- Occulter le ciel et le soleil par une protection solaire fixe ou mobile, selon l'orientation.
- Diminuer le contraste mur-fenêtre : soit en éclairant (naturellement ou artificiellement) le mur de fenestration, soit en augmentant la composante réfléchie interne de l'éclairage naturel : c'est-à-dire opter pour des réflectances élevées des surfaces internes en utilisant des couleurs claires et mates. Ou bien en augmentant la composante réfléchie externe par l'utilisation de support extérieur bas, de linteau et des montants d'ouverture de couleurs claires.

---

<sup>32</sup> **The Chartered Institution of Building Services Engineers.** Applications manual: Window design. London : CIBSE. 1987, p38.

- Les supports intérieurs réfléchissants sont à proscrire car ils augmentent les risques d'éblouissement par réflexion.
- Voiler en partie le ciel : soit en assombrissant la fenêtre par un élément déflecteur, ou bien en disposant à l'extérieur des éléments moins lumineux que le ciel (atrium, cour intérieure).
- Diminuer la luminance du ciel en utilisant des verres de basse transmission.

Il ne faut cependant pas oublier de mentionner que ces moyens de contrôle de l'éblouissement, applicables aussi bien pour l'éclairage latéral que pour l'éclairage zénithal, réduisent en même temps la vue sur l'extérieur et les attributs essentiels de l'éclairage naturel.

### **3.3.4-Ombres portées**

En fonction de sa direction, la lumière peut provoquer l'apparition d'ombres marquées, qui risquent de perturber l'exécution des tâches visuelles. Ce risque survient dans deux cas:

1. lorsque la lumière provient du côté droit pour les droitiers ou du côté gauche pour les gauchers.
2. lorsque la lumière est dirigée dans le dos des occupants.

La présence d'ombres sur le plan de travail en classe, perturbe la lecture et l'écriture et risque de conduire à une mauvaise position de travail. C'est le cas généralement lorsque la lumière solaire pénètre directement dans un espace. A l'inverse, une lumière non directionnelle, donc diffuse, créée avec un éclairage purement indirect, rendra difficile la perception des reliefs. Selon DE HERDE et al. : « une pénétration latérale de la lumière naturelle satisfait généralement la perception tridimensionnelle du relief des objets et de leur couleur, grâce à sa directionnalité et à sa composition spectrale. »<sup>33</sup>

Afin de réduire les risques d'ombre gênante dans les salles de cours disposant d'un système d'éclairage unilatéral, l'Association Française de l'Eclairage<sup>34</sup> recommande que la direction principale du regard soit parallèle au vitrage et celui-ci doit être positionné du côté gauche des élèves car la majorité écrit avec la main droite. Une autre solution consiste

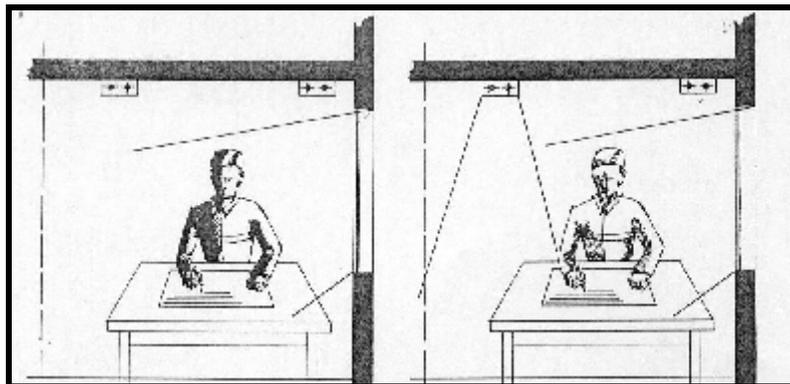
<sup>33</sup>DE HERDE, André et al. "Le confort visuel", Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be) (Page consultée le 25 mars 2005)

<sup>34</sup>Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris: LUX. 1987, p13.

à faire fonctionner une rangée de luminaires disposée parallèlement aux ouvertures à certains moments de la journée : ceci réduira les ombres gênantes des mains pour les gauchers (Figure 3.8). Mais en présence d'éclairage bilatéral, le problème ne se pose pas.

**Figure 3.8 : Usage d'éclairage mixte pour réduire les zones d'ombre.**

Source : AFE, 1987.



### **3.3.5-Rendu de couleur**

Toute source lumineuse, qu'elle soit naturelle ou artificielle, présente un spectre lumineux qui lui est particulier. La lumière naturelle présente un spectre visible de forme continue. Le mélange des diverses radiations qui constituent ce spectre, forme par définition, la lumière dite « blanche ». C'est la seule qui permet à l'œil d'apprécier avec la plus grande exactitude, la couleur des objets et les plus délicates de leurs nuances.<sup>35</sup>

Étant donné que l'œil est conçu pour la lumière du jour, la lumière émise par les sources artificielles doit avoir la même composition spectrale que celle du soleil et du ciel pour que la vision des couleurs ne soit pas altérée, car un corps coloré réfléchit sélectivement les radiations colorées qu'il reçoit. Le système visuel regroupe ces différentes radiations réfléchies et donne une sensation de couleur. La couleur ainsi perçue est donc intimement dépendante du spectre lumineux émis, c'est-à-dire de « l'indice de rendu de couleur ».

D'après M. PERRAUDEAU, *l'indice de rendu des couleurs*, désigné par l'abréviation IRC ou Ra, indique « les aptitudes de la lumière émise par une source à restituer l'aspect coloré

<sup>35</sup> DE HERDE, André et al. " Le confort visuel", Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be) (Page consultée le 25 mars 2005)

de l'objet éclairé ». <sup>36</sup> La Commission Internationale de l'Eclairage <sup>37</sup> a défini un indice général de rendu des couleurs dont la valeur maximale est de 100, correspondant à l'indice de rendu de couleur de la lumière naturelle.

### **3.3.6-Teinte de la lumière**

Les radiations colorées émises par les objets peuvent produire certains effets psychophysiologiques sur le système nerveux. C'est ainsi que les couleurs de grandes longueurs d'onde (rouge, orange) ont un effet stimulant, tandis que celles de courtes longueurs d'onde (bleu, violet) ont un effet calmant. Les couleurs intermédiaires (jaune, vert) ont, de même que le blanc, un effet tonique et favorable à la concentration. Elles sont donc très recommandées dans les salles de cours. Par contre, les couleurs foncées et le gris ont une action déprimante. <sup>38</sup>

Ces différentes teintes de lumière sont désignées par un facteur dit « température de couleur » qui est défini par la C.I.E comme étant « la couleur apparente de la lumière fournie par une source ». <sup>39</sup> Elle est exprimée en degré KELVIN et permet de classer les lampes en :

- blanc " *teinte chaude* " lorsque  $T_c < 3300$  ° K.
- blanc " *intermédiaire* " lorsque  $T_c$  entre 3300 ° et 5000 ° K.
- blanc " *teinte froide* " lorsque  $T_c > 5000$  ° K.

En sachant que la lumière naturelle est caractérisée par une température de couleur égale à 5000°K.

---

<sup>36</sup> **PERRAUDEAU, Michel.** « Lumière et couleur ». *Technique de l'Ingénieur*. Vol. C6, n° C 3 340 (1981) p 18.

<sup>37</sup> **MILLER, François.** « L'éclairage des lieux de travail : Notions de base ». AIMT du Bas – Rhin [En ligne] <http://www.sdv.fr/aimt67/dossier/eclairage.html> (Page consultée le 26 mars 2004)

<sup>38</sup> **DE HERDE, André & al.** « La teinte de la lumière ». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be) (Page consultée le 12 décembre 2004)

<sup>39</sup> **MILLER, François.** « L'éclairage des lieux de travail : Notions de base ». AIMT du Bas – Rhin [En ligne] <http://www.sdv.fr/aimt67/dossier/eclairage.html> (Page consultée le 26 mars 2004)

**Conclusion**

De nombreuses recherches menées sur l'éclairage intérieur des locaux d'enseignement, ont confirmé que la présence de la lumière naturelle y est indispensable, particulièrement dans les salles de classe, où des effets très bénéfiques ont été enregistrés sur le comportement des élèves et des enseignants.

Toutefois, la présence de la lumière naturelle dans les salles de classe doit impérativement assurer le « confort visuel » de ses occupants, grâce à l'interaction de plusieurs facteurs qui ont des répercussions tant sur le plan physiologique que psychologique des individus. Ces facteurs quantitatifs et qualitatifs énumérés plus haut, doivent s'inscrire dans des limites fixées par une **réglementation spécifique à l'éclairage des salles de cours**.

La réglementation en matière de techniques du bâtiment est complexe et en constante évolution et couvre tous les domaines de la construction, notamment celui de l'éclairage dont les règles, qui sont indiquées par type d'activité ou de locaux, sont censées couvrir les besoins des tâches habituelles effectuées dans ces locaux.

Le but de ce chapitre est, d'abord, de déterminer les différents objectifs ainsi que les différentes sources de la réglementation technique de l'éclairage. Il s'agit, ensuite, de rassembler les différentes règles spécifiques à l'éclairage des salles de cours qui serviront de base à notre évaluation du dispositif d'éclairage naturel dans les salles de cours du bloc des lettres de l'université Mentouri de Constantine.

### **1-Objectifs de la réglementation de l'éclairage**

D'après H. LAEDLEIN<sup>1</sup>, les objectifs d'une réglementation technique de l'éclairage dans le bâtiment sont les suivants :

- Assurer le confort visuel des occupants. (voir Chapitre 3)
- Assurer la sécurité des occupants contre tous risques possibles. Cet aspect est traduit par de très nombreux textes, notamment ceux qui traitent de « l'éclairage de sécurité » des bâtiments.
- Assurer à l'occupant des conditions d'hygiène acceptables, notamment en ce qui concerne le rapport minimal de la surface des ouvertures à la surface du plancher des locaux à éclairer (indice de vitrage).
- Assurer la pérennité et la durabilité de la construction et de ses installations : il s'agit d'une notion intimement liée au concept du développement durable.
- L'économie : cette exigence est relativement nouvelle et concerne surtout l'économie d'énergie.

---

<sup>1</sup> LAEDLEIN, Hervé. Réglementation technique de la maison individuelle : guide pratique du constructeur. Série CATED. Paris : Eyrolles. 1979, p 3-4.

## **2-Outils de la réglementation de l'éclairage**

Face à la réglementation, il est possible d'envisager différents types de classements. En ce qui nous concerne, il s'agira de distinguer les textes en fonction de leur origine :

1-les textes législatifs appelés « Règlements de construction ».

2-les textes normatifs.

3-les règles techniques.

### **2.1- Règlements de construction:**

D'après le Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismiques, « les règlements de construction sont les documents établis par un organe officiel (administration ou autorité responsable). Ils contiennent des dispositions visant à assurer les exigences de sécurité, de stabilité, d'hygiène, et le niveau du confort compatibles avec les exigences sociales et de l'environnement pendant la construction et pendant toute la durée de service du bâtiment »<sup>2</sup>. Ces règlements sont obligatoires pour tous en raison de leur origine et regroupent :

#### **2.1.1-Lois, décrets et arrêtés :**

A l'origine de ces textes, on trouve la Constitution. Les lois sont promulguées par le Chef de l'Etat, votées par le Parlement et publiées dans le Journal Officiel. Pour ce qui concerne les décrets, ils sont pris par le Premier Ministre et contresignés par le ou les ministres intéressés pour être ensuite publiés dans le Journal Officiel dans les rubriques propres à chaque ministère. Ils se distinguent par un numéro, une date et un intitulé. Quant aux arrêtés, ils peuvent être soit ministériels (pris par un seul ministre, à l'échelon national), soit interministériels (pris par plusieurs ministres, à l'échelon national) ou bien des arrêtés municipaux (pris par les Maires, à l'échelon des communes).

**2.1.2- Les circulaires, Instructions, Notes** : qui ne sont pas à proprement parler des textes réglementaires, mais des documents internes à l'administration par lesquels les

---

<sup>2</sup>Algérie. Ministère de l'Habitat. Réglementation technique algérienne du bâtiment : concepts et nomenclature. Alger : Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismiques C.G.S. Mars 1998, p1.

ministres, notamment, donnent des directives ou des recommandations aux agents d'exécution. Ces documents n'ont, en principe, aucune autorité vis-à-vis des personnes étrangères à l'administration.<sup>3</sup>

## **2.2- Textes normatifs**

D'après le C.G.S : « les normes de construction sont les documents définissant surtout les propriétés essentielles des bâtiments, des composants et des produits qui les constituent, leurs dimensions, leurs caractéristiques et leurs performances. Elles renseignent souvent aussi sur la façon dont ces caractéristiques peuvent être vérifiées. D'une manière générale, les normes sont liées aux règlements de construction du fait que les caractéristiques qu'elles définissent, satisfont aux exigences de ces règlements. C'est pourquoi les règlements souvent s'y réfèrent. »<sup>4</sup>

D'après B. DENOEUDE<sup>5</sup>, ces normes résultent de compromis à une date donnée, entre les données scientifiques disponibles, les exigences économiques et les représentations sociales de ces problèmes. Elles sont sujettes donc à révision et à évolution en fonction des technologies disponibles et des exigences sociales.

## **2.3-Règles techniques**

Les textes techniques constituent un ensemble de recommandations dont le respect donne l'assurance d'une bonne construction mais dont l'application n'est strictement obligatoire que dans un certain nombre de cas : ils n'ont pas un caractère réglementaire. Les « textes techniques » regroupent les Documents Techniques Réglementaires (D.T.R), les Règles Professionnelles, les Avis Techniques...ect.<sup>6</sup>

## **3-Réglementation relative à l'éclairage des salles de classe**

La réglementation relative à l'éclairage des locaux d'enseignement diffère d'un pays à un autre. Elle concerne surtout les établissements du premier et second degré mais il n'existe pas une réglementation spécifique aux établissements universitaires.

---

<sup>3</sup> LAEDLEIN, Hervé. Réglementation technique de la maison individuelle : guide pratique du constructeur. Série CATED. Paris : Eyrolles. 1979, p 9.

<sup>4</sup>Algérie. **Ministère de l'Habitat**. Réglementation technique algérienne du bâtiment : concepts et nomenclature. Alger : Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismiques C.G.S. Mars 1998, p1.

<sup>5</sup> B. DENOEUDE. Ergonomie B1 : L'éclairage. 2002-2003, p 90.

<sup>6</sup>LAEDLEIN, Hervé. Réglementation technique de la maison individuelle : guide pratique du constructeur. Série CATED. Paris : Eyrolles. 1979, p 16.

Pour notre étude, nous nous intéresserons à la réglementation qui régit quatre pays en particulier, à savoir: la France, la Belgique, le Royaume Uni et enfin, l'Algérie pour des fins de comparaison.

### **3.1- La Réglementation française**

Comme nous l'avons souligné dans le paragraphe consacré aux outils de la réglementation, la France a recours dans sa réglementation technique de la construction aux textes législatifs, aux normes établis par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), ainsi qu'aux textes techniques qui regroupent à la fois le D.T.U (documents réglementaires unifiés), les Règles Professionnelles établies par les professionnels (AFE, PROMOTELEC) et les Avis Techniques établis par le C.S.T.B.

#### **3.1.1-Textes législatifs**

Etablis par le Ministère de l'Education Nationale<sup>7</sup>, il existe trois textes relatifs à l'éclairage des locaux d'enseignement :

1. **L'arrêté ministériel du 30 mars 1965** (B.O. n°15 du 22 avril 1965) qui définit des niveaux d'éclairage en service, de confort visuel et d'entretien pour la construction neuve.
2. **La circulaire n°77-408 de l'éducation nationale du 27 octobre 1977** (B.O. n°41 du 17 novembre 1977) qui conseille, pour des raisons d'économies d'énergie, le remplacement progressif des lampes à incandescence par des tubes fluorescents.
3. **La circulaire n°80-182 du 24 avril 1980** qui conseille le montage en duo des tubes fluorescents (éclairage électrique).

Parmi ces trois documents officiels, nous avons constaté que l'arrêté ministériel du 30 mars 1965 (B.O. n°15 du 22 avril 1965) relatif aux établissements scolaires et universitaires fournit le plus d'indications sur les exigences du confort visuel dans les

---

<sup>7</sup> **Fédération de l'éclairage.** « A propos de circulaires de l'Education Nationale relatives à l'éclairage des salles de classes » [En ligne] <http://www.feder-eclairage.fr/engagements/9.htm> (Page consultée le 18 avril 2004).

salles de classes en terme de niveaux d'éclairage (Tableau 4.1), de répartition des luminances et d'éblouissement.

Tableau 4.1: **Niveaux d'éclairage en service exigés dans les salles de cours par le Ministère de l'Education Nationale.**

Source : B.O. n°15 du 22 avril 1965.

Type de local	Eclairage lumineux (Lux)	
	Minimum	Recommandé
Classes et salles de cours		
Eclairage sur les tables des élèves	150	300
Eclairage sur les tables des maîtres	200	400
Dans les classes des élèves amblyopes	400	700
Tableaux noirs ou colorés	300	500

Pour l'équilibre des luminances, l'arrêté ministériel<sup>8</sup> exige les rapports de luminance suivants :

- Entre la tâche visuelle et le champ central : 1 à 1/3
- Entre la tâche visuelle et le champ périphérique : 1 à 1/10
- Entre la tâche visuelle et le champ total : 1 à 1/100

Quant aux revêtements des salles de cours, les facteurs de réflexion exigés par l'arrêté ministériel sont indiqués dans le tableau 4.2.

<sup>8</sup> France. Ministère de l'Education Nationale. « Arrêté du 30 mars 1965 : Réglementation de l'éclairage dans les locaux scolaires et universitaires » (BOEN n°15 du 22 avril 1965).

**Tableau 4.2 : Facteurs de réflexion recommandés par****le Ministère de l'Éducation Nationale.**

Source : B.O.E.N n°15 du 22 avril 1965.

Surface	Facteur de réflexion
Plafonds	0,75 à 0,85
Murs au voisinage des foyers lumineux	0,60 à 0,70
Murs éloignés des foyers lumineux	0,40 à 0,50
Dessus des tables de travail	0,40 à 0,50
Sols	0,20 à 0,30

Pour réduire les risques d'éblouissement dans les salles de cours, le Ministère de l'Éducation Nationale exige le contrôle:

1. *De la luminance des foyers de lumière* : dans le cas des foyers constitués par des enveloppes en matière diffusante, il ne faut utiliser que des appareils de luminance inférieure à 0,2 candela par cm<sup>2</sup>. Dans le cas de l'utilisation de réflecteurs, les sources lumineuses devront être masquées à la vue directe.
2. *De la position des foyers* : il est recommandé de disposer les foyers lumineux à une hauteur telle que la ligne droite joignant les yeux des élèves (en position de travail) à un foyer, fasse un angle minimum de 30° avec le plan horizontal qui passe par l'œil de l'élève (en position de travail).
3. *De la luminance du fond et de l'environnement* : réduire les contrastes entre les foyers et le fond sur lequel ils sont vus. A cet effet, les surfaces voisines des appareils devront être peintes en teintes claires et mates.
4. *Des reflets gênants* : supprimer les reflets gênants en adoptant des positions de foyers telles que des images gênantes ne puissent se produire. De plus, il faut utiliser des revêtements suffisamment mats pour les murs, plafonds, sols, tables de travail, bâtis de machines, etc.

Quant au mode d'éclairage électrique, l'arrêté ministériel permettait l'usage des sources à fluorescence aussi bien que les sources à incandescence car leur rayonnement ultraviolet était considéré comme négligeable et les inconvénients qui pouvaient résulter du phénomène de papillotement pouvaient être aisément éliminés par des montages

appropriés. Cet arrêté exige également que tout le matériel d'éclairage électrique doit être accessible afin de permettre des nettoyages aisés et fréquents, en sachant que le flux lumineux rayonné par une source lumineuse diminue à mesure qu'elle vieillit. Cette diminution est considérablement accrue par la poussière accumulée sur les ampoules, tubes, surfaces diffusantes et réfléchissantes des sources.

De ce qui précède, nous constatons que la majorité des prescriptions des textes législatifs français concernent plus l'installation d'éclairage électrique que l'éclairage naturel. Mais aussi que les valeurs d'éclairement en service recommandées représentent le double des éclairements minimums. Ce qui est le plus intéressant à souligner c'est que la législation française a pris en compte une anomalie de la vision connue sous le nom de « l'amblyopie » et qui fait référence à la diminution de l'acuité visuelle sans altération organique de l'œil.<sup>9</sup> Des expériences ont montré qu'on pouvait réduire cet handicap en prévoyant des éclairements supérieurs de 50 à 100% à ceux recommandés pour les sujets normaux. En plus, il est recommandé que les éclairements de l'environnement ne doivent pas être inférieurs à 25% de l'éclairement de la tâche visuelle et que la luminance des luminaires ne doit pas dépasser 1000 cd/m<sup>2</sup> dans les zones où un éblouissement est possible.<sup>10</sup>

### **3.1.2-Textes techniques**

#### **3.1.2.1- Recommandations de l'A.F.E**

L'Association Française de l'Eclairage (A.F.E) produit régulièrement des séries de recommandations relatives aux différents types d'établissements, dont celles consacrées aux établissements scolaires. Ces recommandations concernent plus particulièrement les écoles maternelles, ainsi que les établissements d'enseignement du premier et second degré dont voici quelques extraits :

##### **a- Niveaux d'éclairement lumineux**

Le tableau 4.3 résume les niveaux d'éclairement recommandés dans les établissements d'enseignement du premier et second degré :

---

<sup>9</sup> « Amblyopie » dans *Dictionnaire Le Petit Larousse* sur CD-ROM, Paris : Larousse.

<sup>10</sup> **Association Française de l'Eclairage.** Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris : LUX. 1987, p9.

Tableau 4.3 : **Niveaux d'éclairage moyen recommandés par l'A.F.E**  
**Enseignement du premier et second degré.**

Source : A.F.E, 1987

Position	Eclairage moyen en service (Lux)	Eclairage moyen à maintenir (lux)
Plan de travail	400	325
Tableaux	500	425

### **b- Uniformité de l'éclairage**

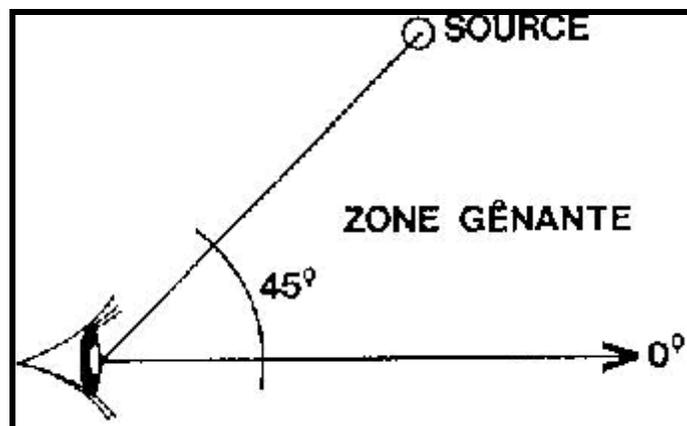
D'après l' A.F.E <sup>11</sup>, l'indice d'uniformité ( $I_u$ ) calculé pour le plan de travail ne doit pas être inférieur à **0,8**. Quant au rapport des niveaux d'éclairage moyen entre la salle de classe et les locaux contigus en communication avec celle-ci, il doit être compris entre **1** et **5**. Concernant l'éclairage vertical des tableaux, le rapport de l'éclairage minimal à l'éclairage maximal ne doit pas être inférieur à **0,5**.

### **c- Eblouissement**

D'une manière générale, la direction du regard des élèves dans les classes est horizontale. Ainsi et pour éviter tout risque d'éblouissement, l'angle compris entre la direction considérée et l'horizontale, doit être toujours supérieur à **45°** (Figure 4.1). D'autre part, la luminance des surfaces voisines de la tâche visuelle doit être inférieure à la luminance de cette dernière, mais supérieure au tiers de sa valeur.<sup>12</sup>

**Figure 4.1 : Angle critique d'éblouissement.**

Source : AFE, 1987.



<sup>11</sup> Association Française de l'Eclairage. Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris : LUX. 1987, p26.

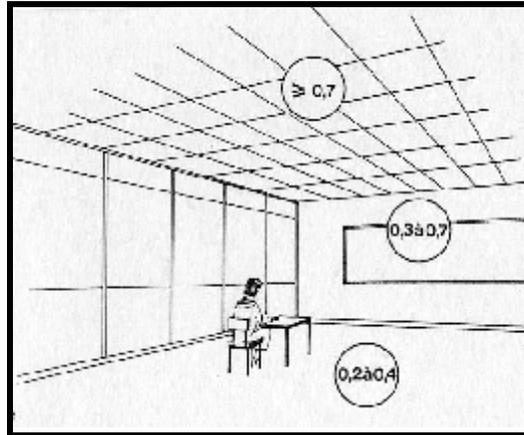
<sup>12</sup> Idem, p24.

#### **d- Facteurs de réflexion**

Les facteurs de réflexion des surfaces internes des salles de classe recommandés par l'A.F.E sont indiqués dans la figure 4.2:

#### **Figure 4.2 : Facteurs de réflexion recommandés par l' A.F.E.**

Source : A.F.E, 1987.



Pour le plafond par exemple, du plâtre blanc (facteur de réflexion 0,70) ou une peinture pastel-jaune dont le facteur de réflexion est de 0.75, peut répondre à cette exigence.

#### **3.1.2.2- Recommandations de l'association Promotelec**

Aujourd'hui, le référentiel de l'ensemble des professionnels et des utilisateurs pour l'éclairage des salles de classe en France, est le « Label Promotelec éclairage des salles de classe »<sup>13</sup> qui donne la garantie d'une installation de qualité, autant sur le plan des résultats photométriques et de la sécurité électrique, que celui du coût global (coûts d'installation, d'exploitation et de maintenance).

En effet, l'Association Promotelec<sup>14</sup>, en collaboration avec l'Association française de l'éclairage et le Syndicat de l'éclairage, propose un label pour les salles d'enseignement qui concerne les écoles maternelles et élémentaires, les établissements secondaires et supérieurs ainsi que les établissements d'enseignement général et technique. Son cahier des prescriptions définit les règles à respecter et les matériels à utiliser pour l'obtention d'un système d'éclairage performant et garantissant de bonnes conditions de travail pour les

<sup>13</sup> **Fédération de l'éclairage.** « A propos de circulaires de l'Education Nationale relatives à l'éclairage des salles de classes » [En ligne] <http://www.feder-eclairage.fr/engagements/9.htm> (Page consultée le 18 avril 2004)

<sup>14</sup> **Association Promotelec.** « Eclairage des salles de classe ». [En ligne] <http://www.promotelec.com/public/pages/eclairage.htm> (Page consultée le 26 mars 2004)

élèves et les professeurs. Ces prescriptions techniques concernent à la fois l'éclairage général des salles ainsi que l'éclairage vertical des tableaux.

### **a- Eclairage Général**

L'éclairage horizontal moyen à la mise en service de l'installation doit être d'au moins **500 lux** sur le plan utile. Cette valeur correspond à **325 lux** à maintenir. Quant au facteur d'uniformité (Iu), il doit être supérieur à **0,8**.<sup>15</sup> Les facteurs de réflexion retenus sont indiqués dans le tableau 4.4 :

**Tableau 4.4 : Facteurs de réflexion recommandés par  
l'Association Promotelec.**

Source : Association Promotelec, 2002.

Surface	Facteur de réflexion
Plafonds	0,7
Murs	0,5
Plan utile	0,3

### **b- Eclairage des tableaux**

L'éclairage moyen initial vertical sur la surface totale du tableau des salles de classe doit être d'au moins **600 lux**, sans tenir compte de l'apport de l'éclairage général. D'autre part, le rapport de l'éclairage minimal sur éclairage maximal doit être supérieur à **0,5**.<sup>16</sup>

### **c- Lampes et luminaires**

Les lampes recommandées par le label Promotelec sont des lampes fluorescentes tubulaires rectilignes (diamètre maximal : 26mm) ou fluorescentes compactes d'intégration, à haute efficacité. Leur température de couleur (Tc) doit être comprise entre

<sup>15</sup> **Association Promotelec.** Label Promotelec Eclairage des salles de classe : cahier des prescriptions. Paris : Promotelec. Septembre 2002, p 5.

<sup>16</sup> Idem, p 6.

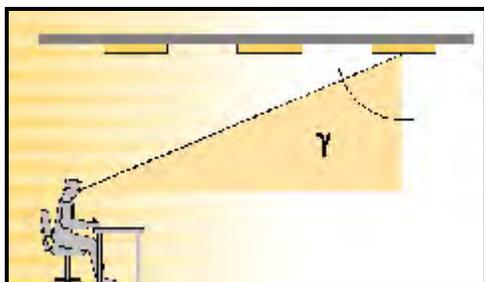
**3000 et 4 000 °K** et leur indice de rendu des couleurs (IRC) doit être supérieur ou égal à **85**.<sup>17</sup>

En ce qui concerne les luminaires, ils doivent être alimentés par des ballasts électroniques, de même qu'ils doivent présenter les caractéristiques suivantes pour l'éclairage général:

- ils doivent être de type « direct » ou « direct-indirect ».
- ils doivent avoir un rendement supérieur à 0,5.
- ils doivent être équipés d'optiques à miroirs longitudinaux, ou de révolution en aluminium, ou bien en matériau de synthèse aluminisé non irisable, brillanté ou satiné qui garantissent un haut facteur de réflexion.
- Pour le maintien dans le temps des propriétés de réflexion, ces optiques doivent être protégées par une oxydation anodique ou un procédé équivalent.
- ils doivent être munis de dispositifs de défilement (paralumes ou écrans) transversaux au moins plans et disposés verticalement.
- leur luminance moyenne sous les angles  $\gamma$  précisés ci-dessous et dans le plan  $C=90^\circ$ , ne doit pas dépasser les valeurs mentionnées dans le tableau 4.5:

Tableau 4.5 : **Luminances moyennes recommandées pour les luminaires**  
**selon l'angle  $\gamma$ .**

Source : Association Promotelec, 2002.



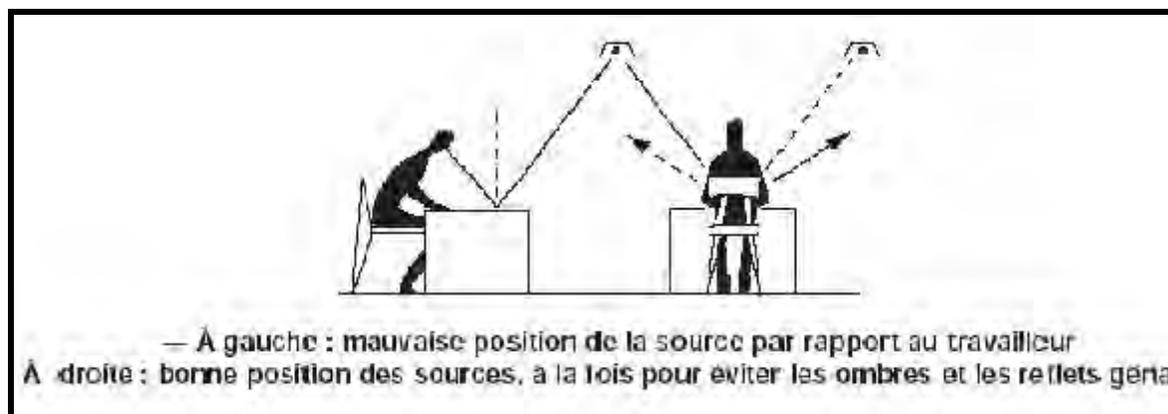
$\gamma$	Luminance moyenne
75°	2000 cd.m <sup>-2</sup>
65°	4000 cd.m <sup>-2</sup>
55°	6500 cd.m <sup>-2</sup>
45°	11000 cd.m <sup>-2</sup>

D'autre part et afin de limiter les reflets gênants sur les tables et l'éblouissement, l'association Promotelec recommande que l'axe des tubes soit parallèle à la direction d'observation privilégiée (Figure 4.3).

<sup>17</sup> **Association Promotelec**. Label Promotelec Eclairage des salles de classe : cahier des prescriptions. Paris : Promotelec. Septembre 2002, p 7.

**Figure 4.3 : Position recommandée des sources lumineuses.**

Source : Association Promotelec, 2002.

**3.2-La réglementation belge****3.2.1-Niveaux d'éclairage lumineux**

Les valeurs d'éclairage recommandées sont indiquées dans la norme belge NBN L 13-006: Eclairage des lieux de travail et dans l'article 62 du titre II du Règlement Général pour la Protection du Travail (Tableau 4.6).

Tableau 4.6: **Eclairages lumineux recommandés dans les salles de classe.**

Source : Article 62 du titre II du RGPT. [[www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be)]

<b>Les niveaux minimums (éclairages moyens à maintenir)</b>	
<b>Classe à aménagement fixe</b>	300 à 500 lux au niveau du plan de travail
<b>Classe à aménagement variable</b>	300 à 500 lux au niveau du sol
<b>Tableau</b>	500 à 700 lux sur le plan vertical, à 1,20 m de hauteur
<b>Document affiché dans les classes</b>	300 lux
<b>Écran d'ordinateur</b>	200 lux

**3.2.2-Uniformité de l'éclairage**

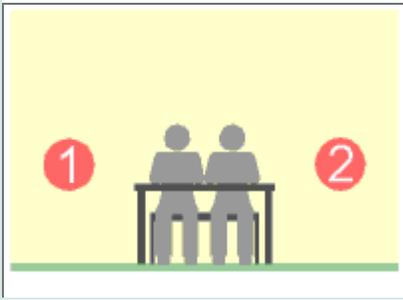
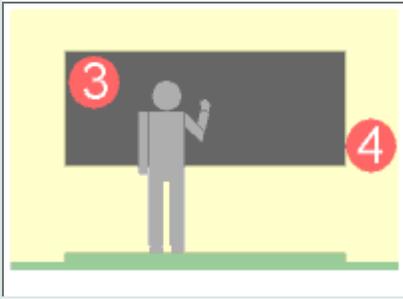
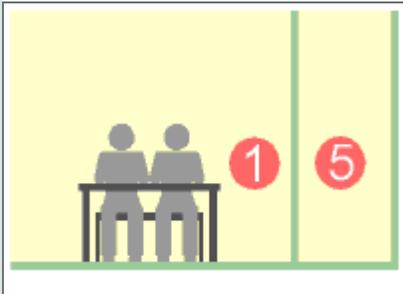
Les valeurs maximales recommandées pour les rapports de luminance dans les salles de cours sont les suivantes :

- arrière-fond de la tâche visuelle/entourage 3/1
- arrière-fond de la tâche visuelle/champ visuel (180°) 10/1
- sources lumineuses/surfaces contiguës 20/1
- pour l'ensemble de l'espace intérieur 40/1

Quant aux rapports d'éclairement lumineux, ils sont indiqués dans la figure 4.4:

**Figure 4.4 : Rapports d'éclairement lumineux recommandés.**

Source : DE HERDE, André et al. [[www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be)].

	<p>(2) <math>E_{\min \text{ classe}} / (1) E_{\text{moy classe}} &gt; 0,8</math></p> <p>Ce critère garantit qu'aucun élève ne dispose d'éclairement inférieur à 80 % de la moyenne.</p>
	<p>(4) <math>E_{\min \text{ tableau}} / (3) E_{\text{moy tableau}} &gt; 0,5</math></p>
	<p>(5) <math>E_{\text{moy couloir}} / (1) E_{\text{moy classe}} &gt; 0,2</math></p>

**3.2.3- Indice de rendu des couleurs**Tableau 4.7: **Indices de rendu de couleur recommandés dans les salles de cours.**

Source : NBN L 13-006 [www-energie.arch.ucl.ac.be]

Type de local	IRC	Classe de l'IRC
Classes	90 > Ra > 80	1B
Salles de réunion	90 > Ra > 80	1B
Ateliers graphiques	Ra > 80 (90 de préférence)	1B (1A)
Couloirs et escaliers	60 > Ra > 40	3

**3.2.4-Température de couleur**Tableau 4.8 : **Températures de couleur recommandées dans les salles de cours.**

Source : NBN L 13-006 [www-energie.arch.ucl.ac.be]

Type de local	Température de couleur (K)	de
Classes	entre 2 000 et 5 000 K	blanc chaud à blanc neutre
Salles de réunion	entre 2 000 et 3 500 K	blanc chaud
Ateliers	entre 3 500 et 5 000 K	blanc neutre
Ateliers graphiques	supérieur à 3 500 K (et de préférence > à 5 000 K)	lumière du jour froide

**3.2.5-Coefficients de réflexion**Tableau 4.9 : **Coefficients de réflexion recommandés dans les salles de classe.**

Source : [www-energie.arch.ucl.ac.be]

Coefficients de réflexion recommandés	
Murs	0,4 à 0,8
Murs supportant un tableau vert	0,3 à 0,5
Dessus des plans de travail	0,3 à 0,5
Sols	0,2 à 0,4
Plafonds	0,5 à 0,9

### **3.2.6- Facteur de lumière du jour**

Selon les normes belges, les valeurs recommandées pour le facteur de lumière du jour au fond des salles de cours, sont au minimum de l'ordre de **2 %**.<sup>18</sup>

## **3.3-La réglementation du Royaume Uni**

### **3.3.1-Textes techniques**

« The Chartered Institution of Building Services Engineers » (C.I.B.S.E), une division de « The Society of Light and Lighting », s'est beaucoup penchée sur la question de l'éclairage naturel dans le bâtiment et a développé des séries de recommandations pour les différents types de locaux, notamment en ce qui concerne les valeurs de facteur de lumière du jour. Le Tableau 4.10 indique les valeurs de Flj spécifiques aux locaux d'enseignement:

Tableau 4.10: **Valeurs de facteurs de lumière du jour recommandées par C.I.B.S.E pour les locaux d'enseignement.**

Source : CIBSE, 1987.

<b>local</b>	<b>FLJ moyen</b> <b>(%)</b>	<b>FLJ min</b> <b>(%)</b>	<b>Position de mesure</b>
<b>Halls</b>	1	0.3	Plan utile
<b>Classes</b>	5	2	Table
<b>Salles d'art</b>	5	2	Chevalet
<b>Laboratoires</b>	5	2	Bancs
<b>Salles de réunion</b>	5	1.5	Plan utile
<b>et locaux communs</b>			

<sup>18</sup>DE HERDE et al. « Le confort visuel ». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [En ligne] <http://www-energie.arch.ucl.ac.be/eclairage/theorie/ecltheconfortvisuel.htm> (Page consultée le 18 avril 2004)

### 3.3.2-Textes normatifs

Le guide de l'éclairage n° 5, intitulé « L'environnement visuel dans les salles de lecture, d'enseignement et de conférence » datant de 1991, constitue à lui seul une référence en matière d'éclairage des locaux d'enseignement. Ce guide renferme les principales règles techniques dans le domaine et s'appuie entièrement sur la Norme Européenne « **EN 12464-1 : éclairage intérieur des lieux de travail** ». Cette dernière qui a reçu le statut de Norme Britannique en janvier 2003, comprend divers tableaux qui reprennent en détail les prescriptions relatives à l'éclairage des zones intérieures, des tâches et des activités. Ainsi, pour chaque type de local sont indiqués la valeur minimale d'éclairement moyen, la valeur maximale d'UGR et l'indice minimum de rendu des couleurs. Les recommandations pertinentes de la norme « EN 12464-1 : éclairage intérieur des lieux de travail »<sup>19</sup> concernant l'éclairage des locaux d'enseignement, sont regroupées dans le Tableau 4.11 qui suit.

Tableau 4.11: Prescriptions de la Norme Européenne « EN 12464-1 : éclairage intérieur des lieux de travail » pour les locaux d'enseignement.

Source: The Society of Light and Lighting, 2003.

Type d'espace	Eclairement en Lux	Limites Eblouissement (UGR)	Indice de rendu des couleurs minimum (Ra)
<b>Classes, salles d'instruction.</b>	<b>300</b>	<b>19</b>	<b>80</b>
<b>Classes de soir et d'éducation des adultes, halls de lecture.</b>	<b>500</b>	<b>19</b>	<b>80</b>
<b>Tableaux.</b>	<b>500</b>	<b>19</b>	<b>80</b>
Tables de démonstration.	500	19	80
Salles d'art.	500	19	80
Salles d'art aux écoles d'art.	750	19	90

<sup>19</sup> « Norme EN/12464-1 : Lumière et éclairage : Eclairage des lieux de travail - Lieux de travail intérieurs » [En ligne] [http://www.bbri.be/antenne\\_norm/energie/fr/normes/eclairage/normes-EN/12464.html](http://www.bbri.be/antenne_norm/energie/fr/normes/eclairage/normes-EN/12464.html) (Page consultée le 10 mai 2004)

Salles de dessin technique.	750	16	80
Laboratoires et salles de travaux pratiques.	500	19	80
Salles de travail manuel, ateliers d'enseignement	500	19	80
Salles de music, laboratoires de langue.	300	19	80
Salles d'informatique.	300	19	80
Salles de préparation et ateliers.	500	22	80

### **3.4-La réglementation algérienne**

Le système des documents réglementaires servant de base pour la construction des bâtiments en Algérie, s'appuie sur les règlements de construction établis par les organes officiels et les normes de constructions auxquelles se réfèrent ces règlements.

En matière d'éclairage dans le bâtiment, les documents réglementaires sont rares et se résument dans les deux textes législatifs qui suivent:

#### **1-Article 35 du décret exécutif n°91-175 du 28/05/1991 : « Mesures générales applicables aux bâtiments à usage d'habitation »**

- Chaque pièce principale doit être éclairée et ventilée au moyen d'une ou plusieurs baies ouvrantes dont l'ensemble doit présenter une superficie au moins égale au huitième de la surface de la pièce.
- Cette disposition n'est pas applicable aux régions situées à une altitude égale ou supérieure à huit cents mètres, ni à la zone sud du territoire national. Un arrêté du ministère chargé de l'urbanisme précisera les conditions requises.
- Les jours de souffrance ne sont pas considérés comme des baies ouvrantes.
- les baies donnant sur une cour fermée surmontée d'un comble vitré ou sur une courette, ne sont pas considérées comme des baies ouvrantes.
- Les pièces secondaires peuvent se ventiler sur des gaines verticales.

- Pour les habitations individuelles à simple rez-de-chaussée, les baies des pièces principales peuvent s'ouvrir sur des cours fermées ou non couvertes de quatre mètres (4 m) sur quatre (4) au minimum.
- Les baies des pièces doivent être munies de protection efficace contre le rayonnement solaire.
- La profondeur des pièces principales des logements à simple niveau, mesurée à partir de la face interne de la paroi éclairante, ne peut excéder deux fois et demi la hauteur sous plafond.<sup>20</sup>

**2-La circulaire du 15 août 1989** relative à l'application des règlements techniques et des normes de construction, stipule que: « la commission technique permanente pour le contrôle technique de la construction (C.T.P) chargée principalement de la promotion de la réglementation technique algérienne, a retenu à titre transitoire et en attendant l'élaboration progressive des règlements techniques algériens, l'application des règlements techniques et normes de constructions étrangers en usage en Algérie et cités en annexe ».<sup>21</sup>

Pour ce qui concerne les conditions d'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment, la circulaire a désigné les normes françaises suivantes :

- **NF C 01.045**
- **NF C 03.101**
- **NF C 15.100, 150.**

En ce qui concerne les établissements d'enseignement, le guide publié par le Ministère de l'Education Nationale sur les constructions scolaires, évoque les caractéristiques géométriques des classes, l'orientation et l'indice de vitrage recommandés. Mais aucune indication n'est donnée sur les exigences de l'éclairage en matière d'éclairement lumineux, d'uniformité...etc. Dans ce domaine, la réglementation algérienne est très pauvre par rapport aux réglementations étrangères.<sup>22</sup>

---

<sup>20</sup>**République Algérienne.** Codes du foncier et de l'urbanisme : recueil de textes législatifs et réglementaires de la République Algérienne. BERTI Editions. 2001-2002. p .

<sup>21</sup>**Algérie. Ministère de l'Habitat.** Réglementation technique algérienne du bâtiment : concepts et nomenclature. Alger : Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismiques C.G.S. Mars 1998, p 149.

<sup>22</sup>**Ministère de l'Education Nationale in ROUAG, Djamilia.** Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse de Doctorat. Constantine : Université Mentouri de Constantine. Avril 2001, p 13-14.

### **-Synthèse et conclusion**

Comme nous le constatons, la réglementation relative à l'éclairage dans le bâtiment varie d'un pays à l'autre. Cette diversité démontre que les exigences visuelles ne sont pas le seul élément déterminant de ces règles. Selon B. DENOEUDE<sup>23</sup>, elles doivent avoir un coût économique acceptable et sont liées aux technologies disponibles. La réglementation varie également dans un même pays selon son origine. En général, les textes législatifs donnent les grandes directives mais restent superficiels en mentionnant des valeurs minimales à respecter et concerne plutôt l'installation d'éclairage. Quant aux textes normatifs élaborés par des organismes spécialisés, ils s'appuient sur les textes législatifs pour fournir avec plus de précision des prescriptions techniques et offrent des méthodes de calculs et de vérifications pour les installations d'éclairage. Ils poussent ainsi les exigences en matière de confort visuel à leurs maximums. Pour ce qui concerne les règles techniques établies par les professionnels de l'éclairage, ils sont les plus pertinents et s'intéressent notamment aux produits de l'éclairage.

Les facteurs les plus importants en matière de confort visuel et qui reviennent constamment dans toutes les réglementations que nous avons énumérées précédemment, sont les niveaux d'éclairement et l'uniformité de la lumière. Ces recommandations sont organisées sous forme de tableaux selon le type d'établissement, puis selon le type du local et de la tâche visuelle qui s'y accomplit.

Les pays occidentaux sont très en avance en matière d'éclairage par rapport aux pays africains et asiatiques. Cela se traduit par les nombreuses associations et organismes spécialisés qui œuvrent dans le domaine. Ces dernières jouent un rôle très important dans le processus de la réglementation et mettent à jour les prescriptions au fur et à mesure que la recherche et les nouvelles technologies avancent. Le souci d'économie d'énergie se trouve être le moteur de cet engouement pour la réglementation de l'éclairage et revient constamment dans toutes les réglementations étrangères car l'intérêt porté à la lumière naturelle et aux nouvelles technologies, prend de plus en plus d'ampleur, surtout dans les pays des hautes latitudes.

---

<sup>23</sup>B. DENOEUDE. Ergonomie B1 : L'éclairage. Paris: Conservatoire National des Arts et Métiers.2002-2003, p90.

En Algérie par contre, nous avons soulevé un manque flagrant dans la réglementation de l'éclairage, particulièrement pour les établissements d'enseignement, de même qu'une absence totale d'organismes spécialisés. Ceci peut s'expliquer par le fait que jusqu'ici le pays n'a pas été confronté à des problèmes majeurs d'énergie électrique pour l'alimentation des installations d'éclairage. Mais étant donné les soucis qu'il connaît depuis ces deux dernières années (coupures d'électricité, délestage...), une révision de notre manière de construire s'impose : dorénavant il faudra revoir les techniques utilisées et surtout optimiser au maximum l'usage de la lumière naturelle, notamment dans les constructions scolaires et universitaires qui est un secteur en pleine évolution. Un dispositif d'éclairage zénithal indirect constituera peut être une solution à ces attentes. C'est ce que nous allons essayer de vérifier dans la partie pratique de notre recherche, à travers l'évaluation du système d'éclairage naturel des salles de cours du bloc des lettres du campus universitaire Mentouri de Constantine que nous allons décrire dans le chapitre qui suit.

Comme nous l'avons déjà évoqué dans le chapitre 2 qui traitait du « climat lumineux », il existe une forte corrélation entre l'environnement lumineux extérieur d'une région et l'éclairage intérieur d'un bâtiment implanté dans cette région. Concernant ce présent chapitre, son objectif sera d'abord d'identifier l'environnement lumineux spécifique qui domine dans la ville de Constantine et par la même occasion, connaître le potentiel effectif de la lumière naturelle admit dans les salles de cours de l'université Mentouri, qui sont l'objet de notre étude.

Après la description du climat lumineux de Constantine, nous insisterons sur la description des caractéristiques du campus universitaire Mentouri et plus particulièrement des salles de cours du « bloc des lettres » dont nous avons évalué le dispositif d'éclairage naturel durant l'année universitaire 2004-2005.

### **1-Climat lumineux de Constantine :**

En Algérie, les stations météorologiques procurent les indices de nébulosité totale en (octas), la durée d'ensoleillement en (Heure) et les irradiances solaires globales en ( $\text{wh/m}^2$ ), mais elles ne mesurent pas les éclairagements lumineux. C'est pour cette raison que les différents climats lumineux existants à travers le pays n'ont pas pu être défini sur la base de mesures réelles.

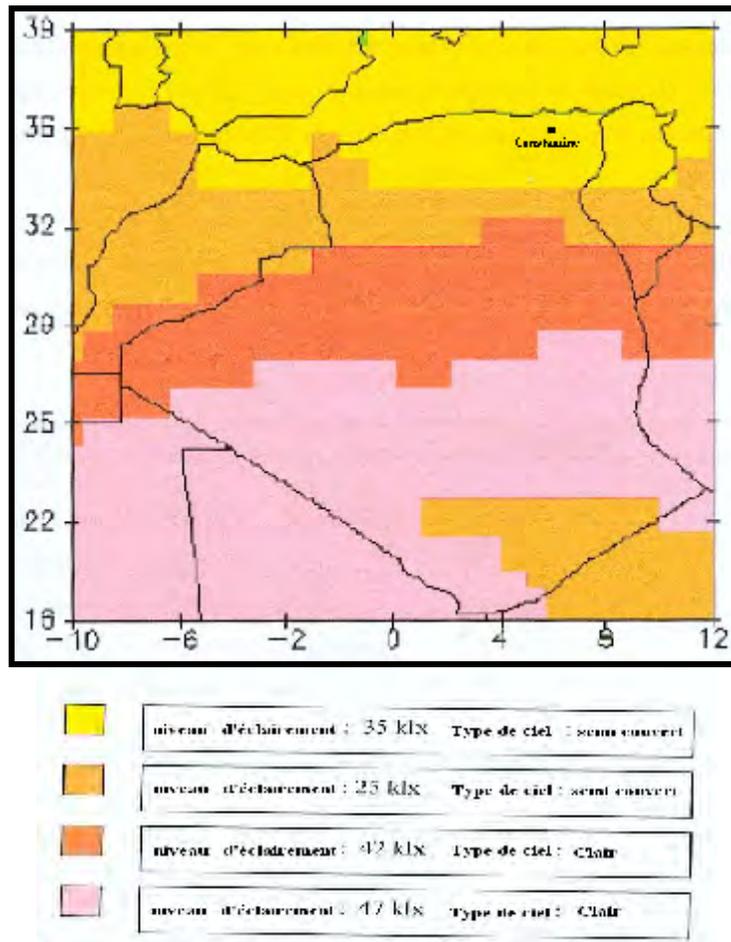
De ce fait, dans sa thèse de Doctorat , N. ZEMMOURI<sup>1</sup> a proposé un zoning lumineux propre à l'Algérie (Figure 5.1) basé sur le calcul par simulation informatique, à l'aide du logiciel « Matlight », des éclairagements lumineux horizontaux ainsi que sur la base de données de la NASA sur la nébulosité. Ce découpage comporte quatre (4) grandes zones climatiques lumineuses qui sont les suivantes:

1. la première zone, située entre la latitude  $34^\circ$ - $36^\circ$ , est caractérisée par un éclairagement lumineux horizontal moyen égal à 35 Kilolux et la dominance du ciel partiellement couvert.
2. la deuxième zone, qui englobe une bande étroite située entre la latitude  $31^\circ$ - $34^\circ$  ainsi que la région du Hoggar, est caractérisée par un éclairagement lumineux horizontal moyen égal à 25 Kilolux et la dominance du ciel partiellement couvert.

---

<sup>1</sup> **ZEMMOURI, Noureddine.** Daylight availability intergrated modelling and evaluation: A Fuzzy logic based approach. Thèse de Doctorat. Sétif: Université Farhat Abbas de Sétif. Octobre 2005, p 6-20.

3. la troisième zone, située au nord du Sahara entre la latitude 27°-31°, est caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen égal à 42 Kilolux et la dominance du ciel clair.
4. la quatrième zone, qui concerne la moitié du territoire algérien située au sud du Sahara entre la latitude 18°-27°, est caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen égal à 47 Kilolux et la dominance du ciel clair.



**Figure 5.1 : Zoning de la disponibilité de la lumière naturelle en Algérie.**

Source : N. ZEMMOURI, 2005.

Concernant la ville de Constantine qui est située à l'Est de l'Algérie (latitude 36°17', longitude 6°37') et qui appartient à la première zone climatique lumineuse, elle est caractérisée par un éclairage lumineux horizontal moyen de 35 kilolux et un ciel dominant du type « partiellement couvert ».

### **1.1-Conditions d'ensoleillement dans la ville de Constantine**

Afin de connaître la trajectoire annuelle apparente du soleil dans la ville de Constantine, nous avons procédé au calcul des hauteurs et des azimuts solaires (voir chapitre 2, p42). Les valeurs calculées pour le 21 de chaque mois sont représentées dans la figure 5.2 (voir tableau n° 1- annexe 1 sur cd-rom).

A partir de cette figure, nous constatons que l'altitude solaire du midi varie, entre  $31^\circ$  au solstice d'hiver et  $77^\circ$  au solstice d'été, c'est à dire avec un écart de  $46^\circ$  entre les deux solstices. Cet écart est en rapport direct avec les variations saisonnières de l'angle de déclinaison qui varie entre  $+23^\circ 27'$  et  $-23^\circ 27'$ .

Nous constatons également que le soleil passe très près du zénith le 21 juin à midi lorsque les rayons solaires sont perpendiculaires au tropique du Cancer (latitude  $+23^\circ 27'$ ) car on se trouve dans les basses latitudes ; et il est assez haut le 21 décembre à midi (hauteur  $31^\circ$ ).

Quant à l'écart saisonnier des azimuts du lever et du coucher du soleil, mesurés à partir de l'Est et de l'Ouest aux deux solstices, il est égal à  $64^\circ, 2$ .

D'autre part, le jour dure dix heures de temps (7h-17h) au solstice d'hiver tandis qu'au solstice d'été sa durée est de 14 heures (5h-19h). Donc, La différence de durée entre le jour des deux solstices est égale à 4 heures. Aux équinoxes, le jour est égal à la nuit et chacun dure 12 heures (6h-18h).

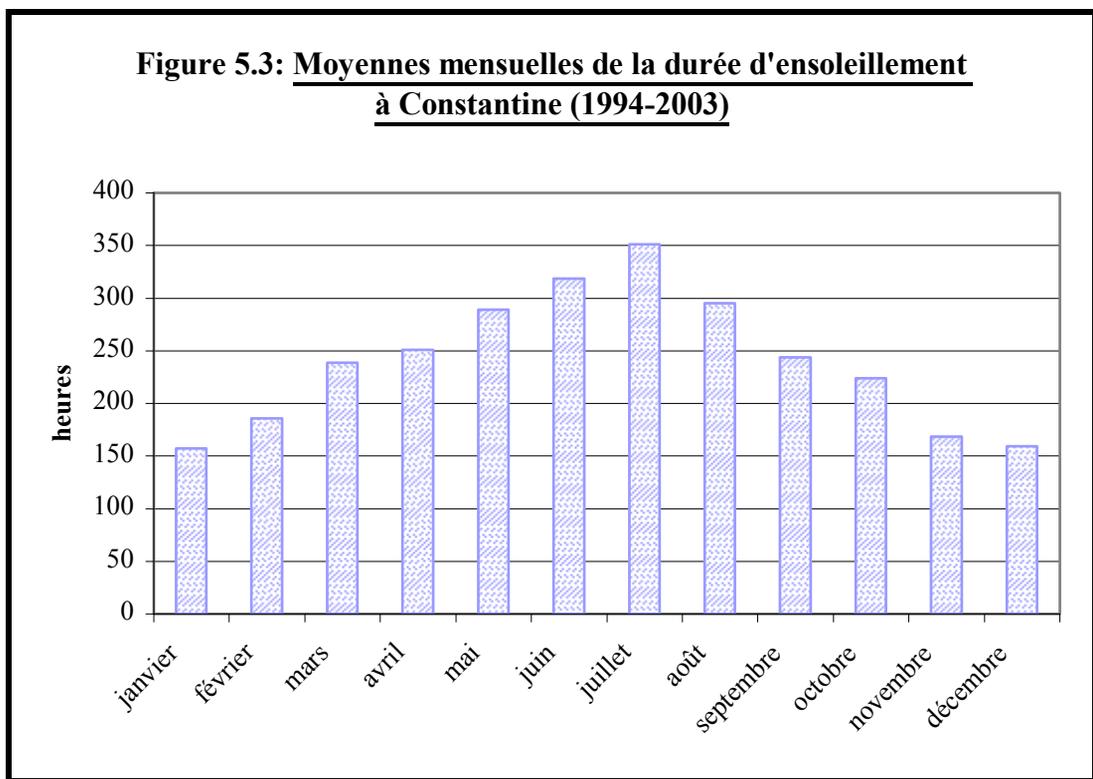
Nous remarquons également qu'il existe une dissymétrie entre les énergies solaires incidentes Nord et Sud car on perçoit qu'un plan orienté vers le Nord reçoit beaucoup moins de soleil qu'un plan Sud. Par contre, une symétrie des énergies solaires incidentes existe entre l'Est et l'Ouest. Ceci doit influencer le choix en matière d'orientation des surfaces opaques et vitrées.

**Figure 5.2 : Diagramme solaire polaire de la ville de Constantine- Latitude 36°17'**

Source : Auteur, 2005.

**-Durée d'ensoleillement :**

A partir des données recueillies au niveau de la station météorologique de Ain el Bey concernant la durée d'ensoleillement à Constantine sur une période de 10 années (Figure 5.3), nous constatons que le mois de janvier présente la durée d'ensoleillement la moins importante (en moyenne 157 heures d'ensoleillement), tandis que le mois de juillet est le mois le plus ensoleillé de l'année (en moyenne 350 heures d'ensoleillement). Nous constatons également que le nombre d'heures d'ensoleillement au cours de l'année est très important, soit **2882,2** heures en moyenne par an, ou bien **120** jours par an : ce qui représente à peu près le tiers de l'année (voir tableau n°2- annexe1 sur cd-rom).



Ainsi, la durée d'ensoleillement enregistrée sur une période de dix (10) années, nous indique l'importance du rayonnement solaire direct dans la région de Constantine. Cette présence marquée tout au long de l'année (environs 120 jours par ans) doit être prise en considération lors de la conception d'un projet architectural afin d'empêcher d'éventuels problèmes de surchauffe et ce, en prévoyant des protections solaires par exemple. L'apport de ce rayonnement solaire direct à l'éclairage naturel doit être également évalué par des mesures sous ciel clair serein ; le ciel couvert n'étant pas le seul cas représentatif des conditions réelles de la région.

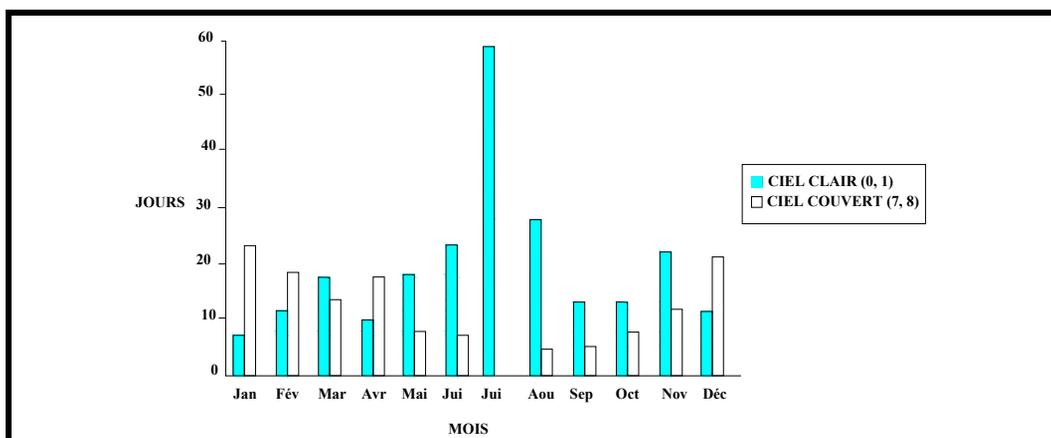
### **1.2-Les conditions de nébulosité à Constantine:**

Dans certains pays, les données d'éclairement lumineux pour une localisation donnée sont disponibles par mois et par heure et sont représentées sous forme de diagramme isolux, comme c'est le cas en France et aux Royaumes Unis par exemple.

En l'absence de ce type de données dans la région d'étude, comme c'est le cas dans notre recherche, on a recours généralement aux données climatiques car, comme la souligné L. MUDRI<sup>2</sup>, il existe une relation entre le climat et l'environnement lumineux d'une région. Ainsi, l'exploitation des données de la « nébulosité » procure des moyens utiles pour déterminer l'environnement lumineux extérieur.

Dans sa thèse de Doctorat, Dj. ROUAG<sup>3</sup> a entrepris une collecte des données de nébulosité de la ville de Constantine à partir de la station météorologique de Ain El Bey sur une période de trois ans (1994-1996), dans le but d'identifier les conditions du ciel qui y prévalent ainsi que la qualité de la lumière naturelle résultante. Cette collecte a permis aussi de contrôler la stabilité du ciel qui est, d'après le chercheur, un critère très important dans la sélection des systèmes de contrôle solaire. Les résultats de cette étude furent les suivants :

1-Les conditions extrêmes du ciel (0,1 et 7,8 octas) ne sont pas réellement propres à des saisons particulières (Figure 5.4), surtout si on considère l'année académique Septembre- Juin. Cependant, si les ciels couverts sont plus fréquents en décembre, janvier, février et avril, leur fréquence diminue durant les mois de mars, mai et novembre où les ciels clairs sont plus fréquents.



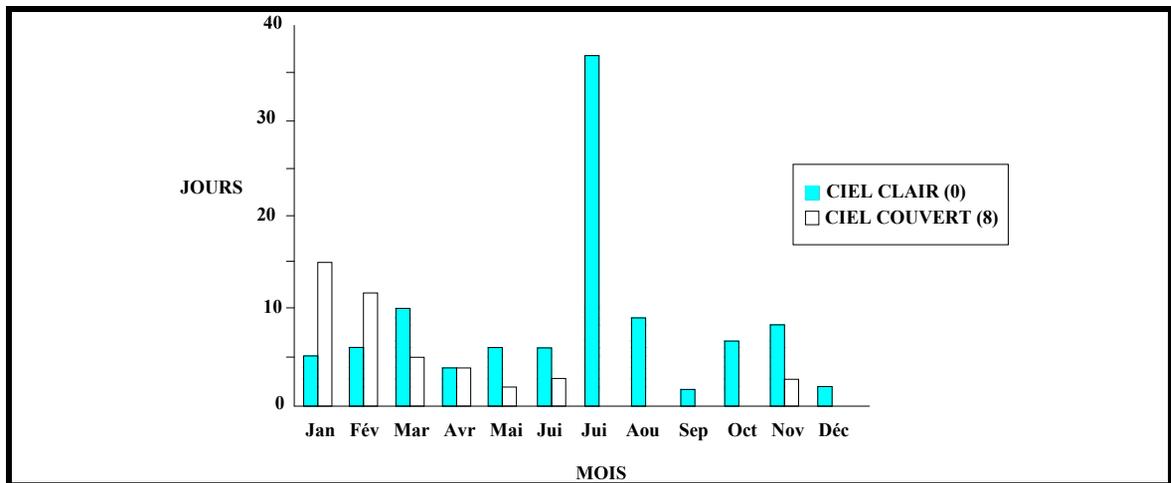
**Figure 5.4 : Répartition mensuelle des conditions extrêmes du ciel.**

Source : Dj. ROUAG, 2001.

<sup>2</sup> MUDRI, Ljubica. De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville. Novembre 2002, p1-6.

<sup>3</sup> ROUAG, Djamila. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse de Doctorat. Constantine : Université Mentouri de Constantine. Avril 2001, p80.

2- D'autre part, si les conditions les plus extrêmes (0 et 8 octas) sont prises en considération, on constate que de juillet à octobre, le ciel n'est jamais couvert à 100% (8 octas). Tandis que les ciels très clairs (0 octas) apparaissent en hiver (Figure 5.5).

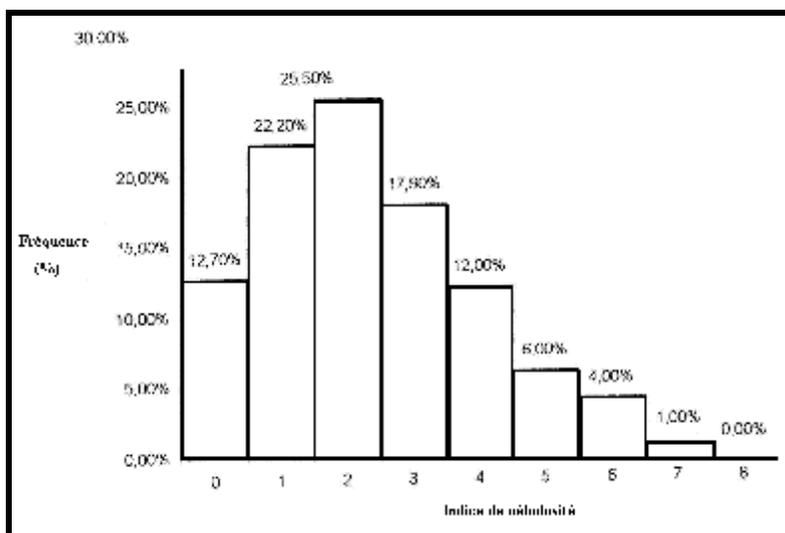


**Figure 5.5 : Répartition mensuelle des conditions les plus extrêmes du ciel.**

Source : Dj. ROUAG, 2001.

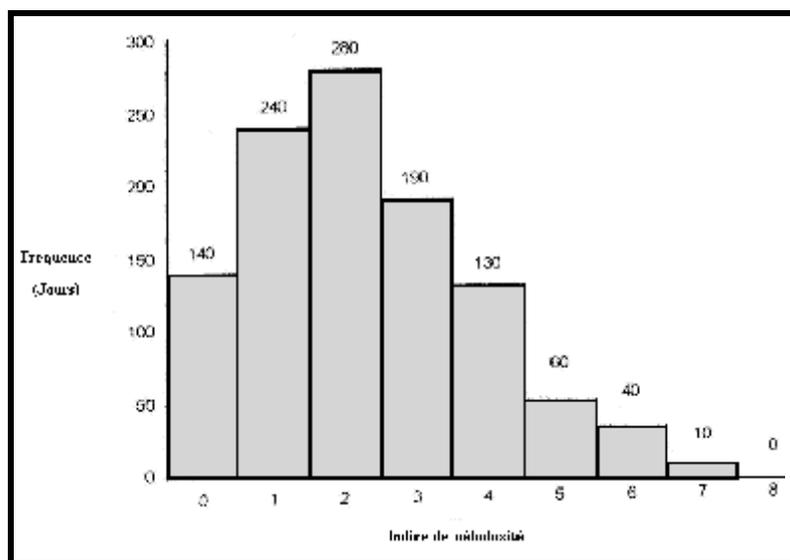
Dj. ROUAG a également indiqué que les ciels extrêmement couverts (7, 8 octas) sont les plus stables durant le jour et durant les trois années d'étude, tandis que les ciels clairs le sont moins, surtout ceux placés entre le ciel extrêmement clair (0 octas) et le ciel partiellement couvert correspondant à 5 octas.

Les figures 5.6 et 5.7 démontrent également que certaines conditions du ciel ne sont pas uniquement les plus variables, mais qu'elles sont aussi les plus fréquentes car durant les trois années d'étude, la somme des ciels clairs (1 et 2 octas) et le ciel partiellement couvert (3 octas) donnent un total de 720 jours (voir figure 5.7). Cela veut dire que durant l'année, l'occurrence moyenne de certains ciels est de 240 jours, soit les deux tiers de l'année.



**Figure 5.6: Fréquence de variabilité des conditions du ciel pour un jour moyen sur une période de 25 ans.**

Source : ROUAG et WILKINSON, 2001.



**Figure 5.7: Occurrence cumulative de la variabilité des conditions du ciel (1994-1996).**

Source : ROUAG et WILKINSON, 2001.

## **2-Description de l'environnement de l'étude :**

### **2.1-Aperçu sur les établissements d'enseignement supérieur (universitaires) en Algérie:**

En Algérie, la démocratisation de l'enseignement a donné lieu à une véritable explosion des effectifs de 1962 à nos jours. En effet, plus du quart de la population est aujourd'hui sur les bancs des écoles, collèges, lycées et universités. Quant aux infrastructures pédagogiques, l'Etat a réalisé entre 1962 et 1997 près de 20.000 établissements d'enseignement dont 15000 écoles primaires, 2900 collèges, 1000 lycées et 56 établissements universitaires<sup>4</sup>. Ces chiffres sont certes importants, mais le problème quantitatif subsiste toujours devant la forte demande, notamment dans les établissements universitaires où de plus en plus de jeunes algériens accèdent aujourd'hui à l'enseignement supérieur, et de plus en plus de constructions universitaires voient le jour, notamment depuis ces dix dernières années. Avec un taux de réussite au Baccalauréat tournant autour des 40%, les responsables de l'éducation nationale prédisent que ce chiffre est voué à la hausse dans les prochaines décennies avec les nouvelles opportunités et le développement du secteur éducatif.

Statistiquement, l'enseignement supérieur est passé de 2.600 étudiants en 1962 à 339.518 étudiants en 1997. On dénombre également 15.801 enseignants universitaires dont 128 étrangers pour l'année 1997, contre 300 en 1962 dont 220 étrangers. D'un autre côté, le nombre des villes universitaires est passé d'une à 32 villes<sup>5</sup>.

De 1997 à 2005, ces chiffres ont pratiquement doublé, comme l'indique les figures 5.8 et 5.9. En huit ans, le nombre des étudiants est passé de 339.518 en 1997 à 723.000 en 2005, tandis que celui des enseignants est passé de 15.801 à 23.800.

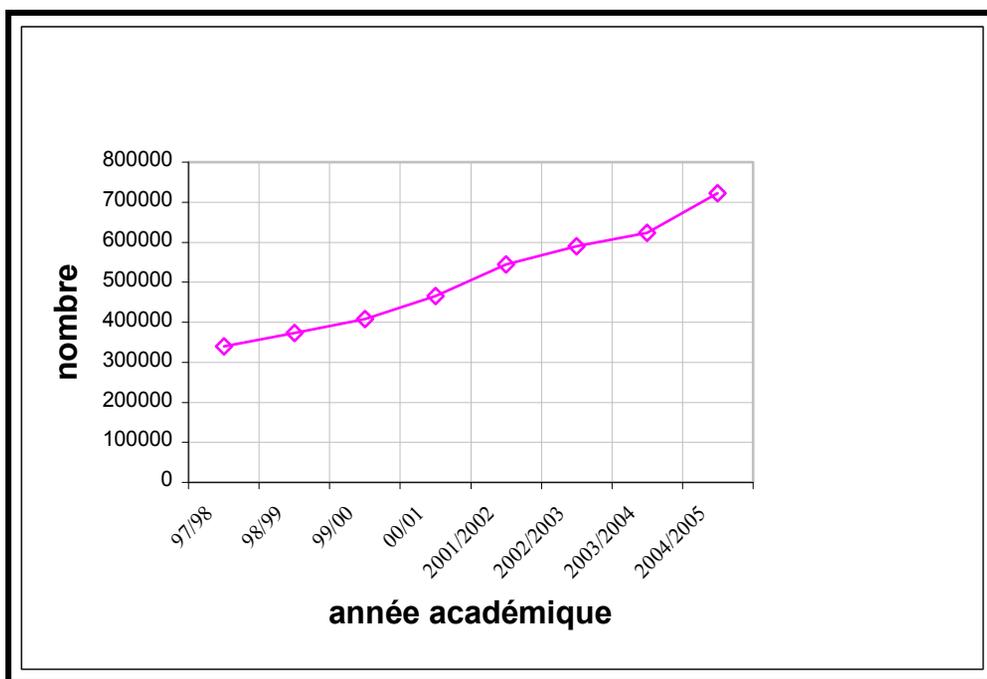
Malgré les efforts fournis et face à une demande toujours croissante et à l'urgence de la satisfaire, l'Etat continue d'attribuer à l'usage de l'enseignement supérieur des locaux inadaptés et bien souvent incommodes. Tous ces problèmes quantitatifs ont occulté les besoins qualitatifs des usagers et ont contribué au fait que les pouvoirs publics ainsi que les concepteurs des bâtiments ne se rendent pas compte des répercussions fâcheuses que peut engendrer cet environnement physique inadapté et inconfortable. La qualité des infrastructures pédagogiques est également limitée par un souci d'économie. Mais il faut se rendre compte que ces économies faites lors de la construction de tels établissements

---

<sup>4</sup> Algérie. **Conseil Supérieur de l'éducation**. Principes généraux de la nouvelle politique éducative et la réforme de l'enseignement fondamental : Synthèse du document de base. Alger : Conseil Supérieur de l'éducation, Mars 1998, p 13.

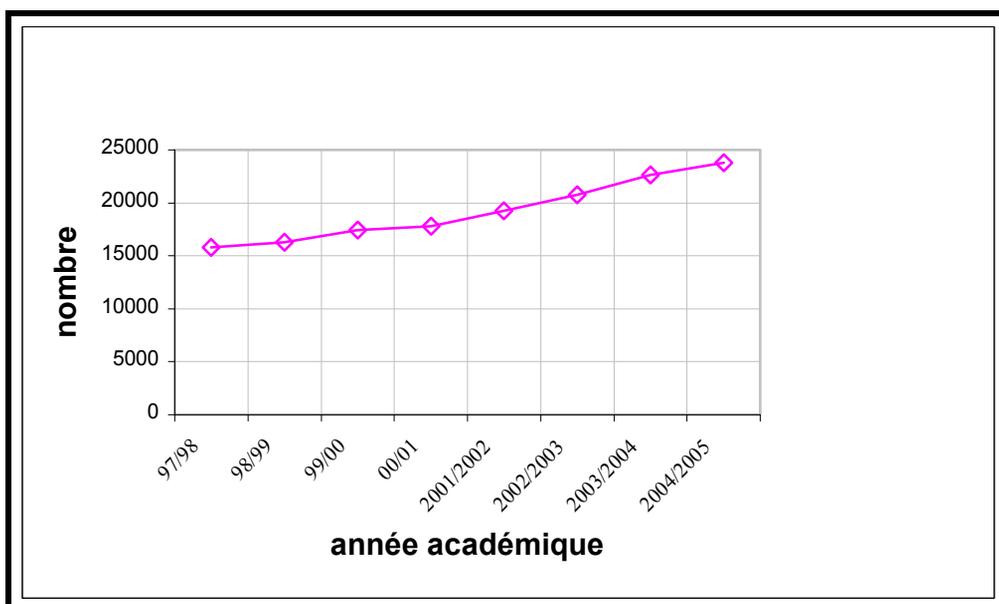
<sup>5</sup> **Idem**, p 13.

seront vite dépassées par les retombées néfastes sur la santé de leurs usagers, à savoir les étudiants et les enseignants<sup>6</sup>.



**Figure 5.8 : Evolution du nombre d'étudiants en Algérie (1997-2005).**

Source : Ministère de l'Enseignement Supérieur, 2005.



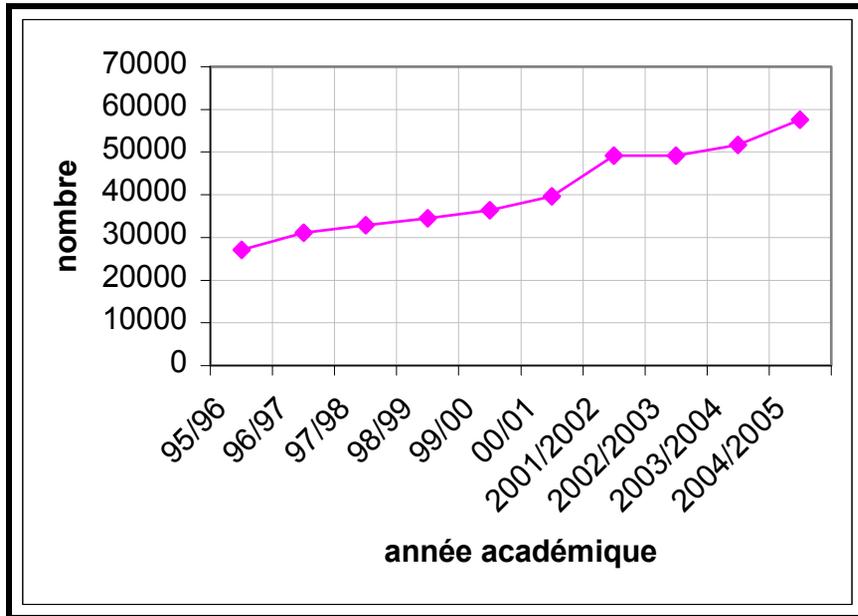
**Figure 5.9: Evolution du nombre d'enseignants en Algérie (1997-2005).**

Source : Ministère de l'Enseignement Supérieur, 2005.

<sup>6</sup> A. VANDENPLAS. Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel - L'éclairage naturel et ses applications, Bruxelles : SIC. 1964, p126.

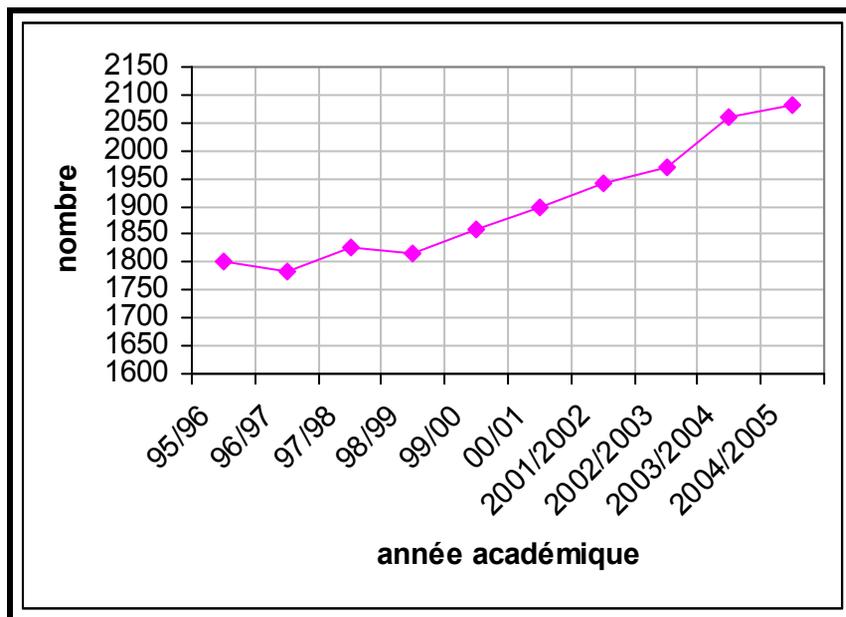
**2.2-Les établissements universitaires à Constantine:**

A l'image de ce qui se passe à l'échelle nationale, le nombre d'étudiants et d'enseignants à Constantine est en constante évolution. Il a pratiquement doublé en dix ans (Figures 5.10 et 5.11)



**Figure 5.10: Evolution du nombre d'étudiants à Constantine (1995-2005).**

Source : Ministère de l'enseignement supérieur, 2005.



**Figure 5.11: Evolution du nombre d'enseignants à Constantine (1995-2005).**

Source : Ministère de l'enseignement supérieur, 2005.

Concernant les infrastructures pédagogiques, la ville de Constantine, première ville universitaire de l'Est algérien, compte treize (13) campus universitaires que nous énumérons dans le tableau 5.1 qui suit :

Tableau 5.1: **Effectifs et capacités totales des infrastructures pédagogiques universitaires de Constantine.**

Source : Service des statistiques de l'université Mentouri, 2005.

<b>Campus</b>	<b>Nombre d'enseignants permanents</b>	<b>Nombre d'étudiants</b>	<b>Nombre de salles de cours</b>	<b>Nombre de places pédagogiques</b>
<b>1-Campus central</b>	<b>590</b>	<b>14278</b>	<b>100</b>	<b>6490</b>
2-Ali Mendjeli	-	-	50	4824
3-Chalet des pins	305	6765	35	4260
4-Hamani Slimane	445	4811	34	2160
5-Chabet Ersas	65	2827	20	2108
6-Zouaghi	11	1748	22	1500
7-Kouhil Lakhdar	18	1429	12	630
8-Vétérinaire	41	1366	4	1270
9-Psychologie	45	1252	10	900
10-Ecole des cadres	18	806	5	380
11-INATAA	43	711	18	1706
12-Tidjani Heddem	-	-	32	4000
13-Emir Abdelkader	102		12	1300

Parmi ces établissements universitaires, certains relèvent de constructions coloniales reconverties vers l'enseignement (exemple de : I.N.A.T.A.A, institut de psychologie, campus Kouhil Lakhdar) souvent inappropriés à l'usage de l'enseignement. Cependant, la plupart sont des infrastructures neuves.

A partir de ce tableau, nous constatons que le campus central Mentouri regroupe le plus grand nombre d'effectifs à l'échelle de la ville de Constantine: plus de 14000 étudiants pour 6500 places pédagogiques, près de 600 enseignants et 100 salles de cours.

Ce campus, qui fut la première structure universitaire de l'Algérie indépendante, peut être considéré comme la référence en matière de construction universitaire. Son maître d'oeuvre brésilien Oscar Niemeyer a donné au projet une dimension internationale, un savoir-faire nouveau et des connaissances nouvelles, notamment en matière d'éclairage naturel. A vrai dire, la diversité des techniques d'éclairage naturel employées dans les différentes composantes du projet, laisse supposer que l'œuvre obéissait aux exigences particulières des différentes tâches visuelles, et atteste donc de l'intérêt porté par l'architecte au confort visuel de ses occupants. A l'époque, le projet a suscité le plus grand intérêt de l'état et le président BOUMEDIENE en personne s'est déplacé pour inaugurer le projet, ce qui atteste de l'importance de cet équipement régional.

### **2.3-Description du campus central de l'université Mentouri de Constantine :**

Le projet du campus universitaire Mentouri de Constantine (Figure 5.12) fut confié à l'architecte brésilien Oscar Niemeyer en 1968 qui a choisi pour son implantation un site dominant de Ain el Bey, faisant face à la vieille ville.



**Figure 5.12: Plan de masse du campus universitaire Mentouri de Constantine.**

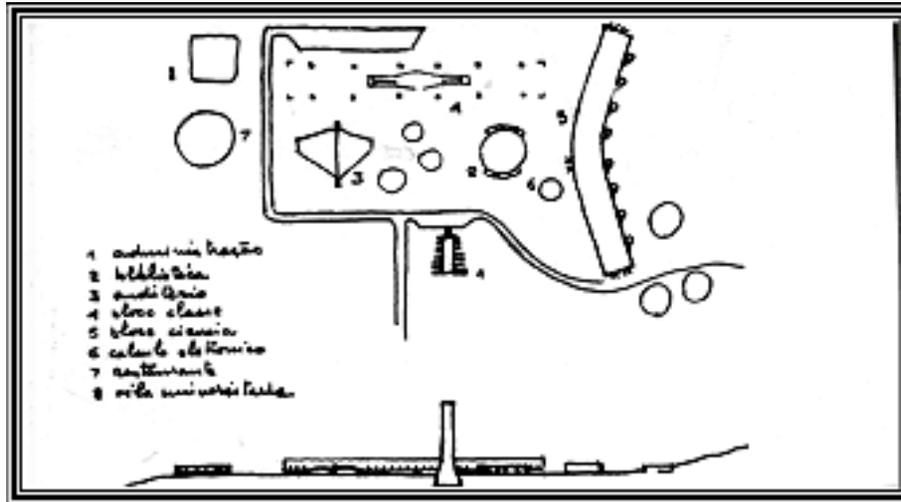
Source : [www.constantinesouvenirs.com]

#### **2.3.1-Composantes du projet :**

L'architecte brésilien semble avoir anticipé sur la réforme de l'enseignement qui se proposait de supprimer, le plus possible, les barrières qui existaient entre les instituts afin d'intégrer les différents enseignements disciplinaires<sup>7</sup>. En effet, plutôt que de concevoir son projet comme une juxtaposition de plusieurs instituts, l'architecte, dans une vision

<sup>7</sup> BENDAKIR, Mahmoud et al. Architecture et patrimoine : La medersa en chantier. Grenoble : Ecole d'Architecture de Grenoble. Mars 2004, p 74-75.

beaucoup plus globale de l'institution universitaire a regroupé, d'une part le plus grand nombre de salles de cours dans le « bloc des lettres ». D'autre part, les amphithéâtres destinés aux cours théoriques et les laboratoires pour l'expérimentation scientifique ont été réunis dans le « bloc des sciences ». Enfin, tous les services administratifs et les secrétariats sont rassemblés dans une tour centrale de 21 étages (Figure 5.13).



**Figure 5.13: Composantes du campus central Mentouri de Constantine.**

Source : Centre d'audio-visuel de l'université Mentouri.

### 2.3.2-Modes d'éclairage naturel :

#### 2.3.2.1-La bibliothèque centrale :

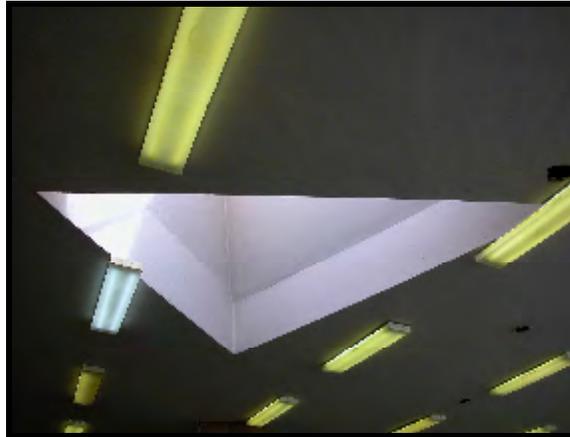
La salle de lecture, de forme circulaire, de la bibliothèque centrale associe deux systèmes d'éclairage naturel :

1. un système d'éclairage zénithal constitué de cinq (05) pyramides de verre éclairant la partie centrale de la salle (Photo 5.1).
2. un système d'éclairage latéral constitué de grands panneaux vitrés associés à des écrans verticaux réalisés en béton et qui jouent à la fois le rôle de diffuseur de la lumière naturelle à l'intérieur de la salle de lecture, de protection contre le rayonnement solaire direct tout en évitant la distraction des lecteurs (Photo 5.2).

Quant au sous-sol, il est éclairé indirectement grâce à un puit de lumière de forme annulaire disposant d'ouvertures horizontales zénithales, et d'une façade intermédiaire en verre qui diffuse cette lumière à l'intérieur des locaux (Photo 5.3).

**Photo 5.1 : Pyramide de verre de la salle de lecture de la bibliothèque centrale.**

Source : Auteur, 2005.



**Photo 5.2: Eclairage latéral de la salle de lecture de la bibliothèque centrale.**

Source : Auteur, 2005.



**Photo 5.3: Eclairage indirect du sous sol de la bibliothèque centrale.**

Source : Auteur, 2005.



### **2.3.2.2-L'auditorium :**

Cette structure en coque, accueille les différentes manifestations culturelles de l'université. Les tâches visuelles qui s'y déroulent sont : la lecture, l'écriture et la projection sur écran. La salle de conférence est éclairée latéralement par deux façades entièrement recouvertes de vitrage teinté, l'une orientée vers le Nord-ouest et l'autre vers le Sud-ouest (Photo 5.4). Les protections solaires constituées des débords de la toiture et de stores vénitiens de couleur beige disposés à l'intérieur de la salle (Photo 5.5), n'empêchent pas les problèmes de surchauffe en été.

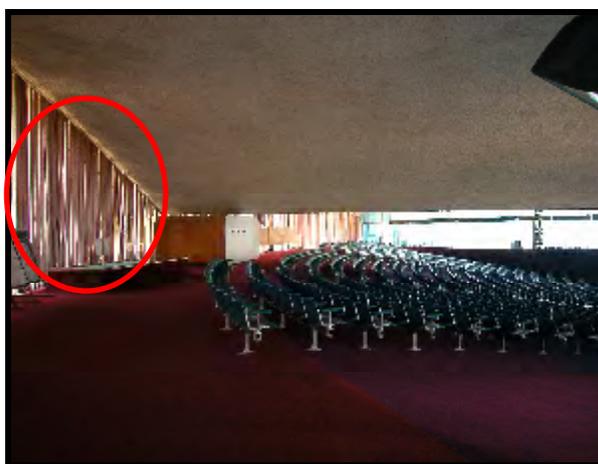
#### **Photo 5.4: Façade latérale de l'auditorium.**

Source : Auteur, 2005.



#### **Photo 5.5: Protection solaire intérieure de l'auditorium.**

Source : Auteur, 2005.



### **2.3.2.3-Le restaurant universitaire :**

La forme circulaire de cette composante du projet a dicté la forme et le dimensionnement des ouvertures latérales qui l'éclairent. Ces ouvertures en forme de fentes sont munies de brises-soleil verticaux conçus en béton, faisant partie intégrante de la structure du restaurant. Les espacements entre ces brises-soleil décroissent en allant vers l'Est et vers l'Ouest afin d'empêcher la pénétration des rayons solaires bas, surtout pendant la saison chaude, car ce sont les orientations les plus défavorables.

### **2.3.2.4-La tour administrative:**

Les deux façades principales de la tour administrative du campus, orientées Nord et Sud, sont entièrement recouvertes de vitrage teinté. Les éléments verticaux continus de l'ossature en béton armé jouent le rôle de protection solaire (Photo 5.6). Quant aux deux façades latérales Est et Ouest, elles sont complètement aveugles afin de minimiser les apports solaires en été.

### **Photo 5.6: Façade principale de la tour administrative.**

Source : Auteur, 2005.

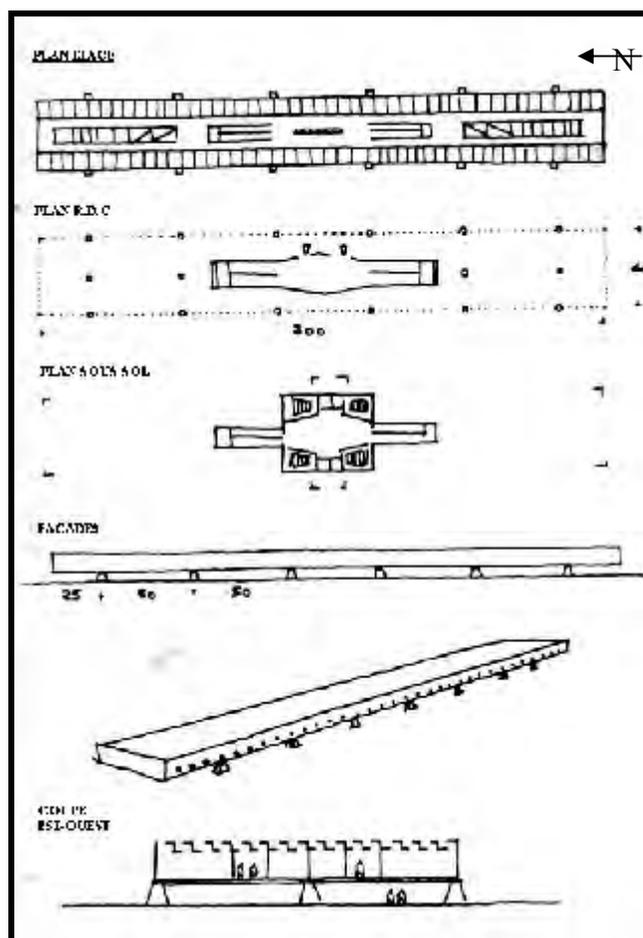


### **2.3.2.5-Le bloc des sciences :**

Les amphithéâtres du bloc des sciences, placés au R.D.C, sont éclairés latéralement par des hublots de forme circulaire orientés vers le Nord-est et le Nord-ouest. Quant aux laboratoires scientifiques, placés à l'étage, ils disposent du même dispositif d'éclairage zénithal du bloc des lettres.

### 2.3.2.6-Le bloc des lettres:

Le bloc des lettres du campus universitaire Mentouri, dont nous avons étudié le système d'éclairage naturel, est un parallélépipède issu du mouvement moderne, de 300 mètres de long et 40 mètres de large, reposant sur trois séries de six pilotis. Ces supports de béton armé, en forme de troncs de pyramide de 3.50 mètres de haut et 2 mètres de base, sont équidistants de 50 mètres (Figure 5.14).



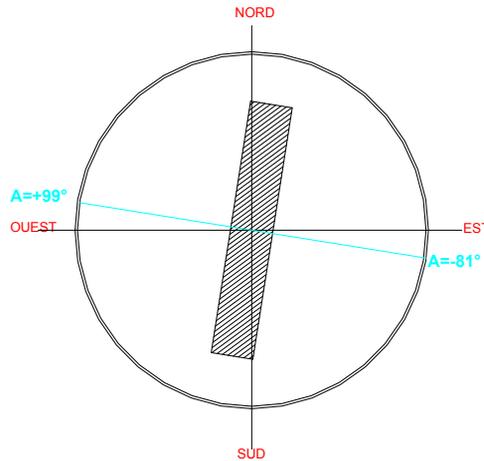
**Figure 5.14 : Plans et coupe transversale du bloc des lettres.**

Source : Centre d'audiovisuel de l'université Mentouri.



**Photo 5.7 : Façade Ouest du bloc des lettres.**

L'axe le plus long de la barre est orienté Nord-nord-est – Sud-sud-ouest et les façades principales sont exposées vers l'Est (azimut  $-81^\circ$ ) et vers l'Ouest (azimut  $+99^\circ$ ) (Figure 5.15). Le sous-sol du bloc regroupe quatre (04) amphithéâtres. C'est à l'étage qu'on retrouve les cent (100) salles de cours (terrain de notre investigation) alignées de part et d'autre d'un grand hall central auquel on accède grâce à deux rampes.

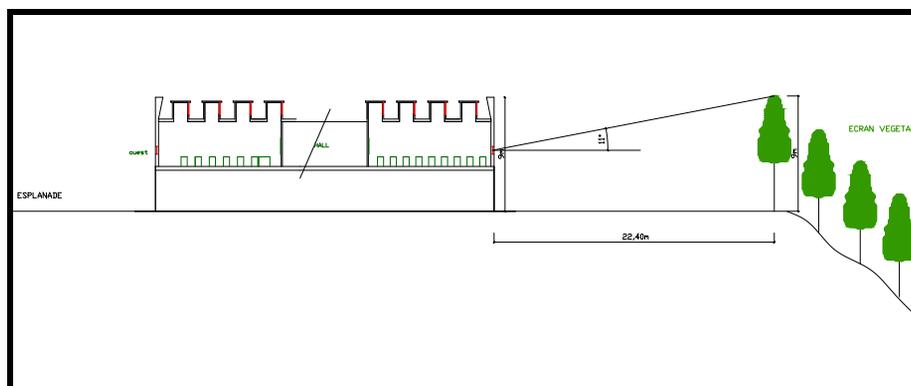


**Figure 5.15 : Orientation du bloc des lettres.**

Source : Auteur.

Ce bloc est bordé à l'Est, comme le montre la figure 5.16, par une voie mécanique de plus de 22 mètres de large et un écran végétal au feuillage persistant (Eucalyptus et Pin) d'environ 9 mètres de haut (en moyenne). Mais l'angle d'obstruction des ouvertures latérales est très minime, de l'ordre de  $11^\circ$ . Son effet sur les conditions d'éclairage naturel des salles de cours est donc négligeable.

A l'Ouest, la barre est délimitée par une esplanade recouverte de dalettes en béton, dont le facteur de réflexion (ou l'albédo) se situe entre 0,20 et 0,50.<sup>8</sup>



**Figure 5.16 : Coupe Est-ouest sur le terrain et le bloc des lettres.**

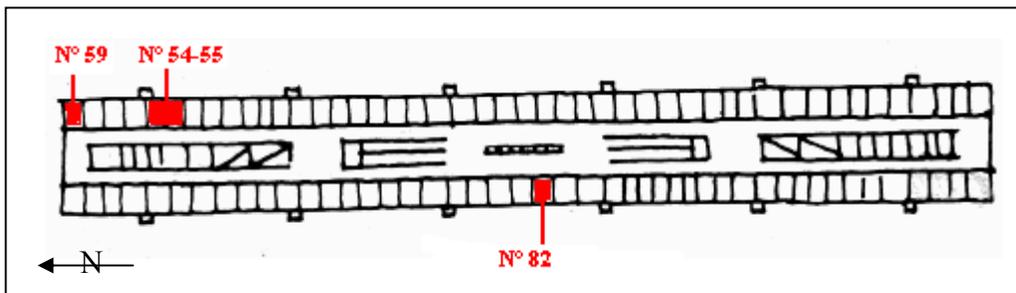
Source : Auteur.

<sup>8</sup> ROULET, C. A. *Energétique du bâtiment II : Prestations du bâtiment, bilan énergétique global*. Lausanne : Presses Polytechniques Romandes, 1987, p 108.

### **3-Choix des salles de cours types:**

Pour notre étude, nous avons choisi trois (03) salles de cours représentatives de l'ensemble des salles du bloc des lettres (figure 5.17), qui sont les salles de cours n° 82 (Photo 5.8), n°59 (Photo 5.9) et n° 54-55 (Photo 5.10). Les critères de choix de ces locaux types sont :

1. l'orientation Est ou Ouest des prises de jour latérales (soit hublots).
2. la disposition des prises de jour zénithales ; c'est-à-dire des lanterneaux parallèles ou perpendiculaires au tableau.
3. le revêtement des surfaces intérieures (Réflectance moyenne des locaux).
4. le type de vitrage (clair).



**Figure 5.17: Position des trois salles de cours types du bloc des lettres.**

Source : Auteur.

### **4-Description des locaux types :**

#### **4.1-Salle de cours n° 82 :**

La salle de cours n°82 est de forme rectangulaire, plus profonde que large ( $P=9,80m$ ,  $L= 4,82m$ ) et de  $47m^2$  de surface. Sa hauteur sous plafond est de  $3,50m$ . Elle comporte quatre prises de jour latérales (hublots) orientées vers l'Ouest et quatre lanterneaux continus de  $4,75m$  de long munis de vitrages verticaux orientés vers l'Est et positionnés parallèlement au tableau. La surface totale du vitrage ( $S_v$ ) est égale à  $19,76 m^2$  et l'indice de vitrage ( $I_v$ ) représente  $42\%$ . Le tableau de la salle est accroché sur la paroi interne Est (Figure 5.18.a).

La partie inférieure du mur de fenestration est peinte en gris clair (facteur de réflexion approximatif= $0,30$ ) tandis que la partie supérieure est de couleur gris foncé (facteur de réflexion approximatif= $0,20$ ).

La partie inférieure des parois de séparation (parois réfléchissantes) est peinte en gris clair (facteur de réflexion approximatif= $0,30$ ), tandis que la partie supérieure est de couleur

blanche (facteur de réflexion approximatif= 0,85). Le plafond ainsi que les parties opaques des lanterneaux sont peints également en blanc (voir photo 5.8). Pour le plancher, il est recouvert de carreaux en PVC de couleur bleue (facteur de réflexion approximatif= 0,4). Ainsi, la réflectance moyenne des surfaces intérieures calculée (voir Chapitre 1, p31) est de l'ordre de **0,51**.

Quant au mobilier, il est en général de couleur verte (facteur de réflexion approximatif= 0,25).

#### **4.2-Salle de cours n° 59 :**

La salle de cours n°59 (Figure 5.18.b) présente les mêmes caractéristiques géométriques que la salle n°82. Les différences existantes sont :

- Les prises de jour latérales sont orientées vers l'Est.
- Le tableau est accroché à la paroi interne Ouest.
- Les parois intérieures et le plafond sont peints de couleur grise (facteur de réflexion approximatif= 0,30).
- Les parties opaques des lanterneaux sont peints en blanc (facteur de réflexion approximatif= 0,85).
- le plancher est recouvert de PVC de couleur noire (facteur de réflexion approximatif=0,10)
- La réflectance moyenne des surfaces intérieures est de l'ordre de **0,24**.

#### **4.3-Salle de cours n° 54-55 :**

La salle de cours n° 54-55 (Figure 5.18.c) est de forme carrée (9,8m x 9,8m) dont la surface du plancher est égale à 96 m<sup>2</sup>. Elle comporte huit prises de jour latérales orientées vers l'Est et huit lanterneaux verticaux de 4,75m de long, munis de vitrages verticaux orientés vers l'Est et qui sont perpendiculaires au tableau. Ce dernier est accroché sur la paroi interne Nord. La surface totale du vitrage ( $S_v$ ) est égale à 39,52 m<sup>2</sup> avec un indice de vitrage ( $I_v$ ) de l'ordre de 41%.

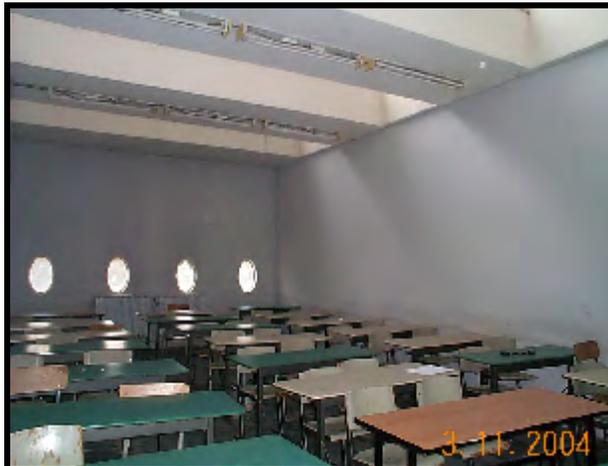
Les parois intérieures sont de couleur grise (facteur de réflexion approximatif= 0,30). Le plafond est peint, quant à lui, en blanc tandis que le sol est recouvert de carreaux en PVC de couleur bleue (facteur de réflexion approximatif= 0,40). Ainsi, la réflectance moyenne des surfaces intérieures est de l'ordre de **0,43**. Quant au mobilier, il est de couleur verte ou blanche.



**Photo 5.8: Salle de cours n°82.**



**Photo 5.9 : Salle de cours n°59.**



**Photo 5.10: Salle de cours n°54-55.**



### **5-Dispositifs d'éclairage des salles de cours:**

L'éclairage naturel des salles de cours du bloc des lettres regroupe deux types de dispositifs :

1. **Un dispositif d'éclairage unilatéral** constitué de hublots hermétiques en plexiglas de  $0,19 \text{ m}^2$  de surface et de forme elliptique. La hauteur sous linteau de ces ouvertures est égale à  $1,60 \text{ m}$ .

2. **Un dispositif d'éclairage zénithal indirect** constitué de quatre lanterneaux continus, munis chacun d'une seule partie vitrée orientée vers l'Est pour capter la lumière naturelle et dont la hauteur au dessus du plan utile est égale à  $3,25 \text{ m}$  ; et une partie opaque qui diffuse cette lumière. Les caractéristiques géométriques de ces lanterneaux sont les suivantes (Figure 5.19) :

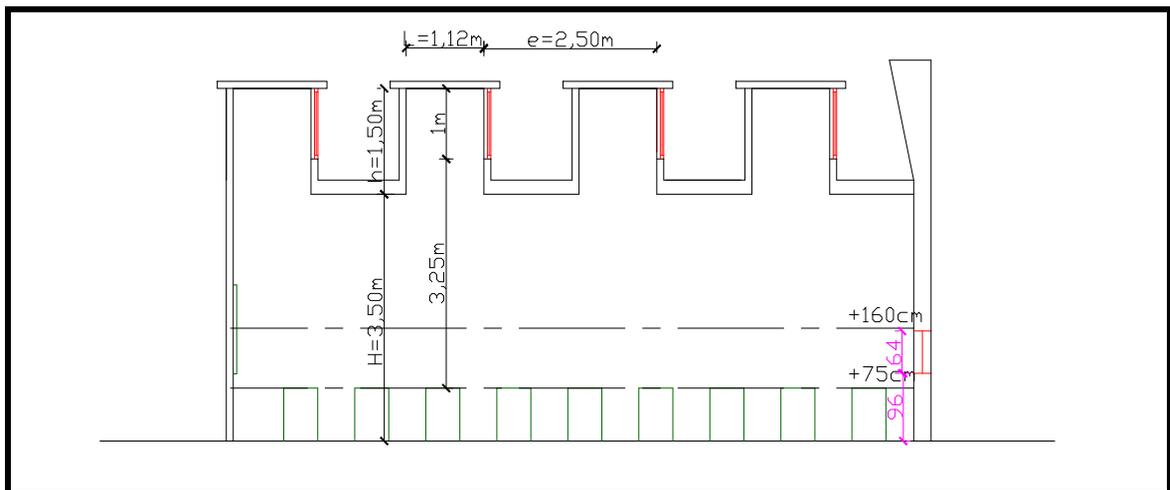
Hauteur du lanterneau =  $1,50 \text{ m}$ .

Largeur du lanterneau =  $1,12 \text{ m}$ .

Longueur du lanterneau =  $4,75 \text{ m}$ .

Pas du lanterneau =  $2,50 \text{ m}$ .

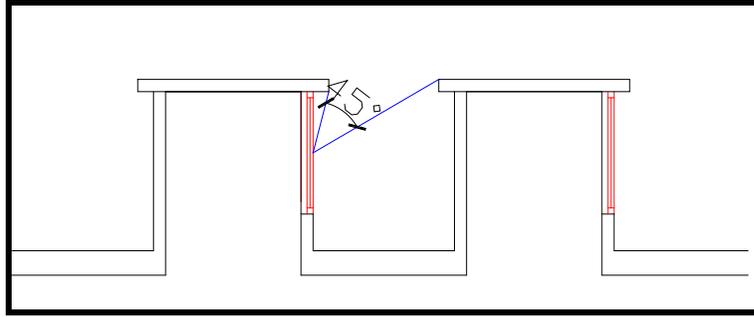
Certaines ouvertures zénithales sont ouvrantes de type « châssis basculant » et dont le cadre est en aluminium.



**Figure 5.19 : Caractéristiques géométriques des dispositifs d'éclairage naturel des salles de cours du bloc des lettres.**

Source : Auteur, 2005.

L'angle d'exposition au ciel des vitrages des lanterneaux est égal à  $45^\circ$  (figure 1.20).

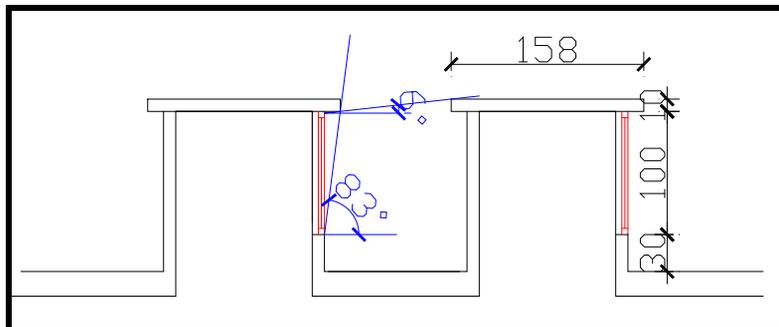


**Figure 5.20 : Angle d'exposition au ciel des lanterneaux des salles de cours.**

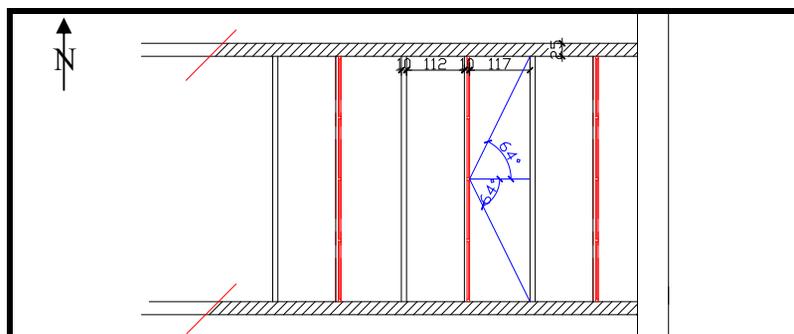
Source : Auteur, 2005.

Les masques solaires de ces ouvertures zénithales sont formés par un débord de toiture de 13cm (Figure 5.21.a), des écrans verticaux continus (Figure 5.21.b) ainsi que les lanterneaux en vis-à-vis. Le masque solaire constitué par ces éléments est indiqué dans la figure 5.22.

**a/ Les angles d'ombre verticaux (VSA)**

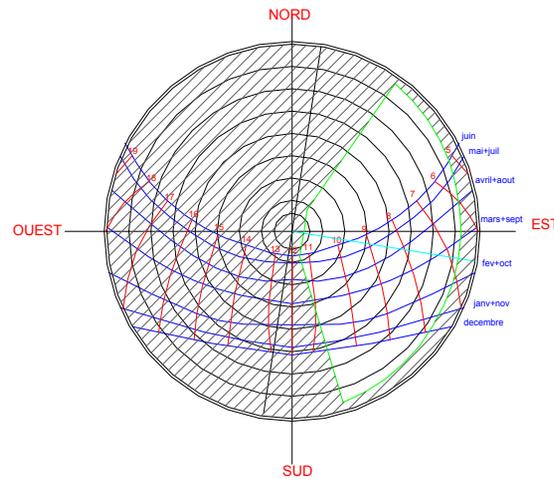


**b/ Les angles d'ombre horizontaux (HSA)**



**Figure 5.21 : Les angles d'ombre des masques solaires des lanterneaux verticaux.**

Source : Auteur, 2005.



**Figure 5.22 : Le masque solaire d'un lanterneau vertical des salles de cours du bloc des lettres.**

Source : Auteur, 2005.



**Photo 5.11 : Vue sur la toiture du bloc des lettres.**

Source : Auteur, 2005.

Concernant le mode d'éclairage électrique, les salles de cours du bloc des lettres sont éclairées par trois rangées de trois tubes fluorescents (type néons double) disposées parallèlement aux vitrages zénithaux et fixées aux parties horizontales des lanterneaux (Photo 5.12).

Les tubes sont nus, non protégés et fonctionnent toute la journée quelque soit le jour de l'année. Les interrupteurs de contrôle de l'allumage sont inexistantes et les tableaux ne sont pas éclairés individuellement.



**Photo 5.12 : Dispositif d'éclairage électrique des salles de cours du bloc des lettres.**

Source : Auteur, 2005.

### **-Conclusion**

La ville de Constantine, positionnée dans les moyennes latitudes, bénéficie d'un potentiel considérable en lumière naturelle qui devrait être exploité d'une manière optimum tout en favorisant l'économie d'énergie. Ce potentiel se traduit essentiellement par l'importance du rayonnement solaire direct, mais qui peut être également à l'origine d'inconfort visuel et thermique. Pour ce qui est des conditions de nébulosité dans la région, il apparaît clairement que les ciels clairs et partiellement couverts sont les plus fréquents à travers les saisons mais aussi les moins stables.

Compte tenu de ces spécificités du climat lumineux de la région, des procédés d'éclairage naturel indirect, comme celui du bloc des lettres, semblent être plus appropriés à l'usage dans les salles de classe que des dispositifs d'éclairage direct qui, dans le cas où ils sont utilisés, doivent être associés à des protections solaires très efficaces. Pour évaluer l'efficacité lumineuse de ce dispositif, nous avons eu recours à la méthodologie mentionnée dans le chapitre qui suit.

Selon M. ANGERS, une méthode d'enquête est « un ensemble organisé d'opérations en vue d'atteindre un objectif ». <sup>1</sup> Le concept « méthode » peut se rapporter à une façon d'envisager et d'organiser la recherche ; il dicte ainsi une manière de concevoir et de planifier son travail sur un objet d'étude en particulier.

Dans notre recherche, et afin d'atteindre notre objectif principal qui consiste à évaluer quantitativement et qualitativement le système d'éclairage naturel zénithal indirect des salles de cours du bloc des lettres du campus universitaire Mentouri de Constantine, nous avons eu recours à l'usage de deux différentes techniques d'investigation : les mesures et le questionnaire. Cette démarche est plus connue par « **l'évaluation post-occupation de l'éclairage naturel des lieux** » (Post Occupancy Evaluation).

### **1-Rappel des hypothèses de l'étude:**

#### **-Hypothèse principale:**

Le dispositif d'éclairage naturel zénithal mis au point par l'architecte O. Niemeyer dans les salles de cours du campus universitaire Mentouri de Constantine assure le confort visuel des occupants. Il constitue par conséquent une stratégie efficace d'éclairage naturel dans les salles de classe sous le climat lumineux spécifique de la région.

#### **-Hypothèses secondaires:**

1. L'orientation Est des ouvertures zénithales est efficace pour l'éclairage des salles de classe sous le climat lumineux de Constantine.
2. La couleur des surfaces intérieures des salles a un impact important sur les conditions d'éclairage naturel.
3. Les occupants des salles de cours, à savoir les étudiants et les enseignants, sont satisfaits des conditions d'éclairage naturel de leur environnement de travail.

### **2-L'évaluation post occupation (P.O.E):**

Selon BAKER et STEEMERS<sup>2</sup>, le terme « Post Occupancy Evaluation » est utilisé pour désigner les études qui emploient une large variété de méthodes pour collecter des

---

<sup>1</sup> ANGERS, Maurice. Initiation pratique à la méthodologie des sciences humaines. Alger: Casbah Université. 1997, p 58.

<sup>2</sup> BAKER, N et STEEMERS, K. Daylight design of buildings. London: James & James. 2002, p 232.

informations sur l'usage d'un bâtiment par ses occupants et sur sa performance environnementale.

De son côté, A. BELAKEHAL et al. a défini la POE comme étant « une méthode largement utilisée pour évaluer la qualité de l'éclairage naturel à l'intérieur de bâtiments. Elle consiste généralement en un questionnaire complété par plusieurs mesures physiques (luminance et niveaux d'éclairement) aussi bien que par des observations (arrangement du mobilier, fenêtre et caractéristiques spatiaux).»<sup>3</sup>

Pour d'autres chercheurs<sup>4</sup>, l'évaluation de l'occupation des lieux consiste en l'évaluation systématique des bâtiments en usage, du point de vue de ceux qui les utilisent, de sorte à établir si les édifices répondent aux besoins de leurs usagers et à identifier des façons d'améliorer leur design et leur fonctionnement.

### **2.1-Objectifs de l'évaluation post occupation :**

Les études P.O.E sont effectuées dans les bâtiments une fois qu'ils ont été occupés et utilisés. Les objectifs de cette évaluation peuvent être très diversifiés :

1. **Rendre compte de la qualité:** l'évaluation post occupation des lieux est un instrument inestimable pour déterminer la qualité d'un bâtiment.
2. **Rénover des édifices existants:** l'évaluation post occupation des lieux est un outil important pour planifier la rénovation d'édifices existants. L'évaluation permet de clarifier les points forts et les faiblesses tels qu'ils sont perçus par les usagers, de sorte à orienter les ressources vers les secteurs où elles sont vraiment nécessaires. Elle s'avère également utile au moment d'identifier comment des ajustements au design d'un bâtiment sont nécessaires pour appuyer des pratiques, des législations, des marchés ou des tendances sociales en changement.
3. **Mettre au point de nouvelles constructions:** en effet, comprendre comment des bâtiments peuvent faciliter ou au contraire gêner les activités qui s'y déroulent, permet d'en affiner le design et d'ajuster les pratiques de gestion.

---

<sup>3</sup> BELAKEHAL A., TABET K. et BENNADJI A. "An evaluation method of daylighting quality in buildings under clear sunny skies" [En ligne] [www.psyenv.com](http://www.psyenv.com) (Document pdf consulté le 16 octobre 2005)

<sup>4</sup> « L'évaluation de l'occupation des lieux » [En ligne] [www.postoccupancyevaluation.com](http://www.postoccupancyevaluation.com) (Page consultée le 05 avril 2005)

4. **Améliorer le design de futures constructions:** comprendre comment des édifices similaires opèrent une fois en usage, permet lors du design de nouvelles installations d'éviter les mêmes erreurs et d'en capitaliser les aspects positifs.
5. **Réduire les coûts:** l'évaluation post occupation des lieux identifie les façons de réduire les coûts et d'accroître l'efficacité de l'utilisation des bâtiments et des équipements. Des éléments disfonctionnels ou peu utilisés peuvent ainsi être éliminés ou remplacés.
6. **Améliorer les relations avec les usagers:** l'évaluation post occupation des lieux permet d'impliquer les usagers d'un bâtiment en leur demandant comment, de leur point de vue, celui-ci fonctionne. Une telle participation favorise leur plus grande adhésion aux solutions et une plus grande acceptation des défauts et des faiblesses des bâtiments.

### **2.2-Types d'évaluation post occupation :**

Les études P.O.E peuvent être classées selon les différentes méthodologies utilisées que les auteurs ont répertorié comme suit :

1. Les observations objectives de l'environnement physique.
2. Les observations objectives du comportement des occupants d'un édifice.
3. Les appréciations subjectives des occupants.

Les observations objectives sont faites par le chercheur en personne. Pour les observations objectives de l'environnement physique, les données sont obtenues par le contrôle des paramètres environnementaux, et ce en utilisant l'instrumentation technique. Par contre, celles liées au comportement des occupants, elles peuvent être soit décrites grâce à l'observation visuelle directe, soit quantifiées à l'aide d'instrumentation technique.

En ce qui concerne les appréciations subjectives des usagers, les techniques utilisées pour collecter ce type d'informations sont soit le « questionnaire », ou bien « l'interview » qui peut compléter le questionnaire en permettant aux occupants de développer leurs réponses. Ces réponses peuvent alors être évaluées et indiquer par ailleurs les aspects positifs et/ou négatifs de la performance environnementale du bâtiment. Mais afin de réduire la subjectivité de ce type d'étude et d'obtenir des résultats statistiquement

significatifs, le chercheur doit inclure un grand nombre d'occupants ou bien un groupe constant de personnes qui répondra aux questions posées durant les différentes saisons de l'année.

En conclusion, les trois types d'étude P.O.E s'appuient sur des données collectées par le chercheur sur le bâtiment proprement dit comme les plans, les modes d'éclairage naturel et électrique utilisés...etc. Cependant, chacun d'eux est très différent de l'autre mais dans certaines circonstances, ils peuvent être combinés. Il est vrai que le contrôle environnemental peut procurer les données quantitatives nécessaires concernant le bâtiment, tandis que le questionnaire procurera les informations sur le comportement de ses usagers. En analysant toutes ces données et en comparant les résultats des observations objectives de l'environnement aux réponses subjectives du questionnaire et de l'interview, le chercheur pourra identifier les problèmes et/ou les solutions à entreprendre dans cet édifice (ou dans les futures constructions) afin d'y améliorer les conditions de confort.

### **3-L'évaluation post occupation de l'éclairage naturel des salles de cours du bloc des lettres:**

Dans notre recherche, nous avons procédé à l'évaluation post occupation de l'éclairage naturel des salles de cours du bloc des lettres du point de vue technique, c'est-à-dire « les observations objectives de l'environnement physique » ; mais aussi du point de vue subjective des usagers, c'est-à-dire « les appréciations subjectives des occupants ». L'évaluation technique s'est focalisée sur les aspects énergétiques et le fonctionnement du système d'éclairage naturel. Quant à l'évaluation subjective de l'usage, elle est tirée du questionnaire distribué auprès des occupants de ces salles de cours.

L'objectif de cette démarche est d'analyser quantitativement et qualitativement l'éclairage naturel zénithal des salles de cours, ceci d'une part. D'autre part, de comparer les résultats de l'étude des usagers aux données techniques afin de déceler les aspects négatifs et positifs de l'éclairage intérieur des salles de cours et ainsi produire des directives pour l'usage futur des professionnels. En d'autre terme, le but de cette recherche est de mettre à profit notre meilleure compréhension des points forts et des faiblesses de ces locaux, du point de vue de l'éclairage, lors de la prise de décision concernant la construction de nouvelles infrastructures universitaires, et des établissements d'enseignement de manière générale.

### **3.1-Collecte des observations objectives de l'environnement physique :**

Il existe plusieurs méthodes de prédiction et d'évaluation de l'éclairage naturel dans le bâtiment, que les spécialistes ont classé en cinq catégories principales qui sont:

1. Les méthodes de calcul basées sur l'usage de formules et d'équations mathématiques.
2. Les méthodes graphiques tels que les rapporteurs du BRE, les diagrammes de Waldram et le « pepper pot diagram ».
3. Les méthodes de simulation informatique par des logiciels tels que Superlite, Généralux de M. Fontoynt, Daysim, Skyvision, Radiance du Laboratoire de Lawrence Barckley, Ecotect....
4. La méthode des modèles réduits (maquettes).
5. Les mesures sur modèle réel.

Dans notre étude, l'outil d'investigation utilisé pour collecter les observations objectives de l'environnement physique constitué des trois salles de cours types (N° 82, 59 et 54-55), c'est la « **mesure sur modèle réel** » des performances lumineuses du dispositif d'éclairage naturel, en excluant totalement les apports de l'éclairage électrique dans ces locaux.

#### **3.1.1-Les mesures effectuées:**

Quatre types de mesure ont été effectués pour les trois salles de cours du bloc des lettres:

1. La mesure des niveaux d'éclairement lumineux extérieur global ( $E_x$ ) sur un plan horizontal totalement dégagé, représenté par l'esplanade de l'université.
2. La mesure des éclairements lumineux horizontaux intérieurs ( $E_i$ ) en un certain nombre de points de références de chaque local et ce, pour deux plans situés à différentes hauteurs (plan utile situé à 75cm du niveau du plancher et le plan situé à 160 cm correspondant à la hauteur des yeux d'une personne debout).
3. La mesure des éclairements lumineux verticaux intérieurs ( $E_v$ ) pour les tableaux.
4. La mesure des éclairements lumineux verticaux au centre des plans des ouvertures ( $E_w$ ).

### 3.1.2-Choix des points de mesure:

Pour décrire la photométrie d'un local, il faut effectuer diverses mesures d'éclairement ponctuel dans la zone de travail. Ces niveaux d'éclairement sont mesurés suivant un quadrillage appelé aussi « grille de mesure » propre à chaque salle de cours (Figure 6.1).

La nature et la position du dispositif d'éclairage zénithal mis en place dans les salles de cours du bloc des lettres permettent, de la même manière que pour l'éclairage électrique, d'utiliser la méthodologie de mesure des éclairements lumineux intérieurs, décrite dans la norme belge NBN L 14-002 « Méthodes de prédétermination des éclairements, des luminances et des indices d'éblouissement en éclairage artificiel d'espaces clos », et dans la norme française NF C 71-121 « Méthodes recommandées pour la photométrie des lampes et des appareils d'éclairage »<sup>5</sup>. Ces deux normes font appel à « l'indice du local » K pour déterminer le nombre minimal des points de mesure nécessaires pour décrire la photométrie d'un espace. Cet indice dépend exclusivement des caractéristiques géométriques du local et est représenté par la formule suivante:

$$K = (a \times b) / h (a + b) \dots \dots \dots [6]$$

a et b : largeur et longueur du local.

h : hauteur utile de l'installation d'éclairage.

En comparant la valeur ainsi calculée aux valeurs du tableau 6.1, on détermine le nombre minimal des points de mesure. En ce qui concerne nos trois salles de cours types, les indices K sont les suivants:

$$K_{\text{salle 82 et 59}} = (9,8 \times 4,8) / 3,5 (9,8 + 4,8) = \mathbf{0.92}$$

K est inférieure à 1, donc le nombre minimum de points de mesure est égal à 4 (voir tableau 6.1).

$$K_{\text{salle 54}} = (9,8 \times 9,8) / 3,5 (9,8 + 9,8) = \mathbf{1.4}$$

<sup>5</sup>Chartered Institution of Building Services Engineers. Applications manual: window design. London: CIBSE. 1987, p 38.

<sup>6</sup>DE HERDE, André et al. «Mesure du niveau d'éclairement». Université Catholique de Louvain La Neuve [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be/mesures/meseclairment.htm#luxmetre](http://www-energie.arch.ucl.ac.be/mesures/meseclairment.htm#luxmetre) (Page consultée le 18 octobre 2004)

K est compris entre 1 et 2, donc le nombre minimum de points de mesure est égal à 9 (voir tableau 6.1).

Tableau 6.1: **Détermination du nombre minimal de points de mesure en fonction de l'indice du local K.**

Source : A.F.E, 1987.

<b>K</b>	<b>Nbre minimum de points de mesure</b>
moins de 1	4
1 .. 1,9	9
2 .. 2,9	16
3 et plus	25

Le choix des points de mesure à l'intérieur des salles de cours obéit à des grilles tracées selon la disposition des plans de travail (tables) et des ouvertures (latérales et zénithales). En respectant le nombre minimal de points, nous avons choisi 24 points de mesure pour la salle de cours n° 54-55 (Figure 6.1.a), 15 points pour la salle de cours n° 59 (Figure 6.1.b.) et 12 points pour la salle de cours n° 82 (Figure 6.1.c). Les distances usuelles entre les points de mesure varient entre 1.50m et 2.50m.

### **3.1.3-Instrumentation:**

Les mesures des niveaux d'éclairement lumineux sont réalisées à l'aide d'un « **luxmètre** » ayant une réponse spectrale correspondant à la sensibilité spectrale photopique moyenne de l'oeil, définie par la Commission Internationale de l'Eclairage (publication C.I.E. n° 18, 1970).

Le luxmètre est, dans son principe, l'appareil essentiel à toute mesure photométrique. Constitué d'une cellule au sélénium photosensible (photopile), il transforme l'énergie reçue en courant électrique ; il est donc associé à un milliampèremètre. Pour que sa sensibilité corresponde à celle de l'œil, il est muni d'un filtre, dont la courbe de réponse en

fréquence est celle définie par la fonction  $V(\lambda)$  en vision photopique (courbe de sensibilité relative de l'œil humain). Le calibre du milliampèremètre est alors gradué en lux.<sup>7</sup>

Dans notre étude, nous avons utilisé un luxmètre DVM 1300 (Velleman components) composé d'un afficheur LCD, un commutateur et un photo détecteur (Photo 6.1). Ses caractéristiques sont:

- Opération avec un seul commutateur.
- Dimensions photo détecteur 115x60x27mm.
- Dimensions appareil 188x64.5x24.5mm.
- Modèle léger en format de poche 160g.
- Mesures des intensités lumineuses de 0,01 à 50.000 Lux.
- Plage de mesure 200, 2000, 20000 lux (affichage x10), 50000 lux (affichagex100)
- Précision de mesure +5% de l'affichage + 10 digits (<10000 lux)  
+10% de l'affichage + 10 digits (>10000 lux)
- Photo détecteur : un photodiode en silicium avec filtre.

**Photo 6.1 : Luxmètre DVM 1300.**

Source : Auteur.



<sup>7</sup> VANDEPLANQUE.P. L'éclairage : notions de base, projets d'installations. Paris : Technique et Document (Lavoisier). 1984.p 17.



### **3.1.4-Choix des journées et des moments de prise des mesures:**

Les mesures d'éclairement lumineux ont été effectuées in situ pendant trois jours durant les vacances d'hiver (25, 27 et 29 décembre 2004), trois jours durant les vacances de printemps (27 mars, 3 et 5 avril 2005) et trois jours en été (13, 19 et 21 juin 2005). Il est important de rappeler que l'objectif de cette étape de la recherche étant à caractère quantitatif, la présence des étudiants n'était pas du tout nécessaire.

Les trois journées de mesure ont été choisies d'abord pour des raisons pratiques (disponibilité des instruments de mesure), mais surtout en fonction de la trajectoire solaire : nous avons choisi la période du solstice d'hiver, durant laquelle le soleil est le plus bas dans le ciel (le soleil se lève au sud-est et se couche au sud-ouest), la période de l'équinoxe du printemps où les rayons solaires sont perpendiculaires à l'équateur (déclinaison=0°) et la période du solstice d'été, durant laquelle le soleil est le plus haut dans le ciel (le soleil se lève au nord-est et se couche au nord-ouest).

Le choix des journées de mesure est fonction également des conditions de nébulosité (état du ciel) : nous avons ainsi fait, pour chaque période, des mesures pour une journée où le ciel était complètement couvert avec soleil invisible (25 décembre, 3 avril et 13 juin), une journée avec ciel clair ensoleillé (27 décembre, 27 mars et 21 juin) et une journée avec ciel semi couvert (29 décembre, 5 avril et 19 Juin).

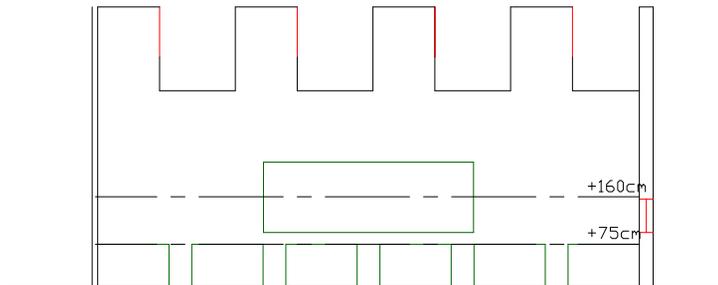
Pendant chaque journée de prise, nous avons effectué les mesures à trois horaires différents de la journée : à 9 GMT, à 12 GMT et à 14 GMT afin d'examiner le changement journalier de la lumière naturelle, qui est strictement dépendant du mouvement des rayons solaires.

### **3.1.5-Déroulement des mesures :**

Nous avons d'abord effectué des mesures de l'éclairement lumineux horizontal extérieur sur l'esplanade du complexe universitaire. Ensuite, nous avons effectué les mesures d'éclairages horizontaux intérieurs dans les salles de cours successivement : 82, 59 et 54-55. A chaque prise horaire, les mesures duraient environ 30 minutes entre la première mesure extérieure et la dernière mesure dans la salle 54, soit dix (10) minutes pour chaque salle de cours : ne disposant que d'un seul luxmètre, les mesures n'ont pas pu être effectuées simultanément comme il est recommandé de le faire.

D'autre part, ces mesures ont été effectuées sur deux plans différents : sur le plan utile situé à +75 cm du niveau du plancher, puis un autre situé à +160 cm du niveau du plancher

(à la hauteur des yeux d'un observateur debout) (Figure 6.2). Il est important de rappeler que l'objectif des mesures à un niveau de 160 cm est d'apprécier la distribution de la lumière naturelle verticalement sur une coupe transversale des salles de cours.



**Figure 6.2: Plans de mesure des éclairements lumineux intérieurs.**

Source : Auteur, 2005.

Nous avons mesuré également les niveaux d'éclairage horizontaux intérieurs en trois points du tableau de chaque salle de cours: milieu, extrémités droite et gauche en plus d'un éclairage vertical au milieu du plan du tableau. Sous les conditions du ciel clair ensoleillé, nous avons mesuré, en plus, les éclairements verticaux au centre des plans des ouvertures.

Il faut noter que toutes les mesures étaient transcrites manuellement sur les plans des locaux. Des prises de photos numériques à l'aide d'un appareil numérique (type KODAK 2000) accompagne chaque prise horaire et journalière, afin d'apprécier l'ambiance lumineuse qui règne dans chaque salle de cours, à différents moments de la journée et de l'année.

### **3.1.6-Traitement des données mesurées :**

Après avoir effectué ces mesures, nous avons retranscrit les valeurs d'éclairage intérieur sous forme de tableaux et nous avons calculé à l'aide du logiciel informatique « Excel » les valeurs suivantes :

1- **Les iso facteurs de lumière du jour** ( $Fl_j$ ) en chaque point de chaque local type pour les deux plans. Leurs calculs nous ont permis de dessiner les contours FLJ sur les plans des locaux et des graphiques qui représentent la distribution de la lumière naturelle en coupe. Les formules utilisées sont les suivantes :

**Sous ciel couvert:**  $FLJ (\%) = (E_i/E_x) \times 100 \dots\dots [8]$

$E_i$  : éclairement lumineux horizontal intérieur.

$E_x$  : éclairement lumineux horizontal extérieur.

**Sous ciel clair ensoleillé:**  $FLJ (\%) = (E_i/E_w) \times 100 \dots\dots [9]$

$E_i$  : éclairement lumineux horizontal intérieur.

$E_w$  : éclairement lumineux vertical au centre de l'ouverture.

2- **Le facteur de lumière du jour moyen** ( $FLJ_{moy}$ ) sur le plan utile dans chaque local, qui correspond à la moyenne arithmétique des valeurs ponctuelles du  $Fl_j$ , soit :

$$FLJ_{moy} = \sum Fl_j / n \dots\dots [10]$$

$Fl_j$  : iso facteur de lumière du jour.

$n$  : le nombre de point de mesure.

3- **L'éclairement moyen général** ( $E_{moy}$ ) dans chaque local, qui correspond à la moyenne arithmétique des éclairagements intérieurs ( $E_i$ ) relevés en un certain nombre de points significatifs du local, la cellule du luxmètre étant placée horizontalement à la hauteur du plan utile. ( $n$ ) étant le nombre de point de mesure.

$$E_{moy} = \sum E_i / n \dots\dots [11]$$

<sup>8</sup> **ROULET, Claude Alain.** Energétique du bâtiment II : Prestations du bâtiment, bilan énergétique global. Collection « Gérer l'Environnement ». Lausanne: Presses Polytechniques Romandes.1987. p33.

<sup>9</sup> **CHAVEZ, J. G.** The potential of beam core daylighting for reducing the energy consumption of artificial lighting and air conditioning in hot- arid region of Mexico. PhD Thesis. The Architectural Association Graduate School of Architecture. Avril 1989, p .

<sup>10</sup> **ROULET, Claude Alain.** Energétique du bâtiment II : Prestations du bâtiment, bilan énergétique global. Collection « Gérer l'Environnement ». Lausanne: Presses Polytechniques Romandes.1987. p33.

<sup>11</sup> **Association Française de l'Eclairage.** Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris : LUX. 1987, p 34.

- 4- **L'indice d'uniformité ( $I_u$ )** de l'éclairage intérieur dans chaque local, qui correspond au rapport de l'éclairement minimum ( $E_{\min}$ ) relevé dans le local, sur l'éclairement moyen général ( $E_{\text{moy}}$ ), soit :

$$I_u = E_{\min} / E_{\text{moyen}} \dots\dots [12]$$

### **3.2-Collecte des réponses subjectives des occupants:**

La technique que nous avons utilisée pour le recueil de ce type d'informations, est celle du questionnaire qui va nous permettre d'évaluer qualitativement la perception, la satisfaction, les préférences et le comportement des occupants des trois salles de cours types du bloc des lettres, à savoir les étudiants et les enseignants. Mais avons de présenter les résultats de cette enquête, voyons d'abord ce qu'est un questionnaire.

#### **3.2.1-Définition du « questionnaire »**

Le questionnaire est défini comme étant « un instrument de prise de l'information, basé sur l'observation et l'analyse des réponses à une série de questions posées. Cette technique constitue un raccourci précieux quand l'observation directe est impossible, trop coûteuse ou insuffisante.»<sup>13</sup> En effet, ce sont ces raisons qui nous ont poussé à choisir cet outil plutôt qu'un autre pour élaborer la deuxième phase de notre investigation.

#### **3.2.2- La population**

Nous allons parler maintenant de la population de notre enquête qui est définie par C. ROSENTAL<sup>14</sup> comme étant « l'ensemble sur lequel portent les observations ».

Le nombre exact ainsi que le choix des personnes concernées par le questionnaire lors d'une étude P.O.E, n'obéissent pas à des règles strictes. Il est simplement recommandé d'inclure le plus de participants possible afin d'éviter des erreurs relevant de la subjectivité des réponses. De l'avis de BAKER et STEEMERS<sup>15</sup>, il serait préférable également d'inclure un nombre égal d'hommes et de femmes, lorsque ceci est possible, puis de les diviser en groupes selon leur vue, leur espace de travail et leur position dans cet espace.

<sup>12</sup> **Association Promotelec.** Label Promotelec Eclairage des salles de classe : cahier des prescriptions. Paris : Promotelec. Septembre 2002, p 5.

<sup>13</sup> **A. ROUAG.** Cours de méthodologie. Magister. Option psychotraumatisme. 2002-2003, p11.

<sup>14</sup> **ROSENTAL. C, MURPHY. C. F.** Introduction aux méthodes quantitatives en sciences humaines et sociale. Paris: Dunod. 2001, p 3.

<sup>15</sup> **BAKER. N et STEEMERS. K.** Daylight design of buildings. London: James & James. 2002, p 235.

Pour notre part, nous avons réparti notre population en trois groupes standards comportant douze (12) usagers de chacune des trois salles de cours types (82, 59 et 54-55) dans lesquelles nous avons effectué au préalable les mesures techniques. Le choix des occupants des trois salles a été fait selon leur position dans ces locaux. Quant aux conditions du ciel, les usagers ont répondu au même questionnaire sous les conditions du ciel clair serein d'été (le cas le plus critique) correspondant au 20 Mai 2005.

### **3.2.3- La description du questionnaire**

Le champ d'application du questionnaire est très vaste et sert à appréhender des phénomènes très divers et particulièrement des comportements privés<sup>16</sup>. C'est le cas dans notre étude où nous avons pour objectif de recueillir l'appréciation des étudiants et des enseignants, concernant leur environnement physique représenté par leurs salles de cours.

Après avoir collecté le maximum de données sur le sujet de notre recherche, grâce aux données relatives à la littérature écrite, nous avons élaboré notre questionnaire. A ce propos, il n'existe pas de guide spécifique sur le contenu précis du questionnaire d'une étude POE puisque, d'après les auteurs, chaque projet d'éclairage et chaque édifice en général est unique en son genre. D'où la diversité des questions pour chaque cas.

Pour ce qui nous concerne, nous avons divisé notre questionnaire en trois (03) volets qui regroupent chacun un certain nombre de questions :

-Le premier volet comporte quatre (04) questions signalétiques qui concernent l'utilisateur, à savoir le sexe, l'âge, le groupe des usagers ainsi que la durée d'occupation des salles de cours : nous avons jugé que ce sont des facteurs susceptibles d'influencer le comportement et l'appréciation de la population étudiée.

-Le deuxième volet qui regroupe trois (03) questions, concerne le rapport de l'utilisateur à la lumière naturelle ainsi que son évaluation des conditions d'éclairage naturel de la salle de cours qu'il fréquente durant deux saisons différentes (été et hiver) de l'année. Les réponses sont données selon une échelle d'évaluation allant de 0 (très insuffisante) à 4 (excessive).

-Enfin, le troisième volet qui est composé de neuf (09) questions, réunit les informations sur la présence de la lumière solaire directe et les éventuels problèmes d'inconfort qu'elle peut susciter du point de vue lumineux et thermique. En effet, même si l'objet de l'étude est l'éclairage naturel, et dans le but d'avoir une approche plus holistique

---

<sup>16</sup> A. ROUAG. Cours de méthodologie. Magister. Option psychotraumatisme. 2002- 2003, p12

concernant l'effet de celui ci dans le bâtiment, le contenu du questionnaire doit considérer l'environnement physique comme un ensemble incluant les conditions thermiques et les nuisances. Ainsi, l'usager aura l'opportunité d'évaluer l'importance de la qualité d'éclairage par rapport aux autres qualités de l'environnement du travail.<sup>17</sup>

Nous rappelons que certaines questions posées sont de types « fermées » qui sont, de l'avis de F. de SINGLY « celles où les personnes interrogées doivent choisir entre des réponses déjà formulées à l'avance »<sup>18</sup>, comme par exemple la question n° 08: Appréciez vous la présence de la lumière solaire directe dans votre champ de vision ? D'autres questions sont « en éventail » où, comme le souligne CHAUCHAT<sup>19</sup>, la question est associée à une liste de réponses possibles appelée éventail de réponses. L'intérêt de ces questions réside dans le fait que les données obtenues ici, peuvent être plus précises et plus fiables que celles qui résultent d'une question fermée, car le cadre proposé est moins schématique et plus conforme à la diversité de pensées qui existe dans une population. Ces questions laissent la possibilité, soit à une seule réponse que certains auteurs nomment « la question à réponse unique », comme celle qui concerne l'âge par exemple. Ou bien, elles laissent la possibilité de donner plusieurs réponses : c'est ce qu'on appelle les « questions à choix multiple » telles les questions n° 11 et n°16 qui touchent aux comportements des usagers et aux sources de l'éblouissement.

#### **3.2.4-La passation du questionnaire**

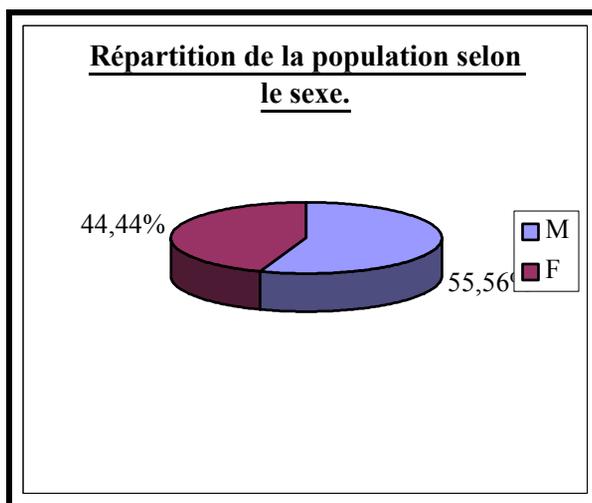
La passation du questionnaire s'est déroulée d'une manière directe et en groupe au niveau des salles de cours types. Elle a concerné trente six (36) personnes qui étaient réparties entre seize (16) femmes et vingt (20) hommes (Tableau 6.2), dont nous traçons les graphes récapitulatifs qui nous montrent les différentes caractéristiques de notre population :

---

<sup>17</sup> BAKER. N et STEEMERS. K. Daylight design of buildings. London: James & James. 2002, p 234.

<sup>18</sup> F. DE SINGLY. L'enquête et ses méthodes : Le questionnaire. Paris: Nathan. 1992, p 66.

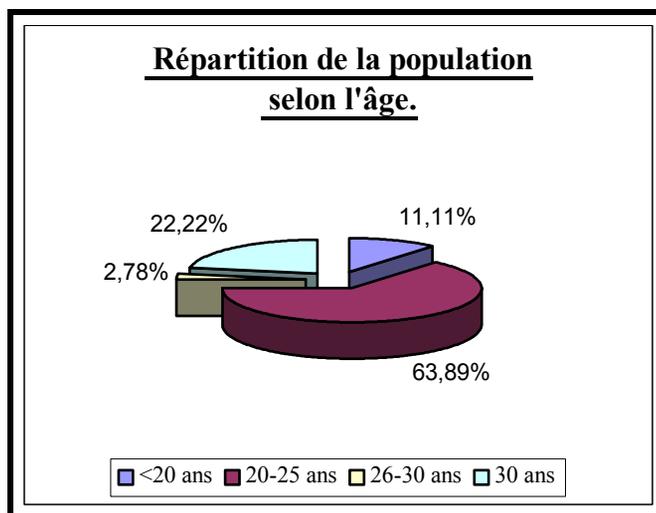
<sup>19</sup> H. CHAUCHAT. L'enquête en psychosociologie. Paris : 2è Ed. PUF.1990, p203.



Sexe	Nombre	(%)
Masculin	20	55,56
Féminin	16	44,44
Total	36	100

**Tableau 6.2 : Répartition de la population selon le sexe.**

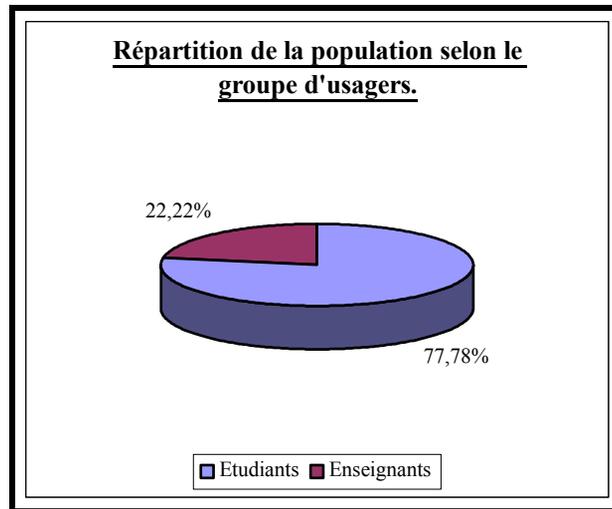
Le tableau n°6.2 rapporte que l'échantillon interrogé est constitué de 55,56% d'étudiants et d'enseignants et 44,44% d'étudiantes et d'enseignantes.



Tranche d'âge	Nombre	(%)
<20 ans	4	11,11
20-25 ans	23	63,89
26-30 ans	1	2,78
+30 ans	8	22,22
Total	36	100

**Tableau 6.3 : Répartition de la population selon l'âge.**

Concernant l'âge des sujets interrogés, 63,89% ont entre 20 et 25 ans, 22,22% sont âgés de plus de 30ans (enseignants), 11,11% ont moins de 20 ans et 2,78% sont âgés entre 26 et 30 ans.



Groupe d'utilisateur	Nombre	(%)
Etudiants	28	77,78
Enseignants	8	22,22
Total	36	100

**Tableau 6.4 : Répartition de la population selon le groupe d'utilisateurs.**

Le tableau n°6.4 rapporte que l'échantillon interrogé est constitué de 77,78% d'étudiants et 22,22% d'enseignants.

### **3.2.5-Traitement des informations :**

L'analyse des résultats du questionnaire nous permet de voir si les résultats des mesures techniques sont en accord avec les réponses subjectives des occupants. Cette analyse s'appuie sur « **les tris à plat** » qui, selon M. ROBERT<sup>20</sup>, consiste à calculer la distribution des effectifs ainsi que les pourcentages des modalités de réponses de chaque question. Nous les avons présentés sous forme de tableaux et de graphiques en utilisant le logiciel informatique 'Excel'. Ce type d'analyse nous donne une idée générale sur les résultats de la recherche et ce, afin de comprendre tant sur le plan quantitatif que qualitatif, le degré d'appréciation des occupants interrogés des conditions d'éclairage naturel de leur environnement de travail.

<sup>20</sup> M. ROBERT. Fondements et étapes de la recherche scientifique en psychologie. Paris. 3<sup>e</sup> Ed. Ed Maloine 1988. p312

#### **4-Les difficultés rencontrées sur le terrain:**

Comme dans tous les travaux de recherche nous nous sommes heurtés à un certain nombre de difficultés tant sur le plan théorique où nous avons eu du mal à rassembler les données bibliographiques quasi-inexistantes dans notre pays sur le sujet de l'éclairage dans le bâtiment, que sur le plan pratique (à savoir le terrain) où nous manquions d'instruments de mesure (luxmètre) en plus de l'inaccessibilité aux salles de cours où se déroulent les séances continues et ce pour effectuer les mesures proprement dites. Pour ce fait nous avons dû entreprendre ces mesures uniquement durant les périodes de vacances.

Or à cette période, un autre problème s'est posé à nous : celui de l'éclairage électrique qui était constamment allumé car il est commandé par un interrupteur général qui se trouve au niveau du service des moyens généraux, puisque les interrupteurs de contrôle des salles étaient inopérants. Ce qui nous a conduit à prendre des risques majeurs en court-circuitant nous même les interrupteurs des trois salles de cours types de notre étude.

D'autre part, et comme le mobilier scolaire (tables et chaises) était constamment déplacé par le personnel de nettoyage, il nous a fallu très souvent les replacer à leur position initiale pour pouvoir effectuer fidèlement nos mesures et respecter les grilles tracées.

Quant à la passation du questionnaire, elle a été d'autant plus difficile du fait de l'incompréhension des usagers de certains termes techniques employés dans nos questions. Pour cela, nous avons dû recourir à la passation directe du questionnaire, ce qui nous pris un temps considérable.

Notre travail devait aussi inclure une simulation informatique à l'aide d'un logiciel, mais il nous a été impossible de se procurer un logiciel qui simule les conditions d'éclairage pour un dispositif zénithal et plus particulièrement les lanterneaux.

#### **-Conclusion**

L'évaluation post occupation des lieux est une démarche nouvelle qui permet non seulement de rénover des édifices existants mais aussi d'améliorer la conception des futures constructions. Elle associe plusieurs outils de recherche car les mesures techniques à elles seules ne suffisent plus pour rendre compte des performances d'un espace architectural puisque des facteurs subjectifs interviennent dans la sensation de confort des individus. En effet, il a été démontré que grâce à l'implication des usagers par une telle démarche, l'espace architectural est mieux accepté et n'est pas rejeté par ses occupants.

Pour ce qui est de l'application de cette démarche aux salles de cours du bloc des lettres, les résultats des mesures et du questionnaire sont présentés dans le chapitre qui suit.

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre précédent, nous avons effectué une campagne de mesures en trois périodes de l'année : en hiver, en équinoxe du printemps et en été sous les conditions du ciel couvert, semi couvert et clair à 9h GMT, 12 h GMT et 14h GMT. Nous avons également eu recours à un questionnaire pour connaître l'opinion des usagers en ce qui concerne les conditions d'éclairage naturel de leur environnement de travail. Le but de ce chapitre est de présenter d'abord les résultats des mesures, puis ceux des tris à plats du questionnaire sous forme de plans et de graphes pour une lecture plus aisée.

## **1-Présentation et interprétation des résultats des mesures:**

### **1.1-Période hivernale:**

#### **1.1.1- Ciel couvert à 9 GMT**

##### **-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est couvert ( $I_N=6$  octas)<sup>1</sup> avec obstruction totale du disque solaire. L'éclairement lumineux horizontal extérieur global est donc égal à l'éclairement diffus du ciel (pas de rayonnement direct):  $E_x= 13800\text{Lux}$ .

##### **-Eclairage naturel intérieur de la salle de cours n°82 :**

Les contours FLJ (Figure 7.1.a) indiquent que la distribution des valeurs du facteur de lumière du jour est symétrique par rapport à l'axe de la salle à cause de l'isotropie du ciel couvert. Les Flj sur plan utile varient entre 2,06% à proximité du mur de fenestration Ouest dont le facteur de réflexion est estimé à 0,24 ; et 2,8% au contact des parois internes Nord et Sud dont le facteur de réflexion est d'environ 0,57.

L'effet directif associé aux lanternes verticaux munis d'une seule partie vitrée, est atténué grâce à la texture et à la couleur des parois internes du local dont la réflectance moyenne ( $R_B$ ) est d'environ 0,51. Il en résulte une augmentation de la composante réfléchie interne et par conséquent l'augmentation des valeurs Flj à proximité de ces parois.

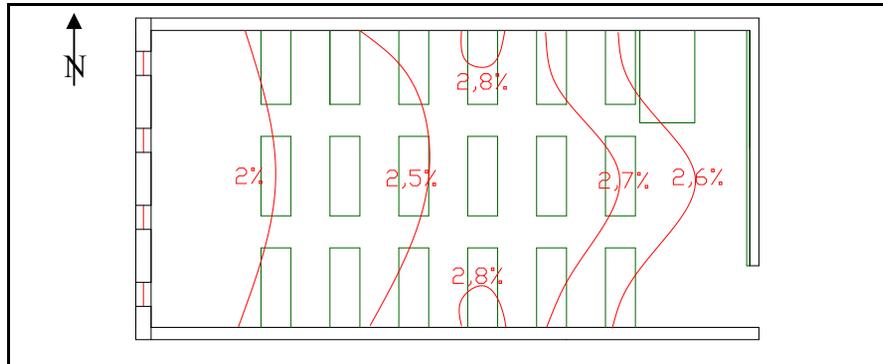
Le profil transversal dans l'axe du local (Figure 7.2.b) montre que les valeurs Flj mesurées à 1,60 m suivent la même évolution que celles mesurées au niveau du plan utile, elles sont toutefois de valeurs supérieures (entre 2.21% et 3.67%) car, à cette hauteur, la composante directe du ciel est plus importante (portion du ciel visible plus importante) ainsi que les réflexions internes puisque le facteur de réflexion de la partie supérieure des parois (estimé à 0,85) est plus important que celui de la partie inférieure (estimé à 0,3).

---

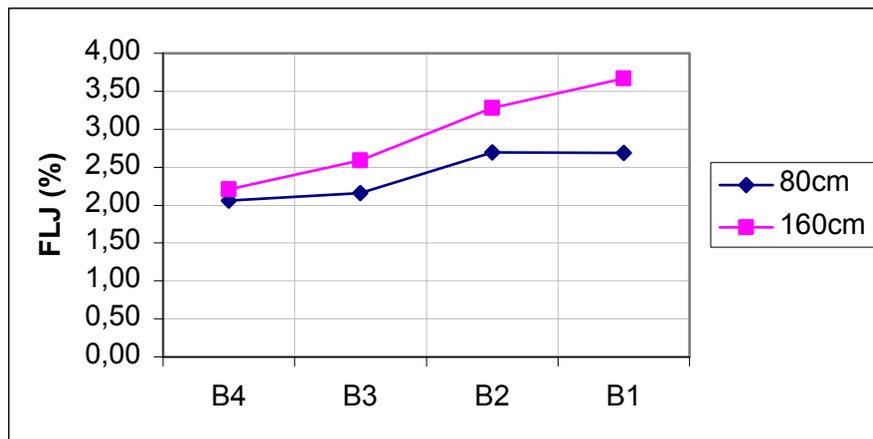
<sup>1</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.1 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82  
sous ciel couvert d'hiver à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



**c- Ambiance lumineuse intérieure**



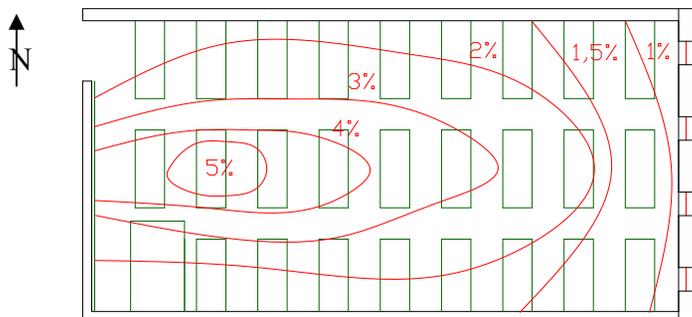
Vue vers la paroi Est du local



Vue vers la paroi Ouest du local

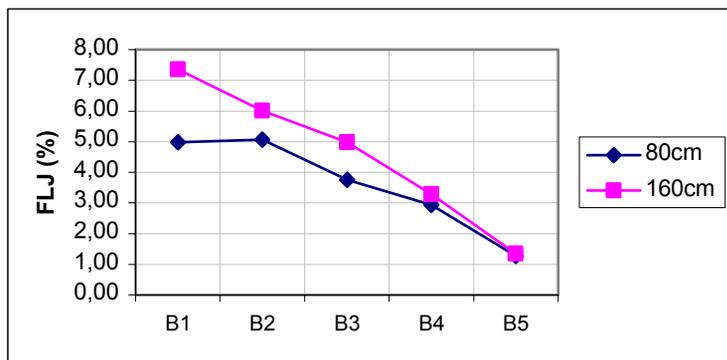
**Figure 7.2 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59**  
**sous ciel couvert d'hiver à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



- Distribution symétrique.
- Directivité de la lumière vers la paroi Ouest (mono exposition des vitrages).
- Le fond de la salle est sombre.
- $1,01\% \leq Flj \leq 5,07\%$
- Baisse des Flj à proximité des parois internes (réflectance moyenne faible estimée à 0,24)

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



- Effet directif accentué de la lumière vers la partie Ouest de la salle.
- Au niveau +160 cm :  $1,34\% \leq Flj \leq 7,36\%$  (composante directe plus importante)

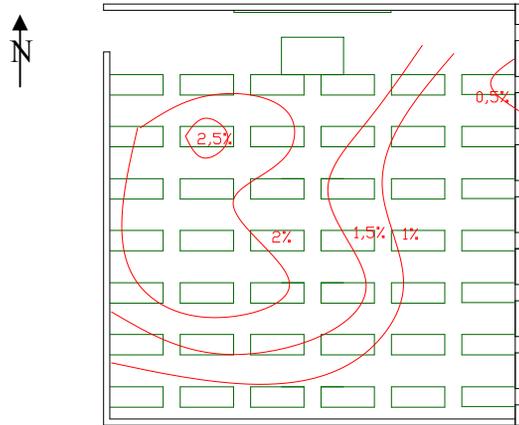
**c- Ambiance lumineuse intérieure**



Vue vers le mur de fenestration Est

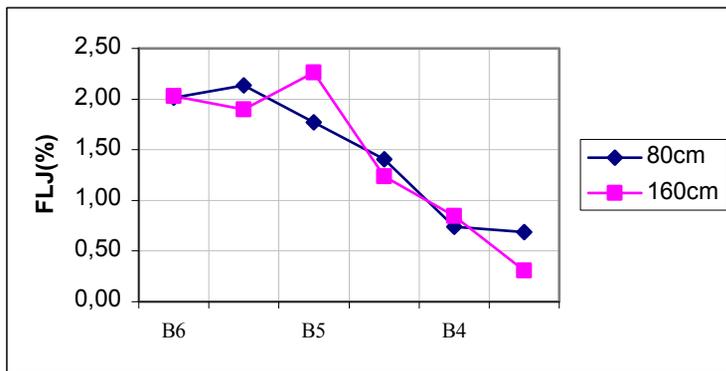
**Figure 7.3 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55**  
**sous ciel couvert d'hiver à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Effet directif de la lumière naturelle vers la paroi Ouest du local.  
 -Partie Est sombre.  
 -Baisse relative des Flj à proximité des parois internes (facteur de réflexion estimé à 0,30).  
 $-0,51\% \leq Flj \leq 2,5\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Augmentation des Flj sous les parties transparentes des lanterneaux (augmentation de la composante directe et de la composante réfléchie externe).  
 -Baisse des Flj sous les parties opaques des lanterneaux.

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



Paroi interne Sud réfléchissante



Effet directif des lanterneaux verticaux

### **-Heure 12 GMT**

#### **-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est totalement couvert ( $I_N = 8$  octas)<sup>2</sup> avec une obstruction totale du disque solaire. L'éclairement lumineux extérieur mesuré sur plan horizontal est égal à :

$E_x = 9930$  Lux. Cet éclairement global est égal à l'éclairement diffus du ciel.

#### **-Eclairage naturel intérieur de la salle de cours n°54-55 :**

Les contours FLJ (Figure 7.4.a) indiquent un effet directif très prononcé de la lumière du jour vers la paroi Ouest de la salle à cause de la mono exposition des vitrages zénithaux. Ainsi, les valeurs de Flj sur plan utile varient entre 1,01% à proximité du mur de fenestration Est et 3,52% à proximité de la paroi Ouest vers laquelle convergent les rayons lumineux. Une baisse des valeurs Flj est relevée à proximité des parois internes à cause du faible facteur de réflexion estimé à 0,30.

Les valeurs Flj les plus faibles au niveau du plan utile sont enregistrées sous la partie opaque du dernier lanterneau et ceci malgré la présence des ouvertures latérales : leur forme elliptique, leur petite surface et leur basse position face à des luminances faibles du ciel couvert les rendent peu efficace du point de vue éclairage naturel. Le rôle principal de ces hublots, disposés parallèlement à la direction du regard des occupants, est sans doute d'ordre psychologique qui est d'assurer la liaison entre l'intérieur et l'extérieur du local (la vue vers l'extérieur).

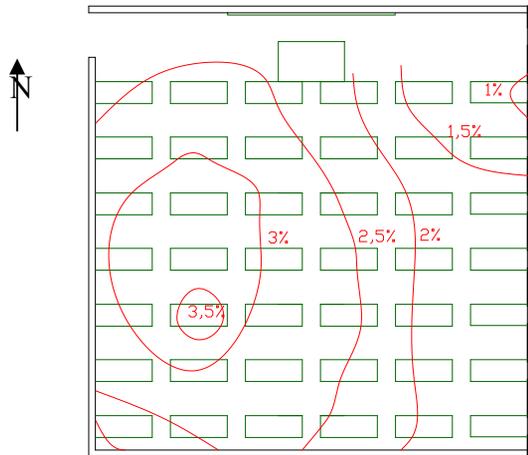
En coupe (Figure 7.4.b), les valeurs Flj mesurées à 160 cm du niveau du plancher sont supérieures à celles enregistrées au niveau du plan de travail sous les parties transparentes des lanterneaux verticaux car ce plan reçoit plus de composante directe du ciel ainsi que la composante réfléchie externe; mais elles sont inférieures sous les parties opaques des lanterneaux à cause de la diminution de ces deux composantes ( $0,7\% \leq Flj \leq 3,95\%$ ).

---

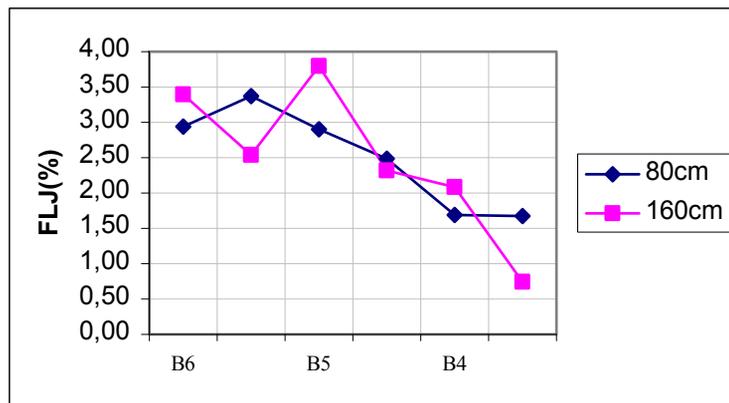
<sup>2</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.4 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'hiver à 12GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



**c- Ambiance lumineuse intérieure**



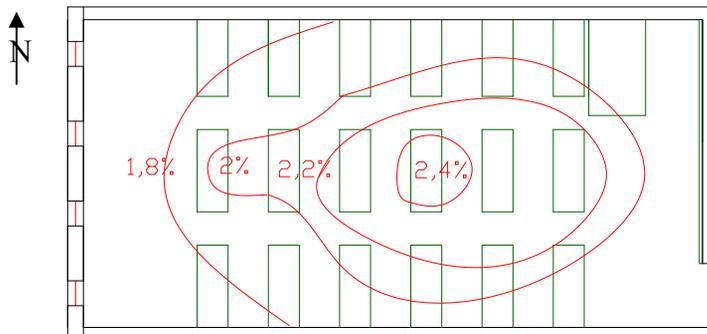
Effet directif vers la partie Ouest du local

Refllet gênant sur la paroi interne sud

Tableau accroché à la paroi Nord, affecté par l'effet directif

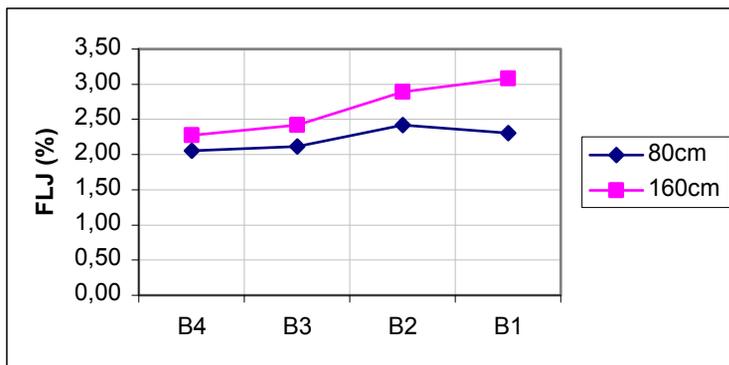
**Figure 7.5 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'hiver à 12GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Distribution symétrique des Flj.  
 -Fluctuation faible des valeurs Flj due à la réflectance moyenne du local (0,51).  
 $-1,79\% \leq Flj \leq 2,42\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Au niveau +160 cm :  
 $1,94\% \leq Flj \leq 3,08\%$   
 -Composante directe du ciel et composante réfléchie externe plus élevées que sur le plan utile.

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



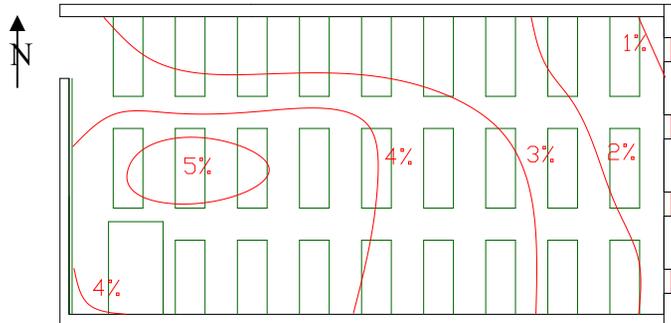
Vue vers la paroi Est du local



Vue vers la paroi Ouest du local

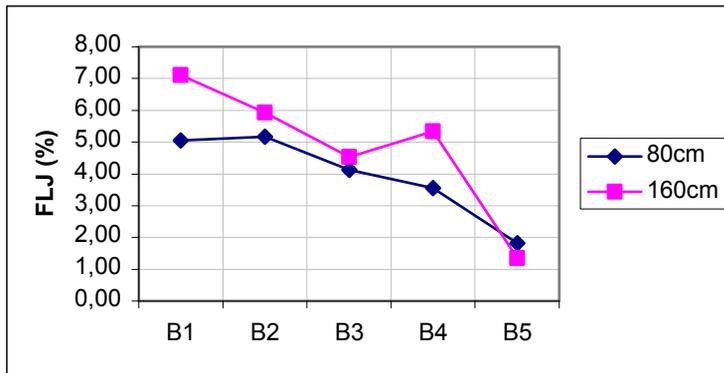
**Figure 7.6 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59**  
**sous ciel couvert d'hiver à 12GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Effet directif prononcé de la lumière du jour vers la partie ouest du local.  
 -Baisse des valeurs Flj à proximité des parois internes (réflectance moyenne faible estimée à 0,24).  
 $-1,61\% \leq Flj \leq 5,18\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Directivité de la lumière vers la partie Ouest.  
 -Au niveau +160cm :  $3,21\% \leq Flj \leq 7,10\%$   
 Composante directe du ciel et composante réfléchie externe plus élevées que sur le plan utile sauf sous la partie opaque du dernier lanterneau.

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



Rayons lumineux diffus dirigés vers le tableau



Mur de fenestration Est sombre

### **-Heure 14 GMT**

#### **-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est complètement couvert et sombre ( $I_N = 8 \text{ octas}$ )<sup>3</sup> avec une occultation totale du soleil. L'assombrissement du ciel a conduit à une baisse importante de l'éclairement lumineux horizontal extérieur qui est égale à **5000 Lux** (éclairement diffus du ciel). Cet éclairement correspond à un ciel couvert au Royaume Uni.

#### **-Eclairage intérieur de la salle de cours n°59**

Les contours FLJ (Figure 7.7.a) indiquent un effet directif prononcé de la lumière du jour vers la paroi Ouest de la salle à cause de la mono-exposition des vitrages zénithaux et la faible réflectance des parois internes ( $R_B = 0,24$ ). Ainsi, les valeurs des iso facteurs de lumière du jour sur plan utile varient entre 1,74% dans la partie Est de la salle (composante direct du ciel réduite sous la partie opaque du dernier lanterneau) et 4,58% à l'Ouest de la salle (effet directif).

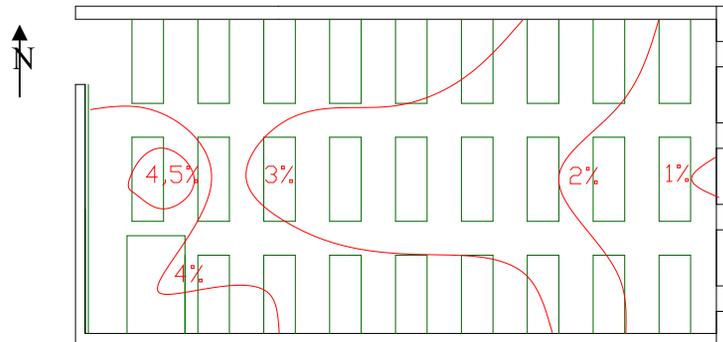
Le profil transversal dans l'axe Est-ouest du local (Figure 7.7.b) indique que les valeurs  $Fl_j$  mesurées à 1,60 m suivent la même évolution directive que celles mesurées au niveau du plan de travail, mais elles sont de valeurs plus importantes ( $2,3\% \leq Fl_j \leq 5,64\%$ ) car la composante directe du ciel ainsi que la composante réfléchie externe sont plus élevées, à l'exception du fond de la salle sous la partie opaque du dernier lanterneau où les valeurs  $Fl_j$  mesurées à 1,60 m sont inférieures à celles mesurées sur le plan de travail car cette partie n'est éclairée que par la composante réfléchie interne.

---

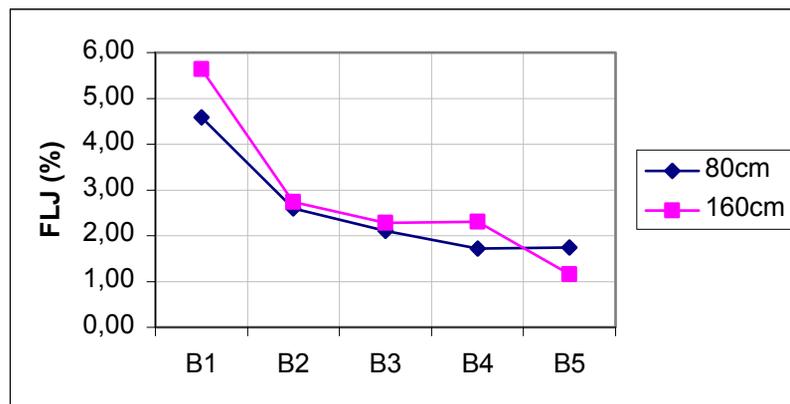
<sup>3</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.7: Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'hiver à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



**c- Ambiance lumineuse intérieure**



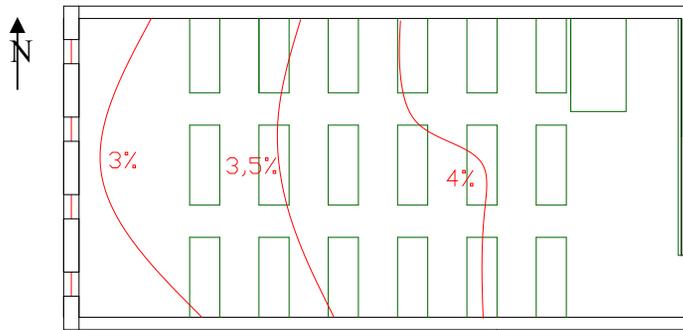
Vue vers la paroi Ouest du local



Vue vers le mur de fenestration Est du local

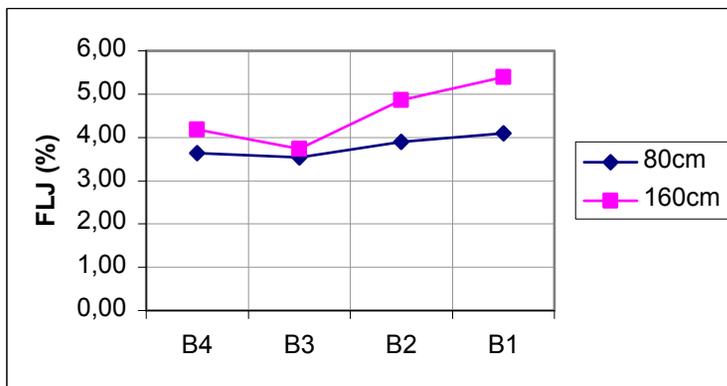
**Figure 7.8 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82**  
**sous ciel couvert d'hiver à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Distribution symétrique.  
 -Atténuation de l'effet directif grâce à la réflectance moyenne élevée des surfaces internes.  
 $-3,16\% \leq Flj \leq 4,16\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Très faible effet directif de la lumière vers la paroi Est du local.  
 -Au niveau +160cm :  $4\% \leq Flj \leq 5,4\%$ .

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



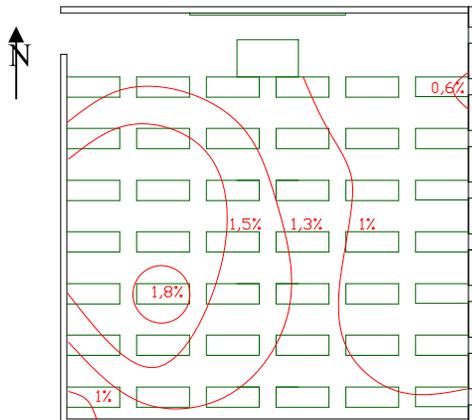
Tableau accroché à la paroi Est sombre.



Ambiance lumineuse plus claire due à la réflectance élevée des parois internes.

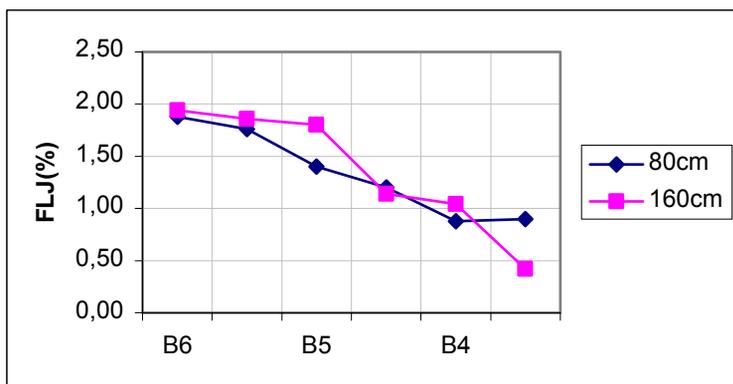
**Figure 7.9 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'hiver à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Directivité de la lumière vers la partie Ouest du local à cause de la monoexposition des vitrages.  
 -Partie Est sombre.  
 - $0,60\% \leq Flj \leq 1,88\%$ .  
 -Baisse relative des Flj à proximité des parois internes (facteur de réflexion faible estimé à 0,3)

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Augmentation des Flj sous les parties transparentes des lanterneaux.  
 -Baisse des Flj sous les parties opaques des lanterneaux.  
 -Au niveau +160cm :  $0,40\% \leq Flj \leq 1,98\%$ .

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



Reflet gênant sur la paroi interne sud

Local sombre

**1.1.2-Ciel clair serein :****-Heure 9 GMT :****-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est clair ( $I_N=1$  octas)<sup>4</sup> avec soleil visible positionné au Sud-est. Ses coordonnées sont : Hauteur solaire= $17^\circ$  et Azimut solaire= $-43^\circ$ . L'éclairement lumineux horizontal extérieur est égal à l'éclairement direct en plus de l'éclairement diffus:  $E_X= 48000$  Lux. L'éclairement vertical mesuré au centre du plan de l'ouverture Est :  $E_W= 40000$  Lux.

**-Eclairage naturel intérieur des salles de cours :**

Nous avons observé sur les lieux une pénétration des rayons solaires à travers les vitrages du dispositif zénithal orientés Est. Le soleil étant positionné au Sud-est et assez bas dans le ciel, les parties opaques diffusantes des lanterneaux verticaux affichent des tâches solaires qui se déplacent du Sud du local vers le Nord jusqu'à la mi-journée, accompagné d'une pénétration plus profonde de la lumière directe suite à l'augmentation de la hauteur solaire (voir Figure 7.19, p166).

En ce qui concerne la **salle de cours n° 82**, les contours FLJ (Figure 7.10.a) indiquent une distribution asymétrique des iso facteurs de lumière du jour par rapport à l'axe de la salle à cause de l'anisotropie du ciel clair. Les valeurs Flj sur plan utile varient entre 2,09% dans la partie Sud de la salle qui ne reçoit que la lumière diffuse du ciel, et 3,18% dans la partie Nord qui fait face aux rayons solaires parvenant du Sud-est en plus du rayonnement diffus du ciel. La partie centrale de la salle est la mieux éclairée, suivie de la rangée placée au contact de la paroi Nord et qui se trouve sous la partie ensoleillée des lanterneaux. La rangée disposée au contact de la paroi Sud est la moins éclairée.

En résumé, la moitié Nord de la salle est plus claire que la moitié Sud à cause de la position solaire. Quant à la directivité de la lumière naturelle, elle est atténuée grâce aux réflexions internes (réflectance moyenne des surfaces internes estimée à 0,51).

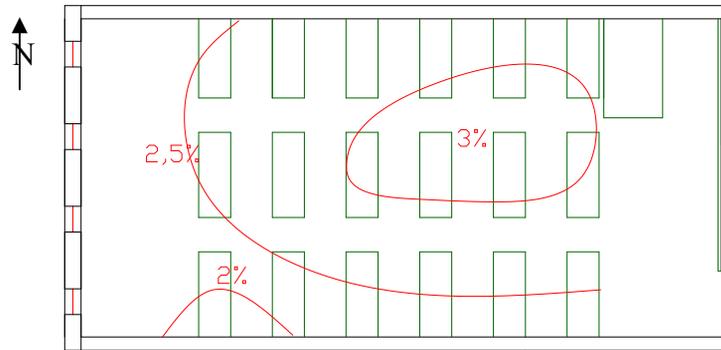
Il existe cependant un risque d'éblouissement direct des étudiants par la vue du ciel et du soleil (sources de luminances élevées) à travers les vitrages zénithaux positionnés dans leur champ de vision.

En profil transversal (Figure 7.10.b), les valeurs Flj mesurées à 1,60 m suivent la même évolution que celles mesurées au niveau du plan de travail. Elles sont cependant de valeurs supérieures ( $2,16\% \leq Flj \leq 3,83\%$ ) : en effet, ce plan situé en hauteur reçoit plus de lumière directe et de lumière réfléchiée par les parties opaques des lanterneaux ainsi que par les différentes parois intérieures dont la partie supérieure est de réflectance élevée (0,85).

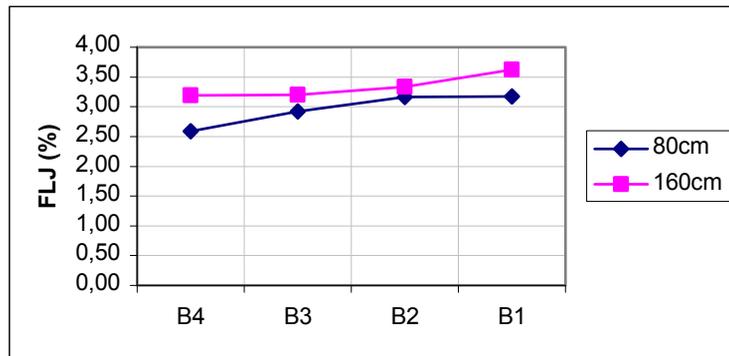
<sup>4</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.10 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82  
sous ciel clair d'hiver à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



**c- Ambiance lumineuse intérieure**

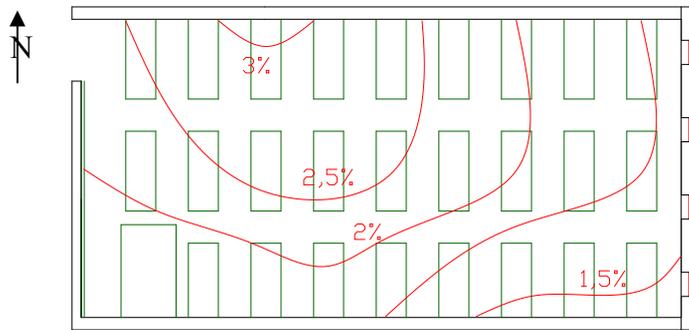


Tâches solaires sur les parties opaques des lanterneaux.



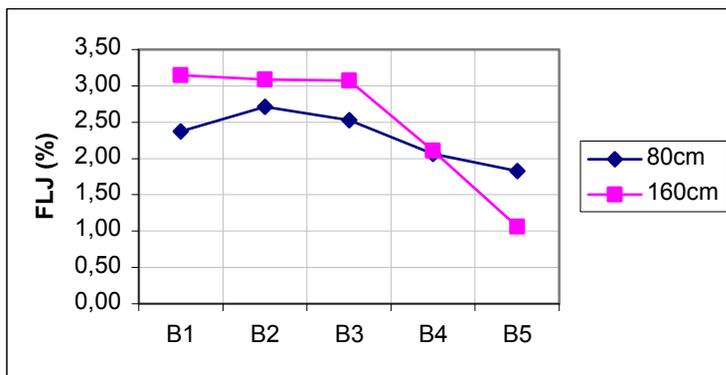
**Figure 7.11 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59**  
**sous ciel clair d'hiver à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Ensoleillement direct des parties opaques des lanterneaux verticaux.  
 -Distribution asymétrique des valeurs Flj :  
 -Partie Nord-ouest ensoleillée.  
 -Partie Sud-est sombre.  
 -Hublots ensoleillés = ombres gênantes à l'arrière de la salle.  
 -Risque d'éblouissement.  
 -1,61% ≤ Flj ≤ 2,93%

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Effet directif accentué de la lumière vers la partie Nord-ouest du local.  
 -Baisse des Flj à proximité de la paroi ouest (Facteur de réflexion faible).  
 -Au niveau +160 cm : 0,81% ≤ Flj ≤ 3,88%

**c- Ambiance lumineuse intérieure**

Luminance élevée du ciel = Eblouissement.

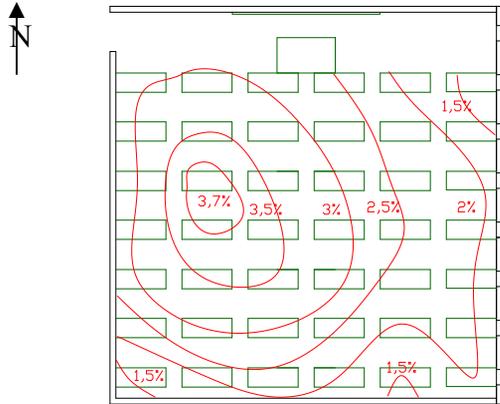


Tâches solaires sur les parties opaques des lanterneaux.



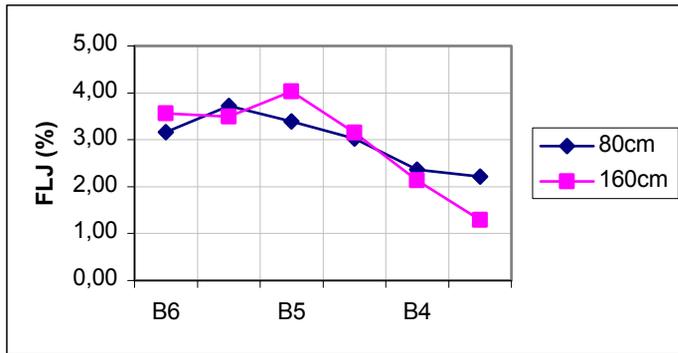
**Figure 7.12 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'hiver à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Ensoleillement direct des parties opaques des lanterneaux.  
 -Distribution asymétrique  
 -Partie Nord-ouest ensoleillée.  
 -Partie Sud-est sombre.  
 -Hublots ensoleillés = tâches solaires sur les tables et ombres gênantes.  
 - $1,44\% \leq Flj \leq 3,72\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**

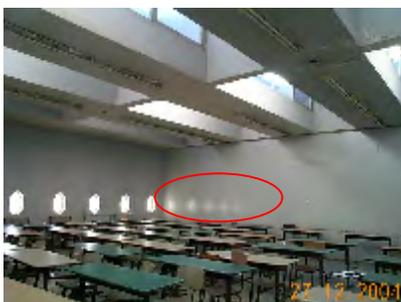


-Effet directif de la lumière vers la partie Ouest du local.  
 -Baisse des Flj à proximité de la paroi ouest (facteur de réflexion faible).  
 -Au niveau +160 cm :  $0,84\% \leq Flj \leq 4,56\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



Tâches solaires sur les parties opaques des lanterneaux.



Reflets gênants sur la paroi Sud du local.

**-Heure 11 GMT :****-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est clair ( $I_N = 2$  octas)<sup>5</sup> avec soleil visible dont les coordonnées sont :  $H_{\text{sol}} = 29^\circ$ ,  $Az_{\text{sol}} = 16^\circ$ . Ainsi, l'éclairement lumineux horizontal extérieur est égal à l'éclairement direct du soleil en plus de l'éclairement diffus du ciel. Son intensité a augmenté car les rayons solaires sont, à cette heure de la journée, presque perpendiculaire au méridien du lieu :  $E_X = 66800$  Lux. Quant à l'éclairement vertical mesuré au centre du plan de l'ouverture Est :  $E_W = 30080$  Lux.

**-Eclairage naturel intérieur des salles de cours:**

A 11 GMT, les rayons solaires sont pratiquement tangentiels aux vitrages orientés vers l'Est, mais il y a une pénétration solaire plus profonde dans les salles de cours à travers les lanterneaux verticaux suite à l'augmentation de la hauteur solaire. Les photos prises sur les lieux montrent des petites tâches solaires sur les parois internes Nord des salles de cours. Mais les valeurs d'éclairements lumineux intérieurs sont moins intenses que celles prélevées à 9 GMT car l'angle d'incidence des rayons solaires sur les vitrages est plus important, ce qui a pour effet de réduire la transmission du vitrage.

**-Salle de cours n°59 :**

Les contours FLJ (Figure 7.13.a) indiquent un effet directif de la lumière naturelle vers la partie Ouest de la salle. Les valeurs du facteur de lumière du jour sur plan utile varient entre 1,18% au fond de la salle et 1,98% à l'ouest du local.

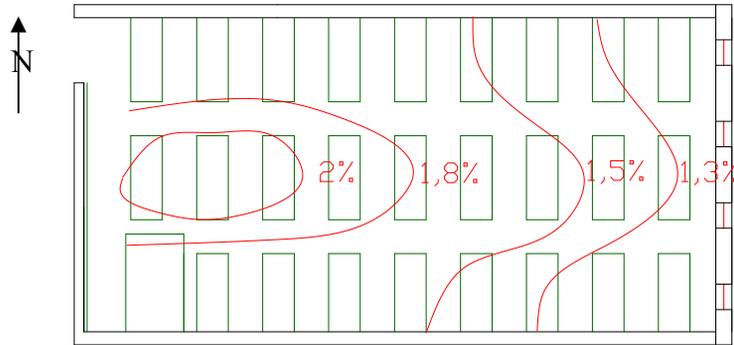
Les ouvertures latérales, quant à elles, ne présentent plus de risque d'éblouissement car elles sont presque totalement occultées.

Le profil transversal dans l'axe du local (Figure 7.13.b) indique que les valeurs  $Fl_j$  mesurées à 1,60 m suivent la même évolution directive que celles mesurées au niveau du plan de travail. Mais elles sont relativement plus importantes ( $0,90\% \leq Fl_j \leq 2,20\%$ ) car la composante directe et les composantes réfléchies augmentent, à l'exception du fond de la salle où les  $Fl_j$  mesurés à 1,60 m sont inférieurs à ceux mesurés sur le plan utile sous la partie opaque du dernier lanterneau car il y a une chute de la composante directe.

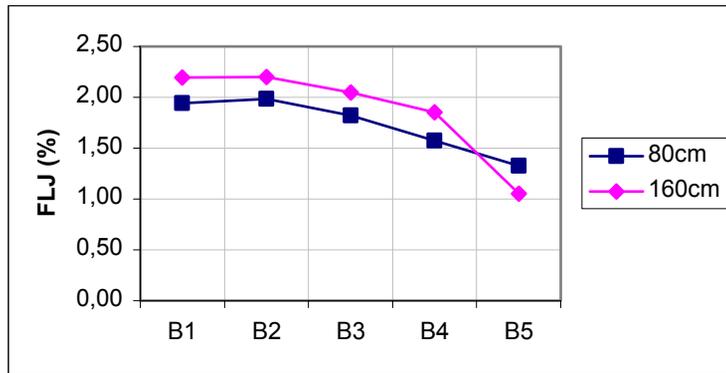
<sup>5</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.13 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59  
sous ciel clair d'hiver à 11GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



**c- Ambiance lumineuse intérieure**

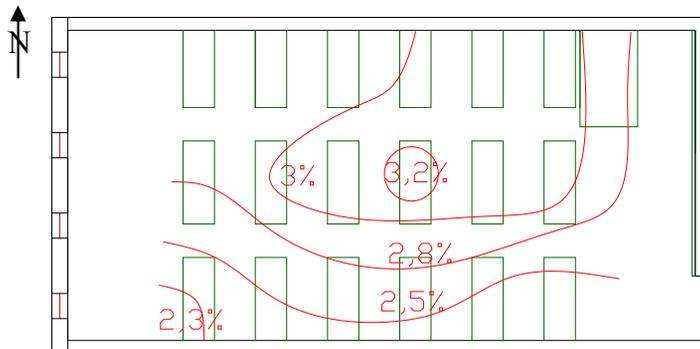


Tâches solaires sur la paroi interne Nord.



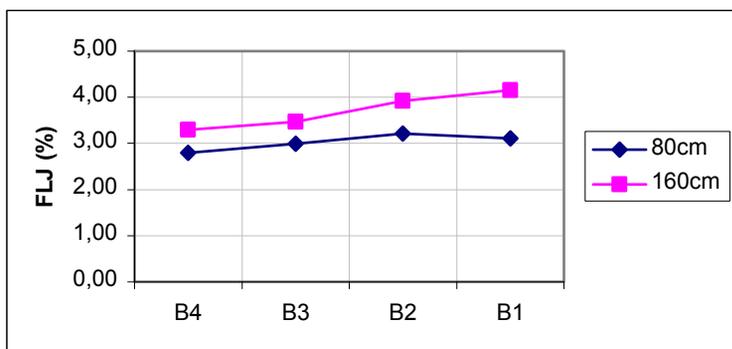
**Figure 7.14 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82  
sous ciel clair d'hiver à 11GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Distribution asymétrique des Flj (anisotropie du ciel clair).  
 -Tâches solaires sur la paroi Nord.  
 -Partie Nord plus claire.  
 - $2,34\% \leq Flj \leq 3,21\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Très faible fluctuation des valeurs Flj dûe à la réflectance moyenne élevée des surfaces internes (0,51).  
 -Au niveau +160 cm :  $2,44\% \leq Flj \leq 4,39\%$

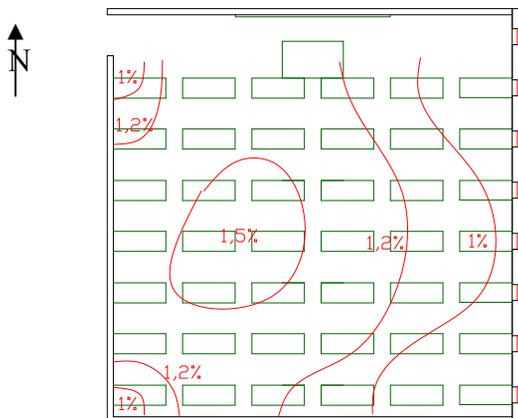
**c- Ambiance lumineuse intérieure**



Tâches solaires sur la paroi interne Nord.

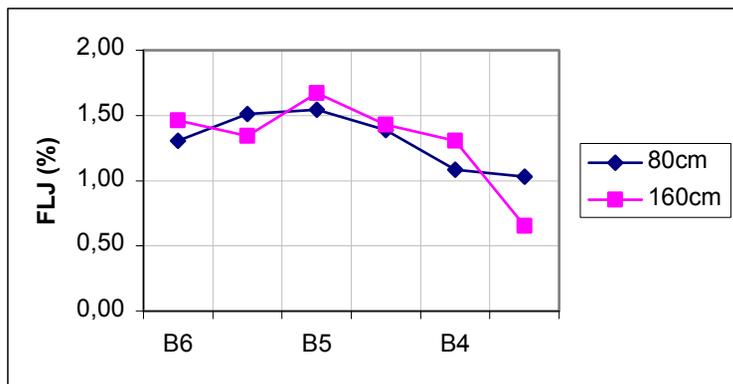
**Figure 7.15 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'hiver à 11GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Effet directif de la lumière vers la partie Ouest du local (monoexposition des vitrages).  
 -Tâches solaires sur la paroi Nord du local et les tables de la rangée A.  
 $-0,69\% \leq Flj \leq 1,59\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Augmentation des Flj sous les parties transparentes des lanterneaux.  
 -Baisse des Flj sous les parties opaques des lanterneaux.  
 -Au niveau +160cm :  $0,47\% \leq Flj \leq 1,68\%$ .

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



**-Heure 14 GMT:****-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est clair ( $I_N = 2$  octas)<sup>6</sup>. Le soleil, positionné au sud-ouest, est visible. Ses coordonnées sont : Altitude solaire =  $24^\circ$ , Azimut solaire =  $30^\circ$ . L'éclairement lumineux horizontal extérieur est donc égal à l'éclairement direct du soleil en plus de l'éclairement diffus du ciel. Sa valeur  $E_X = 21200$  Lux. Quant à l'éclairement lumineux vertical mesuré au centre du plan de l'ouverture Est :  $E_W = 7520$  Lux.

**-Eclairage naturel intérieur de la salle de cours n°82 :**

La salle de cours est éclairée par la lumière diffuse du ciel ainsi que par la lumière solaire pénétrant à travers les ouvertures latérales Ouest.

Les contours FLJ (Figure 7.16.a) indiquent que les valeurs de facteur de lumière du jour varient entre 5,98% au Sud-est de la salle et 7,55% à proximité du mur de fenestration Ouest, car il y a une pénétration de la lumière solaire directe par les hublots. La partie Nord du local est mieux éclairée car le soleil se trouve au Sud-ouest et les rayons solaires se dirigent donc vers la paroi Nord. Tandis que la partie Sud se trouve dans la zone d'ombre. Les ouvertures latérales présentent cependant un risque d'ombres gênantes sur les tables du fond de la salle car les rayons solaires sont dirigés dans le dos des étudiants.

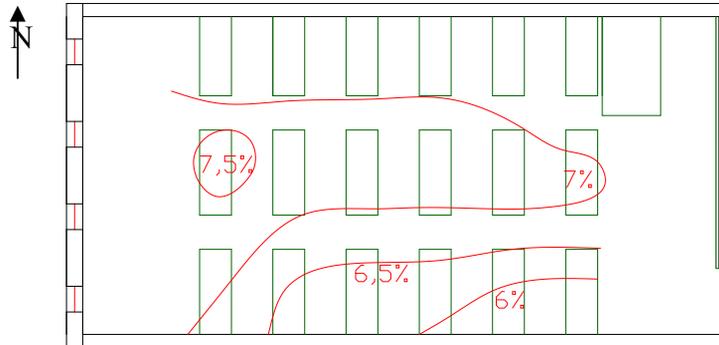
En coupe (Figure 7.16.b), les valeurs  $Fl_j$  mesurées à 1,60 m ne suivent pas la même évolution que celles mesurées au niveau du plan de travail : les  $Fl_j$  sur le plan de travail enregistrent un faible effet directif vers la paroi Ouest de la salle car les rayons solaires pénètrent à travers les ouvertures latérales Ouest disposées à 95 cm du niveau du plancher. Quant aux valeurs  $Fl_j$  sur le plan situé à 1,60 m du niveau du plancher ( $6,29\% \leq Fl_j \leq 9,11\%$ ), elles enregistrent une faible directivité vers la paroi Est de la salle car à cette hauteur l'éclairage naturel dépend uniquement de la lumière diffuse interceptée par les lanternes verticales.

---

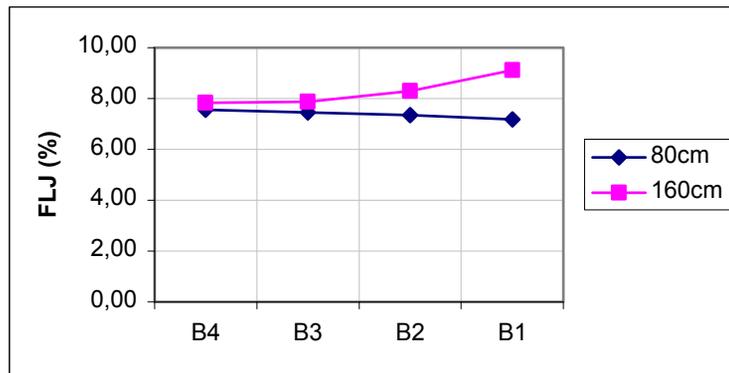
<sup>6</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.16 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82  
sous ciel clair d'hiver à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**

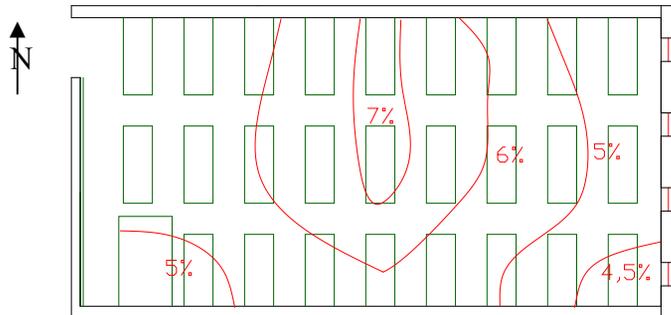


**c- Ambiance lumineuse intérieure**



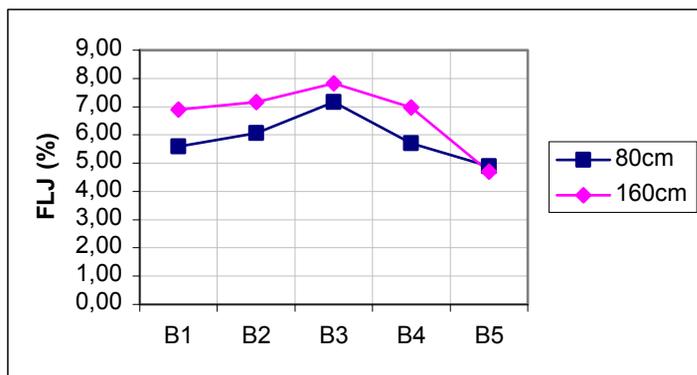
**Figure 7.17 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'hiver à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Eclairage naturel intérieur diffus.  
 -Distribution des Flj asymétrique.  
 $-4,18\% \leq Flj \leq 7,17\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



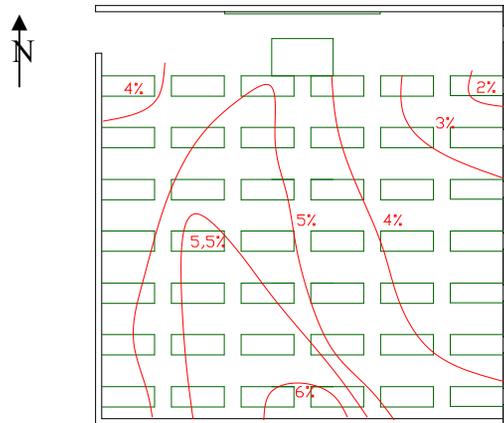
-Augmentation des Flj jusqu'au milieu de la salle suivie d'une baisse de ces valeurs.  
 -Au niveau +160cm :  $3,52\% \leq Flj \leq 7,83\%$ .

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



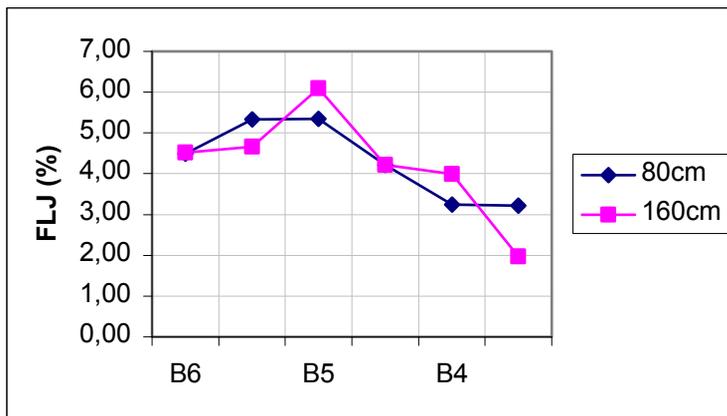
**Figure 7.18 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55**  
**sous ciel clair d'hiver à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Eclairage naturel intérieur diffus.  
 -Effet directif de la lumière vers la partie Ouest du local.  
 -Distribution des Flj asymétrique.  
 - $1,90\% \leq Flj \leq 6,22\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Augmentation des Flj sous les parties transparentes des lanternes.  
 -Baisse des Flj sous les parties opaques des lanternes.  
 -Au niveau +160cm :  $1,90\% \leq Flj \leq 6,66\%$ .

**c- Ambiance lumineuse intérieure**





## **1.2-Période d'équinoxe :**

### **1.2.1-Ciel couvert**

#### **-Heure 9 GMT:**

##### **-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est totalement couvert ( $I_N = 7$  octas)<sup>1</sup> avec obstruction totale du disque solaire. L'éclairement lumineux horizontal extérieur est donc égal à l'éclairement diffus du ciel:  $E_x = 9550$  Lux.

##### **-Eclairage naturel intérieur de la salle de cours 54-55 :**

Les contours FLJ (Figure 7.20.a) indiquent un effet directif très prononcé de la lumière du jour vers la paroi Ouest du local à cause de la mono-exposition des vitrages. Les valeurs  $Fl_j$  sur plan utile varient entre 1,60% à proximité du mur de fenestration Est et 11,80% dans la partie Ouest de la salle. Nous constatons également une baisse des valeurs  $Fl_j$  à proximité des parois internes à cause de leur faible facteur de réflexion estimé à 0,3.

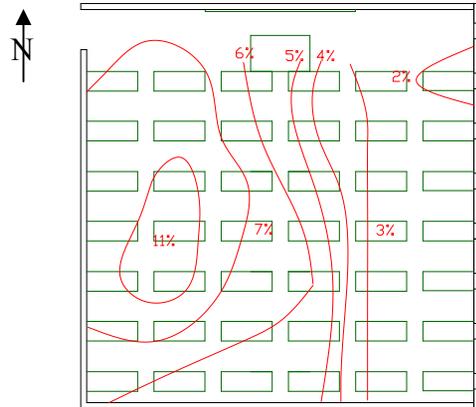
Le profil transversal dans l'axe Est-ouest de la salle (Figure 7.20.b) montre que les valeurs  $Fl_j$  mesurées à 1,60 m du niveau du plancher sont supérieures à celles enregistrées au niveau du plan de travail sous les parties transparentes des lanterneaux (augmentation de la composante directe du ciel et de la composante réfléchie externe), mais elles sont inférieures sous les parties opaques des lanterneaux (diminution de ces composantes). A ce niveau, les valeurs  $Fl_j$  varient entre 1,20% et 13,51%.

---

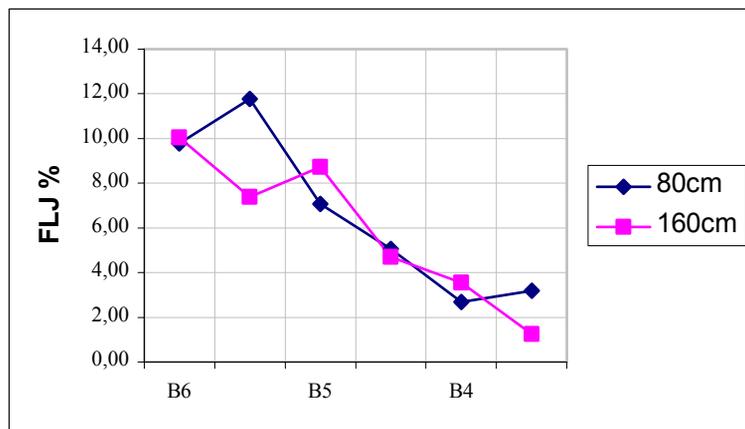
<sup>1</sup>Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.20 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55  
sous ciel couvert d'équinoxe à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**

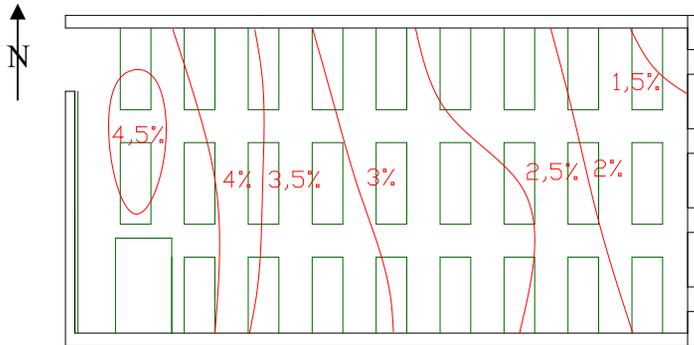


**c- Ambiance lumineuse intérieure**



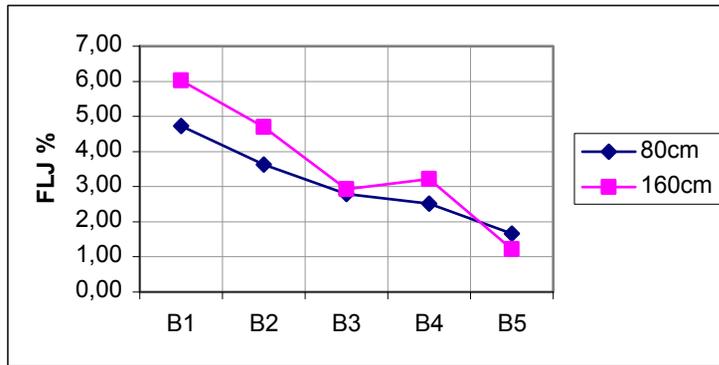
**Figure 7.21 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59  
sous ciel couvert d'équinoxe à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Distribution symétrique des Flj (isotropie du ciel couvert)  
 -Effet directif prononcé de la lumière vers la paroi Ouest du local.  
 - $1,57\% \leq Flj \leq 4,76\%$   
 -Baisse relative des Flj près des parois internes.

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



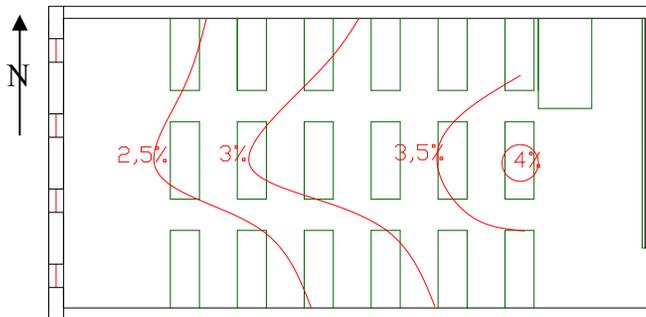
-Directivité de la lumière vers la partie ouest du local.  
 -Au niveau +160cm :  $1,12\% \leq Flj \leq 6,03\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



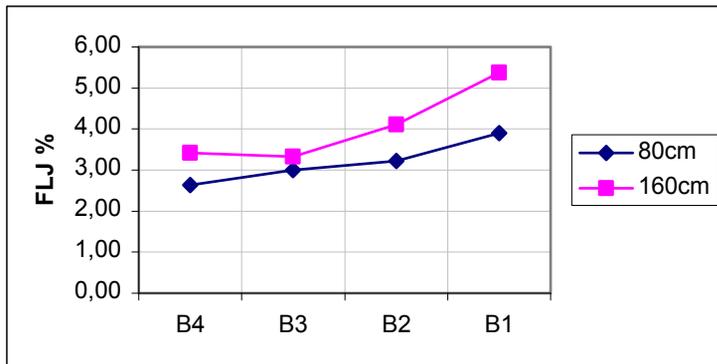
**Figure 7.22 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82  
sous ciel couvert d'équinoxe à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Distribution symétrique des Flj.  
-Faible effet directif de la lumière vers la paroi Est du local (réflectance moyenne élevée des surfaces internes).  
- $2,12\% \leq Flj \leq 3,90\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Au niveau +160cm :  
 $2,25\% \leq Flj \leq 5,37\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



**-Heure 14 GMT :****-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est très couvert avec obstruction totale du disque solaire ( $I_N=7$  octas)<sup>2</sup>. L'éclairement lumineux horizontal extérieur global est donc égal à l'éclairement diffus du ciel:  $E_x=46800$  Lux.

**-Eclairage naturel intérieur de la salle de cours 59:**

Les contours FLJ (Figure 7.23.a) indiquent un effet directif de la lumière naturelle vers la paroi Ouest de la salle à cause de la mono-exposition des vitrages et de la faible réflectance moyenne des surfaces internes estimée à 0,24. Les valeurs Flj sur le plan de travail varient entre 0,99% au fond de la salle et 2,28% dans la partie Ouest. On enregistre également une baisse des valeurs Flj à proximité des parois latérales internes (facteur de réflexion faible).

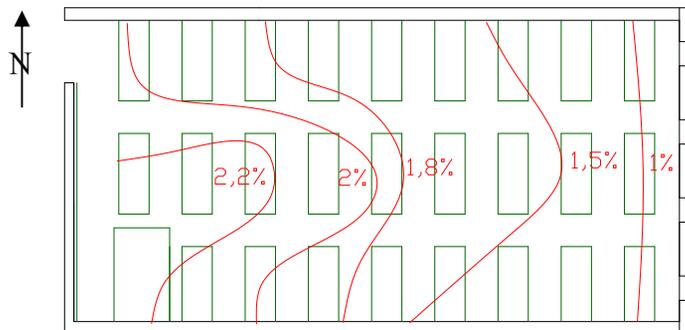
En profil (Figure 7.23.b), les valeurs Flj mesurées à 1,60 m suivent la même évolution directive que celles mesurées au niveau du plan de travail, mais elles sont plus importantes ( $1,91\% \leq Flj \leq 3,25\%$ ) car la composante directe du ciel augmente, à l'exception du fond de la salle où les valeurs Flj mesurées à 1,60 m sont inférieures à celles mesurées sur le plan de travail à cause de la diminution de cette composante sous la partie opaque du dernier lanterneau vertical.

---

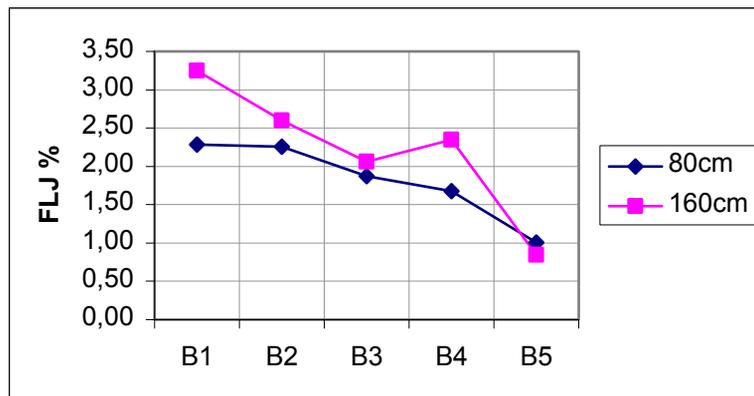
<sup>2</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.23 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59  
sous ciel couvert d'équinoxe à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**

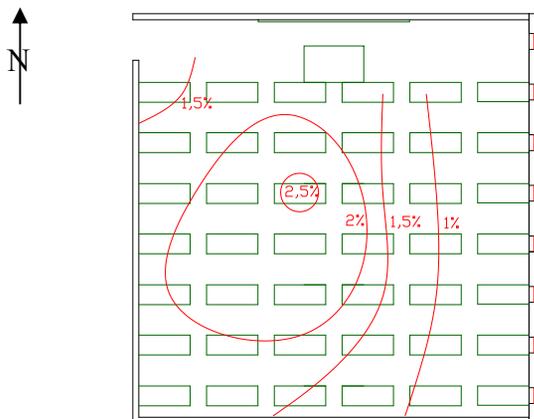


**c- Ambiance lumineuse intérieure**



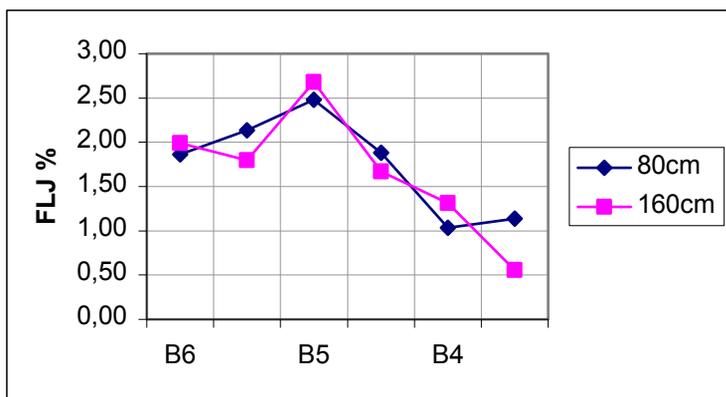
**Figure 7.24 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'équinoxe à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Effet directif de la lumière vers la partie Ouest du local (mono-exposition des vitrages).  
 -Partie Est sombre.  
 - $0,65\% \leq Flj \leq 2,48\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



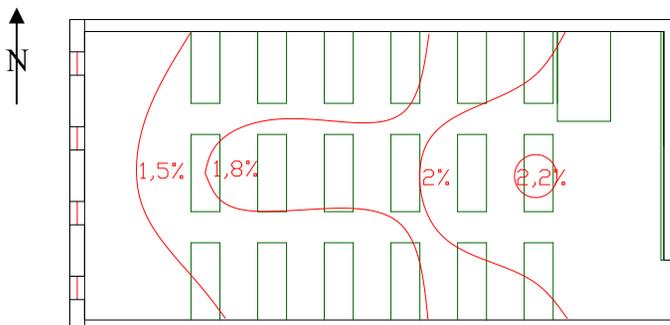
-Effet directif vers la paroi Ouest du local.  
 -Au niveau +160 cm :  $0,48\% \leq Flj \leq 2,68\%$   
 -Augmentation des Flj sous les parties transparentes des lanterneaux.  
 -Baisse des Flj sous les parties opaques des lanterneaux.

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



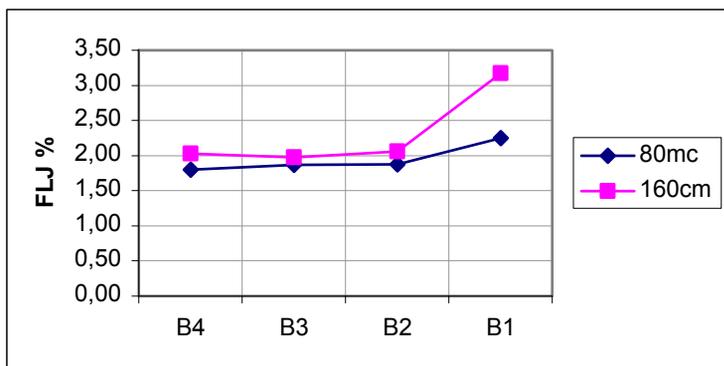
**Figure 7.25 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82  
sous ciel couvert d'équinoxe à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Distribution symétrique des Flj (isotropie du ciel couvert).  
 -Faible fluctuation des valeurs Flj (réflectance moyenne interne élevée).  
 -1,57% ≤ Flj ≤ 2,25%

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Faible effet directif de la lumière du jour vers la paroi Est du local.  
 -Au niveau +160 cm :  
 1,66% ≤ Flj ≤ 3,17%

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



### **1.2.2-Ciel clair serein**

#### **-Heure 9 GMT**

##### **-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est clair ( $I_N=2$  octas)<sup>3</sup> avec soleil visible se positionnant au Sud-est. Ses coordonnées sont : Hauteur solaire=  $34^{\circ}41'$  et Azimut solaire= $-56^{\circ}36'$ .

L'éclairement lumineux horizontal extérieur est donc égal à l'éclairement direct du soleil en plus de l'éclairement diffus du ciel:  $E_x=80000$  Lux. Quant à l'éclairement lumineux vertical mesuré au centre du plan de l'ouverture Est :  $E_w = 72380$  Lux.

##### **-Eclairage naturel intérieur des salles de cours:**

A cette heure de la journée, il y a une forte pénétration de la lumière solaire directe à travers les vitrages des lanterneaux verticaux orientés Est. Le soleil étant positionné au Sud-est et plus ou moins bas dans le ciel, les deux parois internes Nord et Ouest de chaque salle sont directement ensoleillées (voir photos, p177-179). Les tâches solaires se déplacent vers le mur Nord en fonction de l'azimut solaire qui décroît jusqu'à la mi-journée, accompagné d'une pénétration plus profonde des rayons (voir Figure 7.35, p 188).

Les contours FLJ (Figures 7.26.a, 7.27.a et 7.28.a) indiquent une distribution asymétrique des iso facteurs de lumière du jour par rapport à l'axe des salles de cours à cause de l'anisotropie du ciel clair, mais également un effet directif très prononcé de la lumière du jour vers la partie Nord-ouest de ces locaux.

Pour **la salle de cours n° 54-55**, par exemple, les valeurs de facteurs de lumière du jour sur plan utile (Figure 7.26.a) varient entre 0,5% au Sud-est du local et 5,14% au Nord-ouest. Ainsi, la partie Nord-ouest des salles de cours au contact des deux parois internes directement ensoleillées est la mieux éclairée (la moitié Nord des salles est plus claire que la moitié Sud) à cause de la mono-exposition des vitrages mais surtout de la position solaire. Plus on s'éloigne de ces deux parois, plus les valeurs de Flj diminuent pour atteindre le minimum dans la partie Sud-est.

D'après les profils transversaux en l'axe Est-ouest des salles de cours (Figures 7.26.b, 7.27.b et 7.28.b), on constate que sous les parties transparentes des lanterneaux les valeurs Flj mesurées à 160 cm du niveau du plancher sont très supérieures à celles mesurées au niveau du plan utile (augmentation de la composante directe et de la composante réfléchie externe) ; tandis que sous les parties opaques, elles sont inférieures.

<sup>3</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

On relève également un effet directif très prononcé de la lumière du jour dans les salles 54-55 et 59 à cause de la réflectance moyenne interne faible.

### **-Ombres :**

Dans les salles 54-55 et 59, les hublots orientés Est laissent pénétrer les rayons solaires à l'intérieur. Ils présentent un risque d'ombre gênante car la lumière solaire, qui est une lumière directive, est dirigée dans le dos des étudiants en salle 59, et pénètre du côté droit des étudiants dans la salle 54-55 (risque d'ombre gênante pour les droitiers).

### **-Eblouissement :**

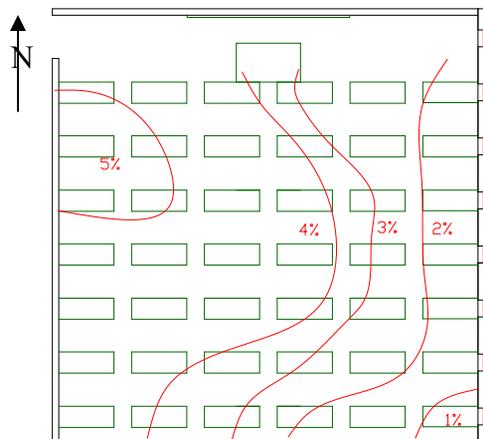
Il y a un risque d'éblouissement direct des étudiants par la vue du soleil (source primaire) en salle 82 car les vitrages zénithaux sont positionnés dans leur champ de vision. De même que la salle 59, il y a un risque d'éblouissement direct des enseignants. Quant à la salle 54-55, elle ne présente pas ce risque puisque les vitrages sont parallèles à la direction du regard des étudiants et des enseignants.

Dans les salles 54-55 et 59, les tableaux suspendus respectivement à la paroi Nord et à la paroi Ouest de ces locaux, sont directement ensoleillés. Il y a donc un risque d'éblouissement indirect des usagers.

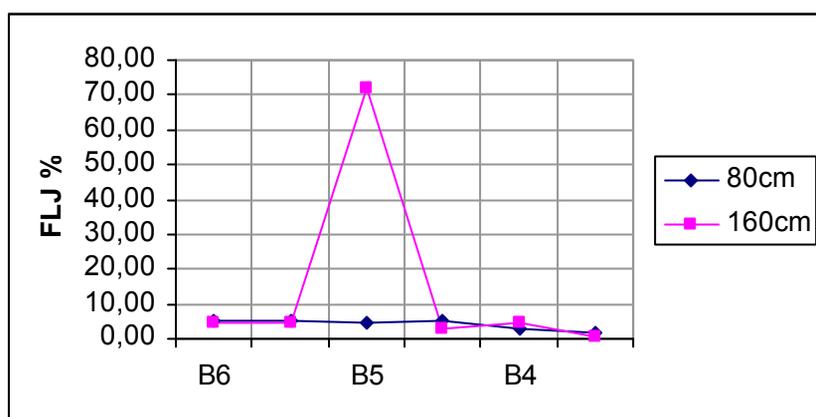
Les rayons solaires traversant les vitrages des lanterneaux et des hublots dessinent des tâches solaires sur les parois Nord et Ouest, mais également sur le plancher et sur les plans de travail. Ainsi, certaines rangées de tables au contact de ces parois et se trouvant sous la trajectoire de ces tâches solaires sont directement ensoleillées, affichant des éclaircissements très excessifs et très inconfortables.

**Figure 7.26 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'équinoxe à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



**c- Ambiance lumineuse intérieure**



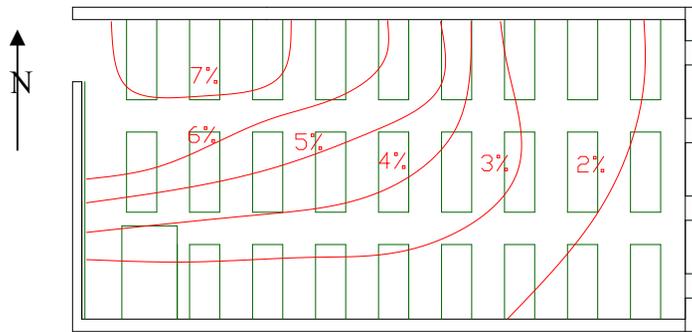
Tableau ensoleillé.



Tâches solaires sur les parois Nord et Ouest de la salle.

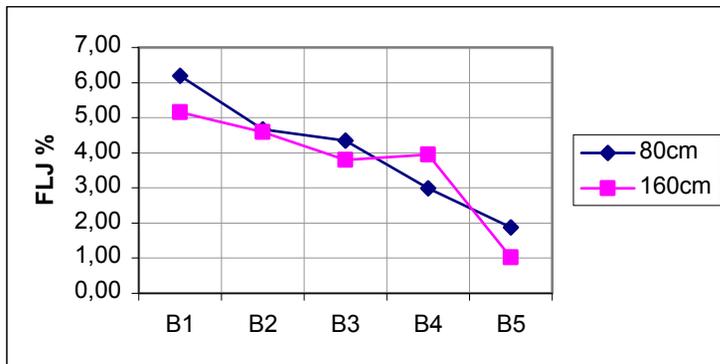
**Figure 7.27 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59**  
**sous ciel clair d'équinoxe à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Distribution asymétrique des Flj = ensoleillement direct.  
 -Directivité vers la partie Nord-ouest du local.  
 - $1,49\% \leq Flj \leq 7,34\%$   
 -Tâches solaires sur les parois internes Nord et Ouest.

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Effet directif vers la partie Ouest du local.  
 -Augmentation des Flj sous les parties transparentes des lanterneaux.  
 -Baisse des Flj sous les parties opaques des lanterneaux.  
 -Au niveau +160 cm :  $0,96\% \leq Flj \leq 8,15\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



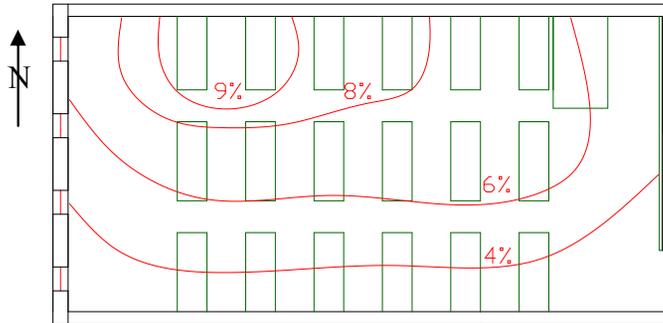
Tâches solaires sur les parois Nord et Ouest de la salle.

Partie Sud-est sombre.



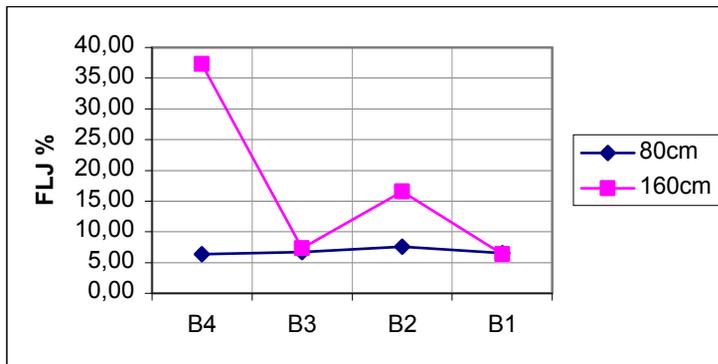
**Figure 7.28 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'équinoxe à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Distribution asymétrique= ensoleillement direct.  
 -Directivité vers la partie Nord-ouest du local.  
 - $3,25\% \leq Flj \leq 9,59\%$   
 -Tâches solaires sur les parois internes Nord et Ouest.

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**

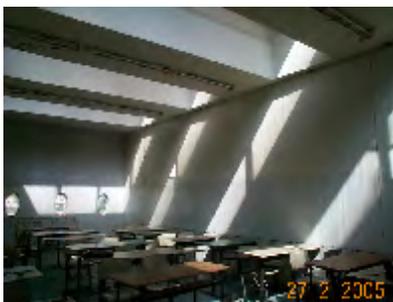


-Faible effet directif de la lumière naturelle (réflectance moyenne interne élevée 0,51).  
 -Au niveau +160 cm :  $3,62\% \leq Flj \leq 45,59\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



Tableau de la salle dans la zone ombrée.



Tâches solaires sur les parois Nord et Ouest de la salle.

**-Heure 12 GMT :****-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est clair ( $I_N = 2$  octas)<sup>4</sup> avec soleil visible se positionnant en plein Sud. Ses coordonnées sont : Hauteur solaire= $53^{\circ}23'$  et Azimut solaire= $0^{\circ}$ .

L'éclairement lumineux horizontal extérieur est donc égal à l'éclairement direct du soleil en plus de l'éclairement diffus du ciel :  $E_x = 117500$  Lux. Quant à l'éclairement lumineux vertical mesuré au centre du plan de l'ouverture Est :  $E_w = 13900$  Lux.

**-Eclairage naturel intérieur des salles de cours:**

Les salles de cours du bloc des lettres sont éclairées uniquement par la lumière diffuse du ciel puisqu'à midi solaire vrai les rayons solaires sont parallèles aux vitrages des lanterneaux verticaux orientés vers l'Est.

**-Salle de cours n° 59 :**

Les contours FLJ (Figure 7.29.a) indiquent un effet directif très prononcé de la lumière du jour vers la partie ouest du local. Les valeurs Flj sur plan utile varient entre 1,92% à proximité du mur de fenestration Est et 5,02% à proximité de la paroi ouest de la salle. Une baisse de ces valeurs est enregistrée à proximité des parois internes dont le facteur de réflexion est faible.

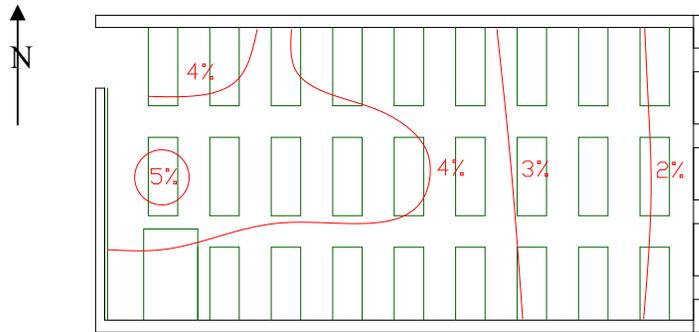
En coupe (Figure 7.29.b), les valeurs Flj mesurées à 1,60 m suivent la même évolution directive que celles mesurées au niveau du plan de travail, elles sont toutefois plus importantes sous les parties transparentes des lanterneaux puisqu'à ce niveau les composantes directe et réfléchie externe sont plus importantes. Tandis qu'elles sont moindres sous les parties opaques (diminution de ces composantes).

---

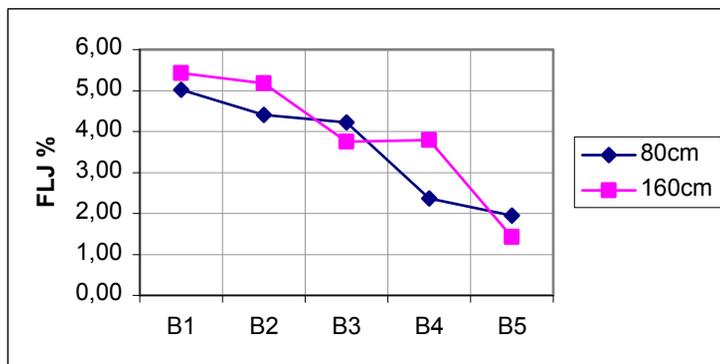
<sup>4</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.29 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'équinoxe à 12GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**

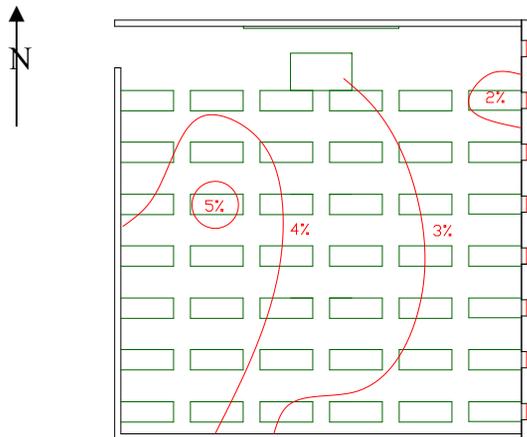


**c- Ambiance lumineuse intérieure**



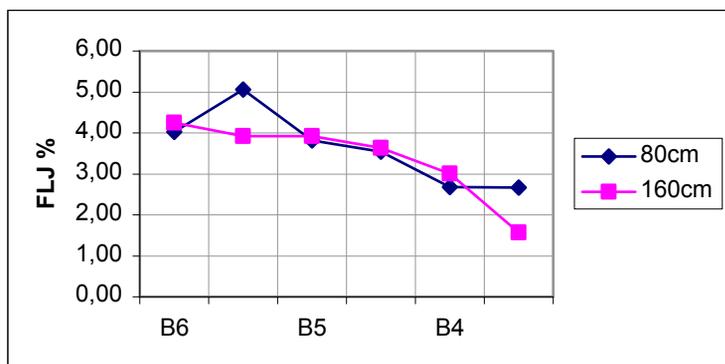
**Figure 7.30 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55  
sous ciel clair d'équinoxe à 12GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



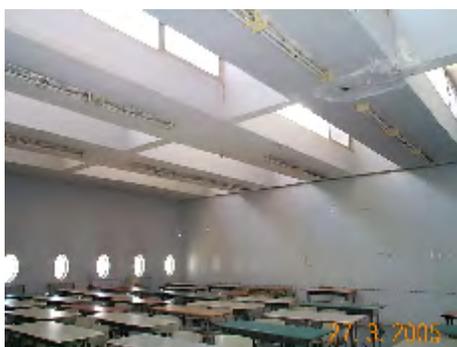
-Eclairage naturel diffus.  
-Distribution asymétrique des Flj.  
-Directivité de la lumière du jour vers la partie ouest du local.  
- $1,75\% \leq Flj \leq 5,06\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



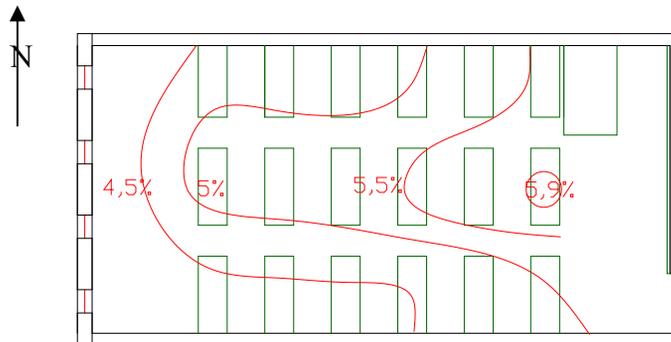
-Directivité vers la partie ouest du local.  
-Baisse des Flj à proximité des parois internes (facteur de réflexion faible).  
- Au niveau +160 cm :  $1,30\% \leq Flj \leq 4,86\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



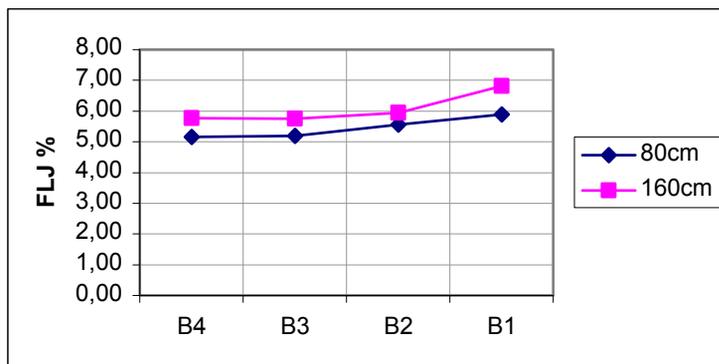
**Figure 7.31 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'équinoxe à 12GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



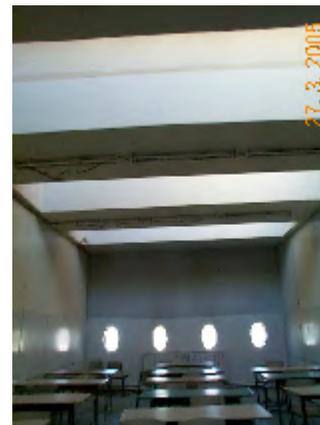
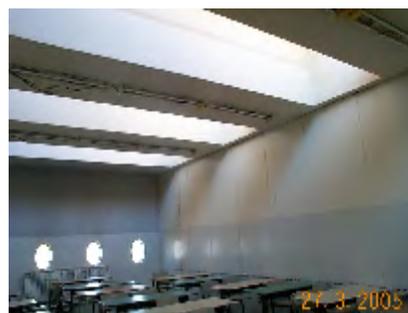
-Très faible directivité vers la partie Est du local (réflectance moyenne interne élevée).  
 $-4,22\% \leq Flj \leq 5,90\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Au niveau +160cm :  
 $4,64\% \leq Flj \leq 7,38\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



**-Heure 14 GMT:****-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est clair ( $I_N=2$  octas)<sup>5</sup> avec soleil visible se positionnant au Sud-ouest. Ses coordonnées sont : Hauteur solaire= $43^{\circ}88'$  et Azimut solaire= $43^{\circ}85'$ .

L'éclairement lumineux horizontal extérieur est donc égal à l'éclairement direct du soleil en plus de l'éclairement diffus du ciel :  $E_x = 50000$  Lux. Quant à l'éclairement lumineux vertical mesuré au centre du plan de l'ouverture Est :  $E_w = 16500$  Lux

**-Eclairage naturel intérieur des salles de cours:**

Durant l'après midi, les salles de cours situées dans la partie Est du bloc des lettres sont éclairées par la lumière diffuse du ciel. Quant à la salle de cours n° 82 munie d'hublots orientés vers l'Ouest, elle est éclairée par la lumière solaire directe en plus de la lumière diffuse du ciel.

**-Salle de cours 82 :**

Les contours FLJ (Figure 7.32.a) indiquent que la partie Nord de la salle est plus éclairée que la partie Sud car il y a une pénétration de la lumière solaire à travers les ouvertures latérales orientées Ouest. Les valeurs Flj sur plan utile varient entre 4,77% à proximité de la paroi Sud de la salle et 6,35% au milieu de la salle.

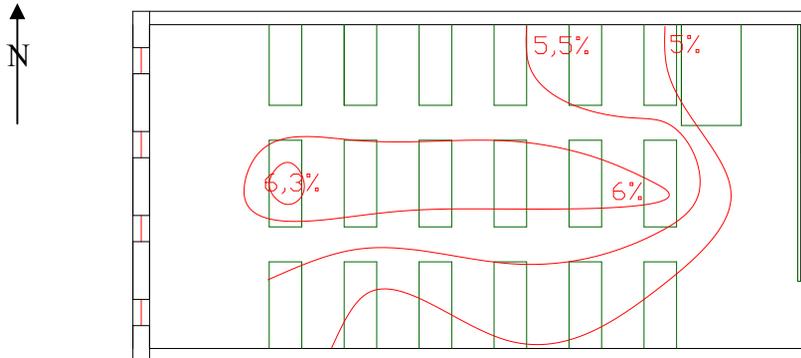
Le profil transversal dans l'axe Est-ouest de la salle (Figure 7.32.b) indique que les valeurs Flj sont plus importantes au niveau du plan situé à 160 cm du niveau du plancher ( $5,14\% \leq Flj \leq 7,54\%$ ). L'effet directif des lanterneaux verticaux est atténué grâce aux réflexions internes.

---

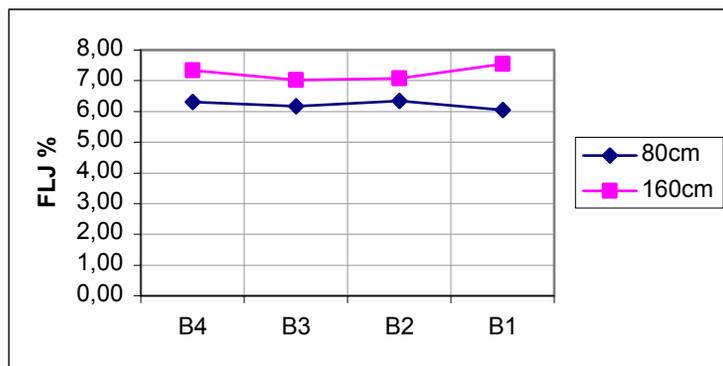
<sup>5</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.32 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82  
sous ciel clair d'équinoxe à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**

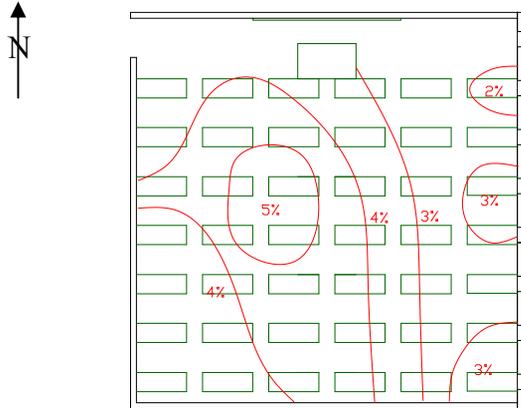


**c- Ambiance lumineuse intérieure**



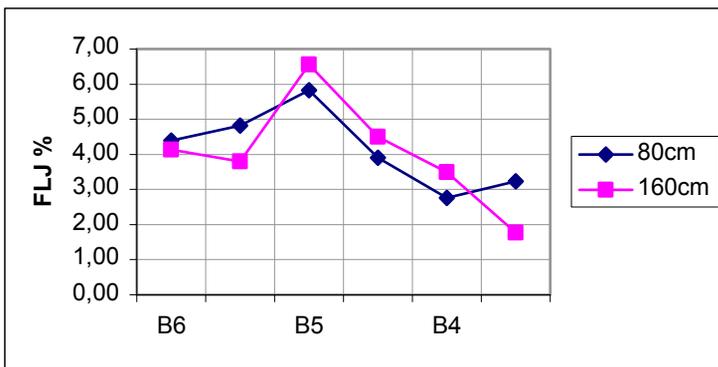
**Figure 7.33 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55  
sous ciel clair d'équinoxe à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Directivité très prononcée de la lumière vers la partie ouest du local.  
 -Augmentation des Flj à proximité de la paroi interne Sud.  
 - $1,72\% \leq Flj \leq 5,82\%$

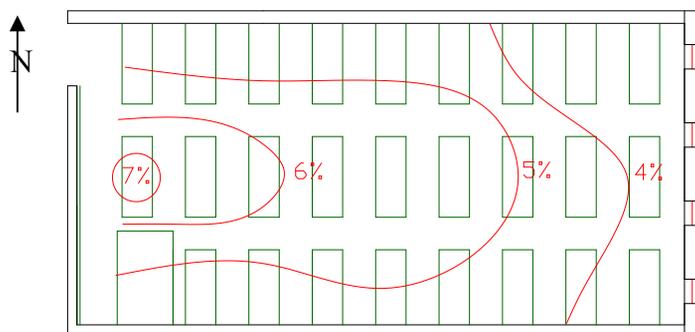
**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-au niveau +160cm :  
 $1,63\% \leq Flj \leq 6,56\%$

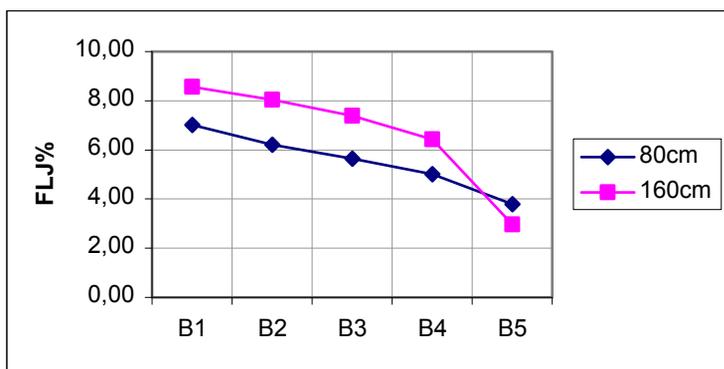
**Figure 7.34 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59  
sous ciel clair d'équinoxe à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Directivité très prononcée de la lumière vers la partie ouest du local.  
 -Baisse des valeurs Flj à proximité des parois latérales internes.  
 - $3,73\% \leq Flj \leq 7,01\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-au niveau +160cm :  
 $2,91\% \leq Flj \leq 8,56\%$



### **1.3-Période estivale:**

#### **1.3.1- Ciel couvert :**

##### **-Heure 9 GMT:**

##### **-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est couvert ( $I_N = 6$  octas)<sup>1</sup> avec obstruction totale du soleil. L'éclairement lumineux horizontal extérieur est donc égal à l'éclairement diffus du ciel et sa valeur  $E_x = 60000$  Lux.

##### **-Eclairage naturel intérieur de la salle de cours 59 :**

Les contours FLJ (Figure 7.36.a) indiquent que la distribution des Flj est symétrique par rapport à l'axe de la salle à cause de l'isotropie du ciel couvert. Les valeurs de facteur de lumière du jour sur plan utile varient entre 1,25% à proximité du mur de fenestration Est (partie sombre située sous la partie opaque du dernier lanterneau où la composante directe du ciel est minimale) et 21,20% à proximité de la paroi Ouest (partie claire) suite à l'effet directif de la lumière du jour. On constate également une baisse des Flj à proximité des parois latérales internes due à leur faible facteur de réflexion.

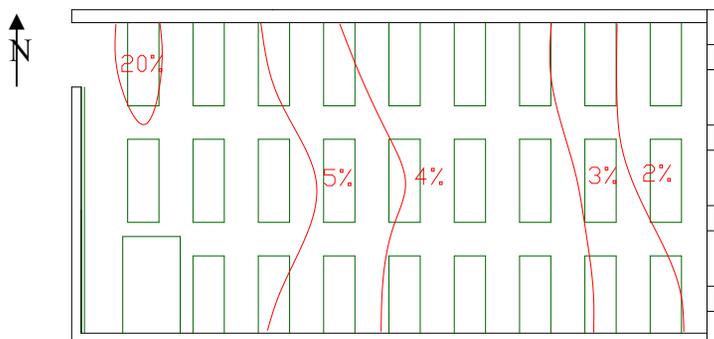
Le profil transversal en l'axe Est-ouest de la salle (Figure 7.36.b) montre que les valeurs Flj mesurées à 1,60 m sont de valeurs inférieures à ceux mesurées au niveau du plan utile ( $0,83\% \leq Flj \leq 6,97\%$ ).

---

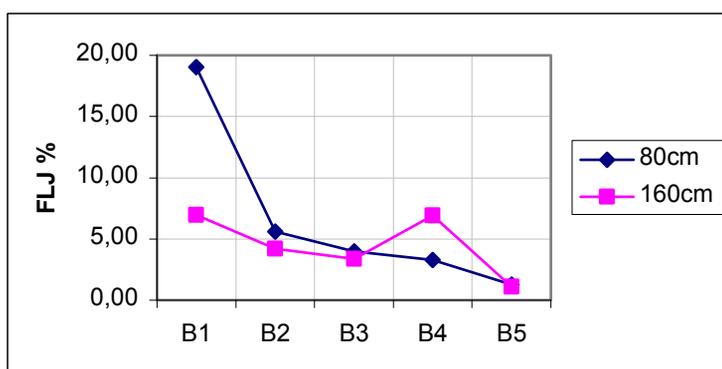
<sup>1</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.36 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59  
sous ciel couvert d'été à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**

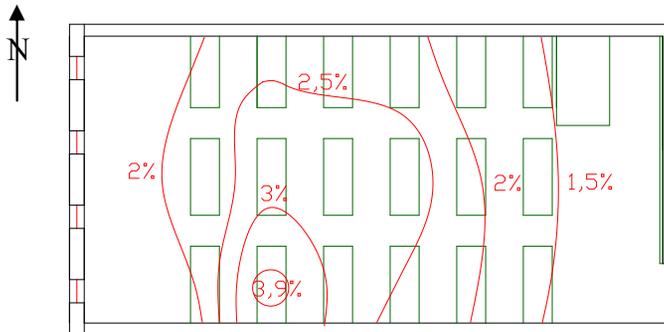


**c- Ambiance lumineuse intérieure**



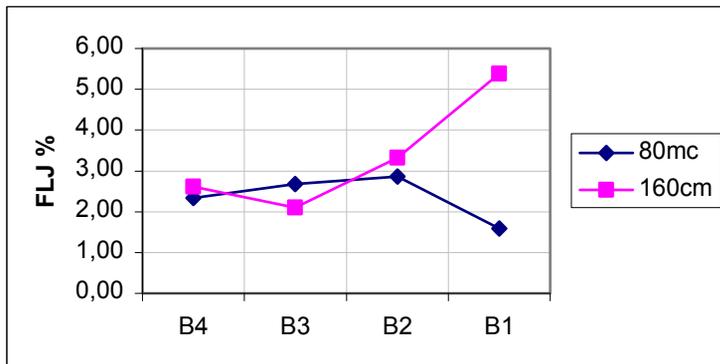
**Figure 7.37 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82  
sous ciel couvert d'été à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Faible fluctuation des iso facteurs de lumière du jour (Réflectance élevée des surfaces intérieures)  
- $1,53\% \leq Flj \leq 3,92\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



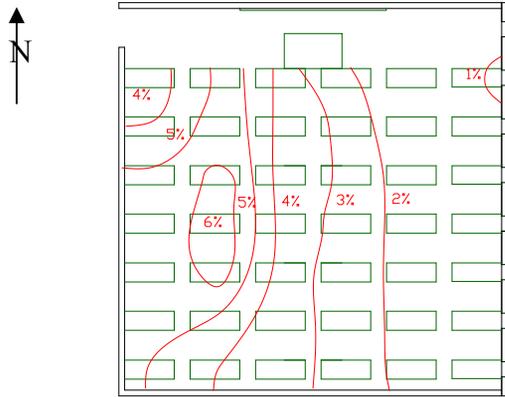
-Au niveau +160 cm :  
 $2,10\% \leq Flj \leq 5,38\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



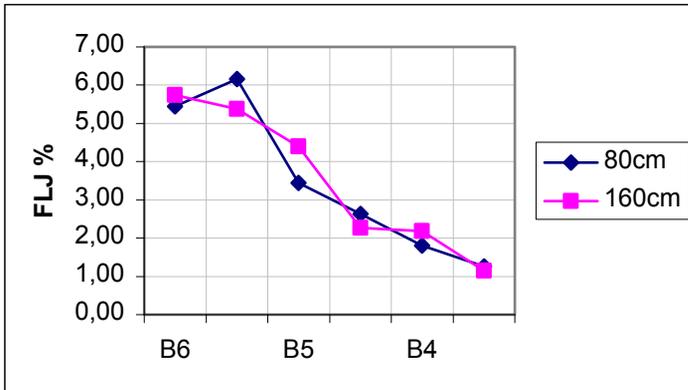
**Figure 7.38 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55  
sous ciel couvert d'été à 9GMT.**

**a-Contours Flj sur plan utile**



-Effet directif accentué de lumière du jour vers la partie Ouest du local (monoexposition des vitrages).  
-Baisse des Flj à proximité des parois internes (Facteur de réflexion faible)  
- $1,17\% \leq Flj \leq 6,20\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Directivité de la lumière vers la partie Ouest.  
-Au niveau +160 cm :  $1,13\% \leq Flj \leq 5,74\%$   
-Augmentation des Flj sous les parties transparentes des lanterneaux.  
-Baisse des Flj sous les parties opaques des lanterneaux.

**-Heure 14 GMT :****-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est couvert ( $I_N = 6 \text{ octas}$ )<sup>2</sup> et le disque solaire est totalement occulté par les nuages. L'éclairement lumineux horizontal extérieur est donc égal à l'éclairement diffus du ciel :  $E_x = 36200 \text{ Lux}$ .

**-Eclairage naturel intérieur de la salle de cours 82 :**

Les contours FLJ (Figure 7.39.a) indiquent que les valeurs de FLJ sur plan utile varient entre 1,56% et 2,36%. Cette faible fluctuation des valeurs est due à la réflectance moyenne interne importante estimée à 0,51.

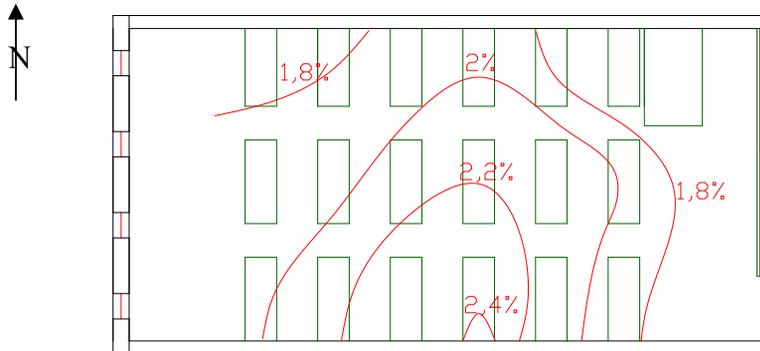
Le profil transversal en l'axe Est-ouest du local (Figure 7.39.b) montre un faible effet directif de la lumière naturelle vers la paroi Est du local mais aussi que les valeurs Flj mesurées à 1,60 m sont supérieures à celles prélevées au niveau du plan utile ( $1,65\% \leq Flj \leq 2,72\%$ ) car à cette hauteur la composante directe du ciel est plus importante ainsi que les réflexions internes (facteur de réflexion de la partie supérieure des parois (0,85) est plus important que celui de la partie inférieure). Par contre, au fond de la salle sous la partie opaque du dernier lanterneau, le Flj mesuré à 160 cm est inférieure à celui mesuré sur le plan utile.

---

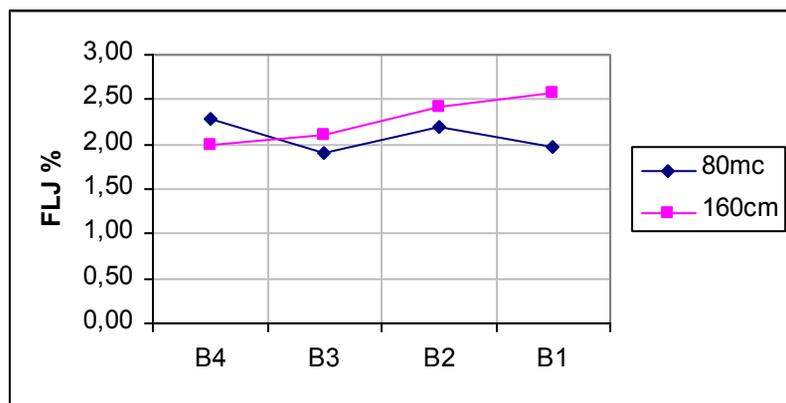
<sup>2</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.39 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'été à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**

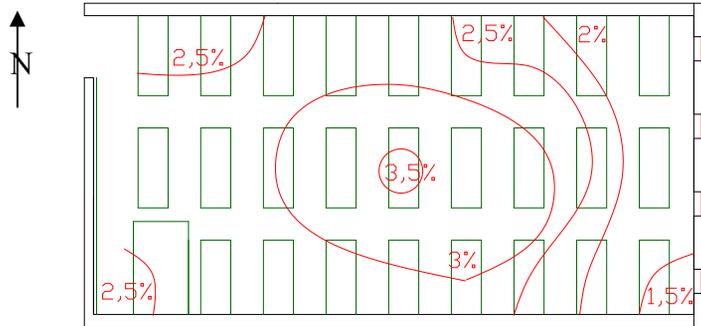


**c- Ambiance lumineuse intérieure**



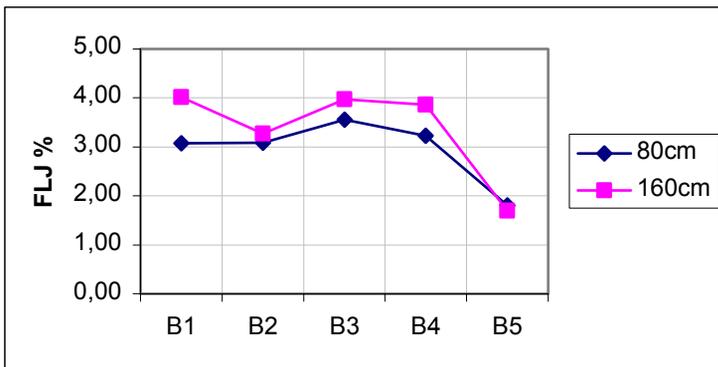
**Figure 7.40 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'été à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Distribution symétrique des Flj (isotropie du ciel couvert).  
 -Baisse des Flj à proximité des parois internes (Réflectance moyenne des surfaces intérieures très faible estimée à 0,24).  
 - $1,53\% \leq Flj \leq 3,56\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



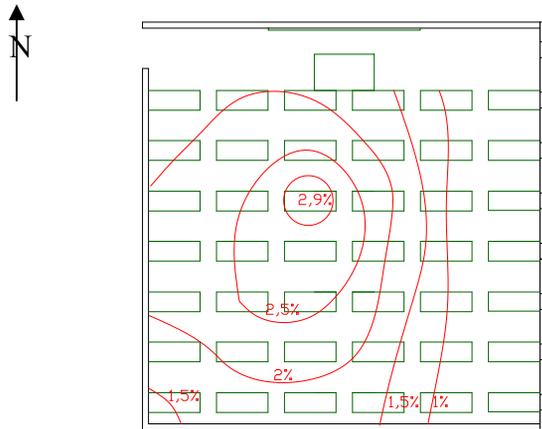
-Au niveau +160cm :  
 $1,49\% \leq Flj \leq 4,02\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



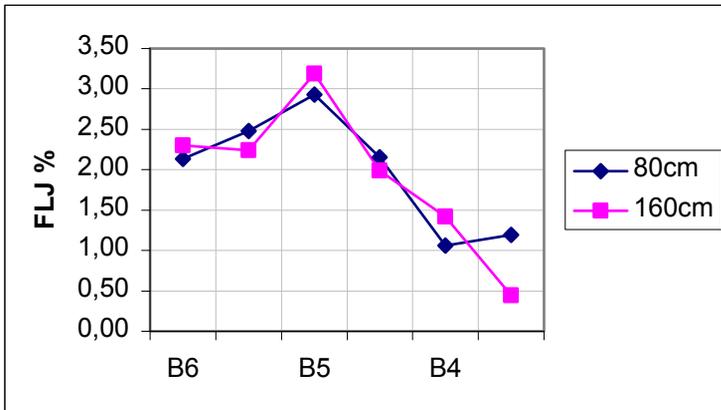
**Figure 7.41 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'été à 14 GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Directivité de la lumière du jour vers la partie Ouest du local.  
 -Baisse des Flj à proximité des parois internes (Facteur de réflexion faible)  
 $-0,69\% \leq Flj \leq 2,93\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Au niveau +160 cm :  $0,35\% \leq Flj \leq 3,19\%$   
 -Augmentation des Flj sous les parties transparentes des lanterneaux.  
 -Baisse des Flj sous les parties opaques des lanterneaux.

### **2.3.2-Ciel clair serein**

#### **-Heure 9 GMT :**

##### **-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est très clair ( $I_N= 10$ ctas)<sup>3</sup> avec soleil apparent. Ses coordonnées sont les suivantes : Hauteur solaire = $49^{\circ}37'$ , Azimut solaire = $-84^{\circ}87'$ . L'éclairement lumineux horizontal extérieur global est donc égal à l'éclairement directe du soleil en plus de l'éclairement diffus du ciel:  $E_x=115000$  Lux. Quant à l'éclairement lumineux vertical mesuré au centre du plan de l'ouverture Est :  $E_w= 63100$  Lux.

##### **-Eclairage naturel intérieur des salles de cours :**

Le soleil se positionnant à l'Est-sud-est, nous constatons que les parois intérieures Ouest et Nord des trois salles de cours sont directement ensoleillées et les contours FLJ (Figures 7.42.a, 7.43.a et 7.44.a) indiquent que la distribution des iso facteurs de lumière du jour est asymétrique à cause de l'anisotropie du ciel clair. La partie Nord-ouest des salles de cours est la plus claire à cause de l'effet directif des lanterneaux verticaux mais aussi de la position solaire. Par contre, la partie Sud-est des salles est sombre se trouvant dans la zone ombrée.

En ce qui concerne la salle de cours 59, par exemple, les valeurs de Flj sur plan utile (Figure 7.42.a) varient entre 1,70% au fond de la salle à proximité du mur de fenestration Est et 9,27% dans la partie Nord-ouest. Nous observons également que la pénétration des rayons solaires directs est profonde et que des tâches solaires apparaissent sur les tables des rangées 2 et 5, mais aussi une pénétration de la lumière solaire à travers les hublots orientés Est. Cette lumière dirigée dans le dos des étudiants, peut provoquer des ombres sur les plans de travail au fond de la salle qui risquent de les gêner dans l'exécution des tâches visuelles, ceci d'une part. D'autre part, l'ensemble des ouvertures zénithales et latérales ensoleillées se trouvent dans le champ de vision de l'enseignant. Cette position des ouvertures provoque l'éblouissement direct de ce dernier.

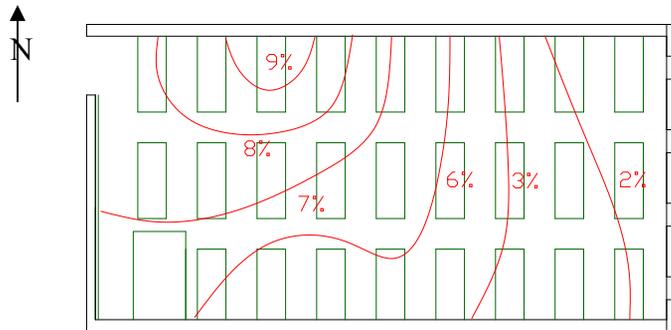
Le profil transversal en l'axe Est-ouest de la salle (Figure 7.42.b) montre un effet directif très prononcé de la lumière naturelle vers la partie Ouest de la salle. Pour le plan situé à 160 cm au dessus du plancher, les Flj varient entre 1,32% et 22,19%.

---

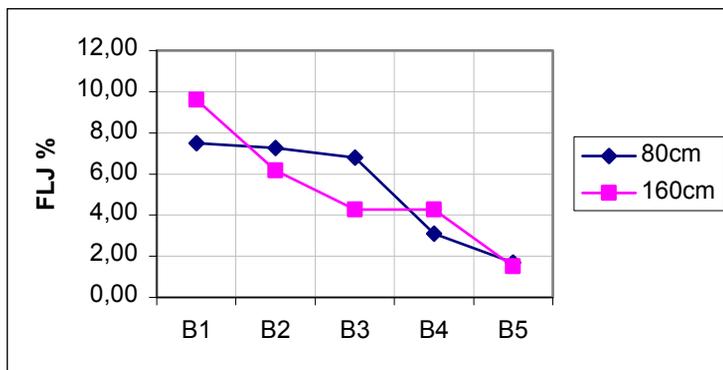
<sup>3</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.42 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'été à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**

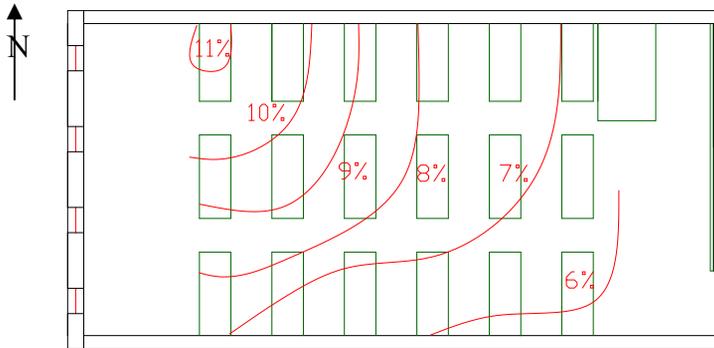


**c- Ambiance lumineuse intérieure**



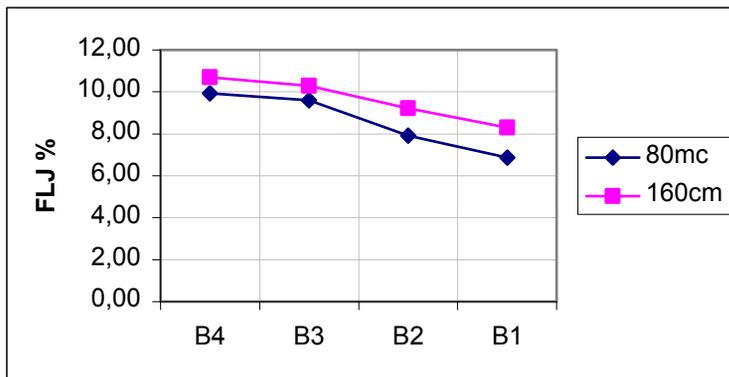
**Figure 7.43 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82**  
**sous ciel clair d'été à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Distribution asymétrique des Flj (anisotropie du ciel claire).  
 -Directivité de la lumière vers la partie Nord-ouest.  
 -Tâches solaires sur les parois internes Nord et Ouest ainsi que certaines tables du local.  
 - $6,16\% \leq Flj \leq 11,02\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Effet directif de la lumière naturelle vers l'Ouest de la salle.  
 -Au niveau +160 cm :  
 $6,62\% \leq Flj \leq 12,35\%$

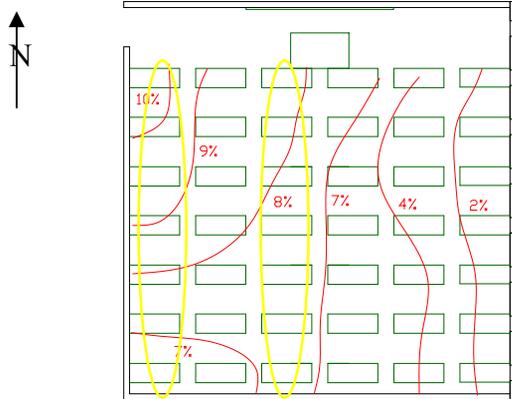
**c- Ambiance lumineuse intérieure**



Tâches solaires sur les parois Nord et Ouest de la salle.

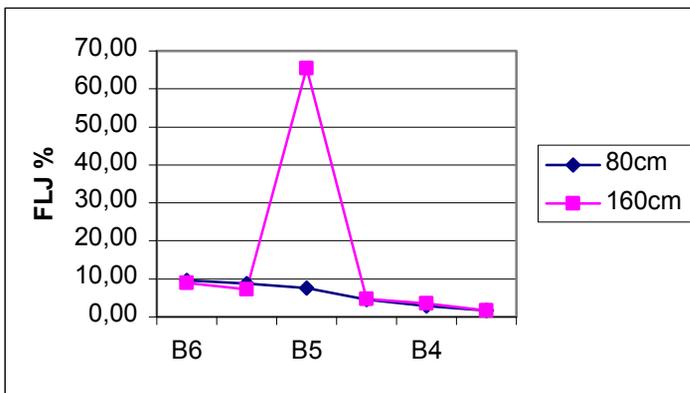
**Figure 7.44 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'été à 9GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



- Distribution asymétrique
- Partie Nord-ouest très claire.
- Contraste important :  $1,56\% \leq Flj \leq 10,45\%$
- Tâches solaires sur les parois internes Nord et Ouest ainsi que certaines tables du local.
- Hublots Est ensoleillés (ombres gênantes).

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



- Effet directif vers la partie Ouest de la salle.
- Au niveau +160 cm :  $1,28\% \leq Flj \leq 65,41\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**

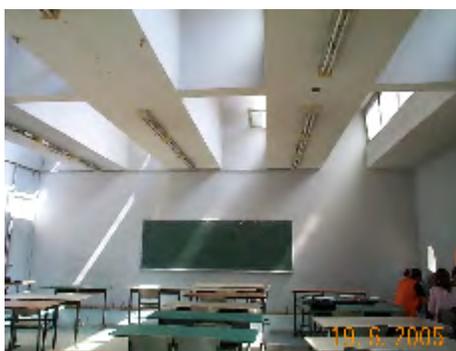


Tableau ensoleillé



Tâches solaires sur les parois Ouest et Nord de la salle.

**-Heure 12 GMT :****-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est clair ( $I_N = 2$  octas)<sup>4</sup> avec soleil visible positionné en plein Sud (Hauteur solaire= $77^{\circ}16'$ ). L'éclairement lumineux horizontal extérieur est donc égal à l'éclairement direct du soleil en plus de l'éclairement diffus du ciel :  $E_x = 122000$  Lux. Quant à l'éclairement lumineux vertical mesuré au centre du plan de l'ouverture Est :  $E_w = 12700$  Lux.

**-Eclairage naturel intérieur des salles de cours:**

A midi solaire vrai, les salles de cours du bloc des lettres sont éclairées par la lumière diffuse du ciel car les rayons solaires directs sont tangentiels aux vitrages des lanterneaux verticaux et des hublots.

Pour la salle de cours 82, les contours FLJ (Figure 7.45.a) indiquent un très faible effet directif de la lumière naturelle vers la paroi Ouest du local accompagné d'une baisse relative des éclairements à proximité des parois internes. Les valeurs de Flj sur plan utile varient entre 4,82% et 6,04%.

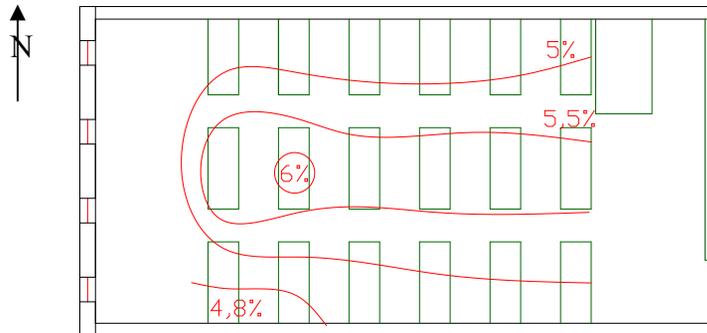
Le profil transversal en l'axe Est- ouest du local (Figure 7.45.b) montre qu'au niveau du plan situé à 160cm du plancher, l'effet directif de la lumière du jour est dirigé vers la paroi Est de la salle et que ces valeurs sont supérieures à celles enregistrées au niveau du plan utile ( $5,33\% \leq Flj \leq 6,94\%$ ).

---

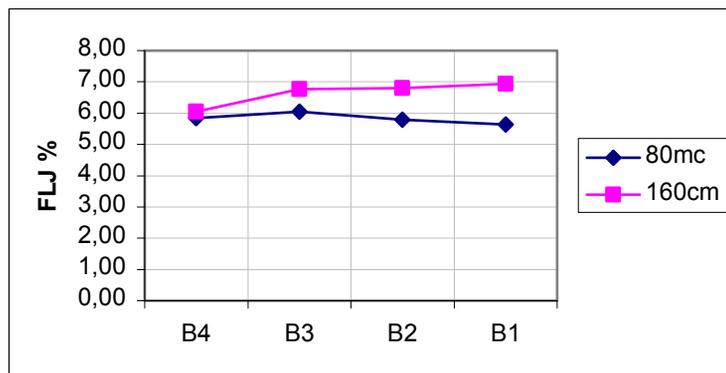
<sup>4</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.45 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82  
sous ciel clair d'été à 12GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**

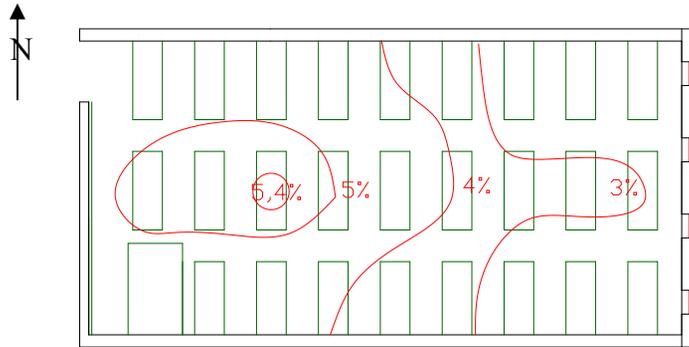


**c- Ambiance lumineuse intérieure**



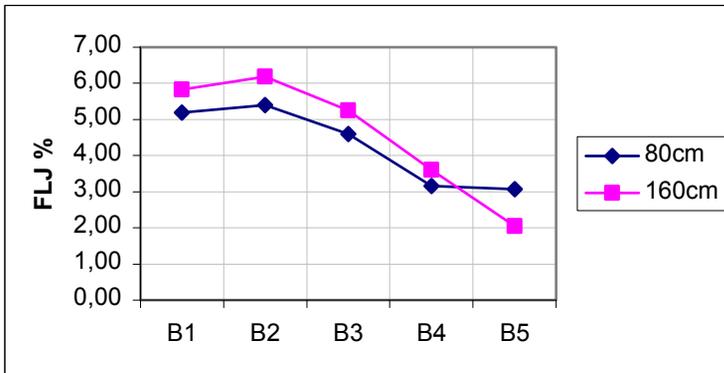
**Figure 7.46 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'été à 12GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Directivité de la lumière vers la partie Ouest du local.  
 -Baisse des valeurs Flj à proximité des parois internes (Réflectance moyenne interne faible)  
 $-2,55\% \leq Flj \leq 5,40\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



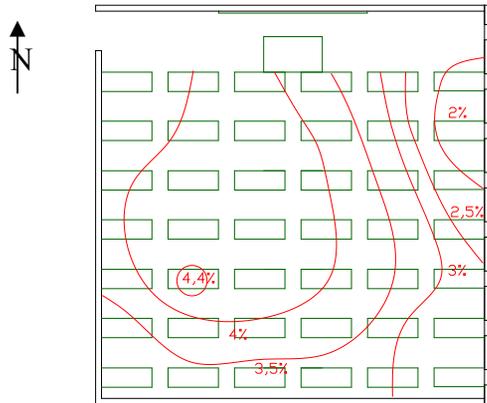
-Effet directif (mono-exposition des vitrages)  
 -Au niveau +160cm :  $1,91\% \leq Flj \leq 6,18\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



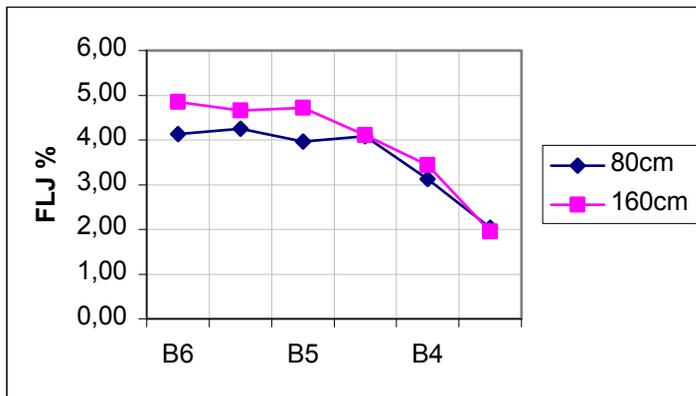
**Figure 7.47 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'été à 12GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Directivité de la lumière vers la partie Ouest du local.  
 -Baisse des valeurs Flj à proximité des parois internes (Facteur de réflexion faible)  
 - $1,87\% \leq Flj \leq 4,45\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Effet directif de la lumière vers la partie Ouest de la salle (mono-exposition des vitrages).  
 -Au niveau +160cm :  $1,55\% \leq Flj \leq 4,96\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



**-Heure 14 GMT :****-Climat lumineux extérieur:**

Le ciel est clair ( $I_N = 2$  octas)<sup>5</sup> avec soleil visible dont les coordonnées horizontales sont les suivantes : Hauteur solaire= $61^{\circ}16'$ , Azimut solaire = $+71^{\circ}99'$ . L'éclairement lumineux horizontal extérieur est donc égal à l'éclairement direct du soleil en plus de l'éclairement diffus du ciel et qui est égal à :  $E_x=82000$  Lux. Quant à l'éclairement lumineux vertical mesuré au centre du plan de l'ouverture Est :  $E_w = 9650$  Lux.

**-Eclairage naturel intérieur des salles de cours:**

Les salles de cours n° 54-55 et n° 59 sont éclairées par la lumière diffuse du ciel tandis que la salle 82 est éclairée à la fois par la lumière diffuse ainsi que par la lumière solaire directe qui pénètre à travers les hublots orientés vers l'Ouest.

En ce qui concerne la salle de cours n°54-55, par exemple, les contours FLJ (Figure 7.48.a) indiquent que les valeurs de Flj sur plan utile varient entre 3,59% à proximité du mur de fenestration Est et 7,75% au milieu du local.

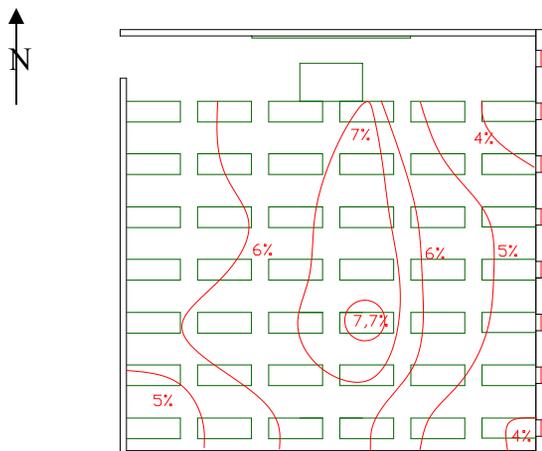
En profil (Figure 7.48.b), les Flj mesurés à 160cm du niveau du plancher ( $3,51\% \leq Flj \leq 8,27\%$ ) sont de valeurs supérieures à ceux mesurés au niveau du plan de travail, sauf sous la partie opaque du dernier lanterneau où la composante directe du ciel est minimale.

---

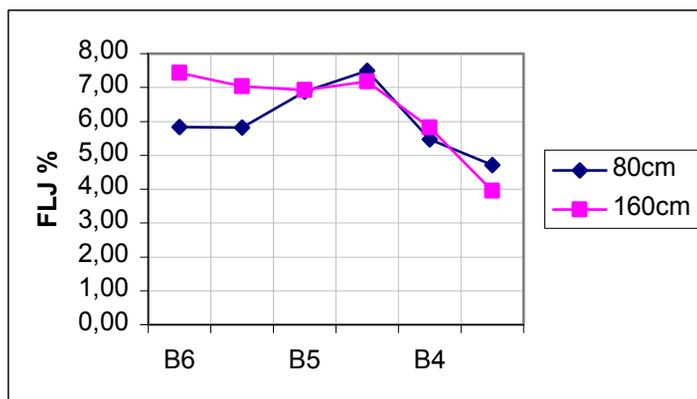
<sup>5</sup> Station météorologique de Ain El Bey. « Données de nébulosité totale ». Constantine. 2004-2005.

**Figure 7.48 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55  
sous ciel clair d'été à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**

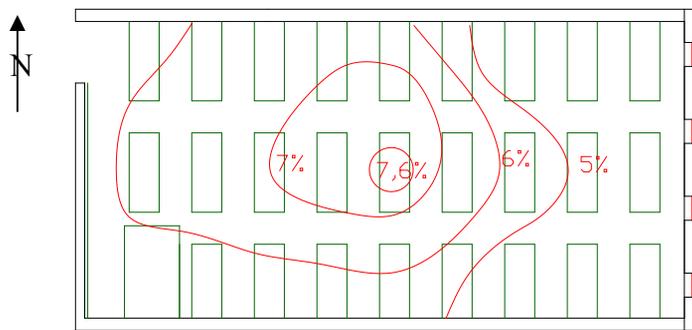


**c- Ambiance lumineuse intérieure**



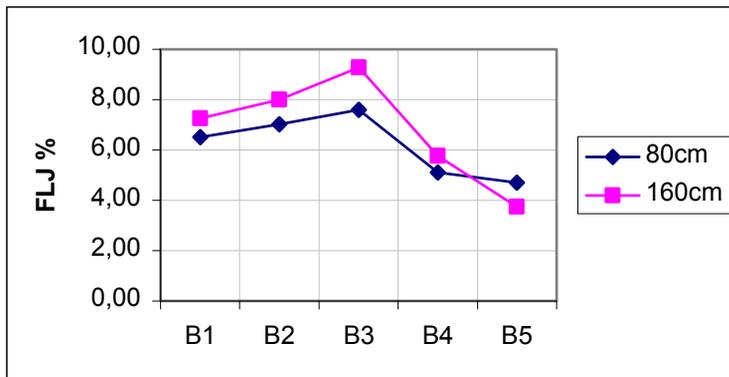
**Figure 7.49 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 59  
sous ciel clair d'été à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Distribution symétriques des iso-facteurs de lumière de jour.  
 -Baisse des Flj à proximité des parois internes (réflectance moyenne très faible)  
 $-4,27\% \leq Flj \leq 7,60\%$

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



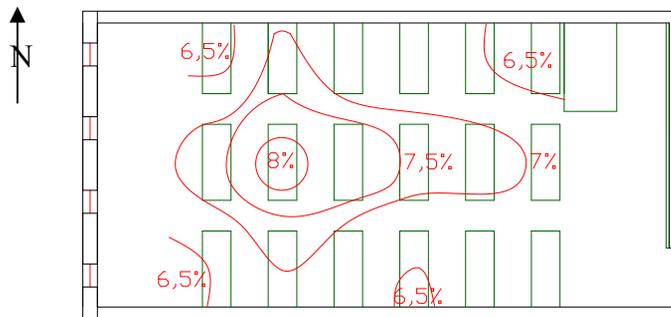
-Augmentation des Flj jusqu'à la moitié de la salle suivie d'une baisse de ces valeurs.  
 -Au niveau +160cm :  $3,56\% \leq Flj \leq 9,27\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**



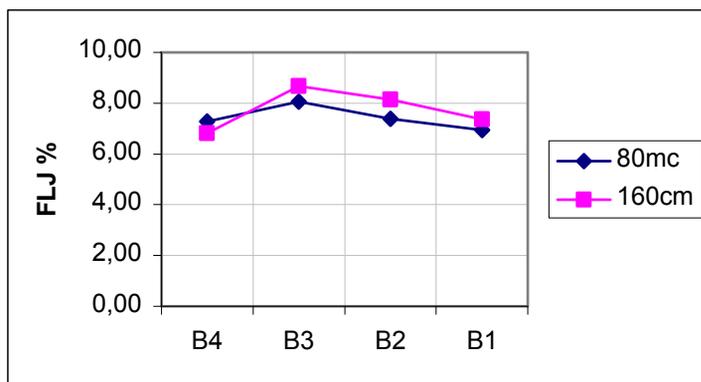
**Figure 7.50 : Les facteurs de lumière du jour dans la salle 82  
sous ciel clair d'été à 14GMT.**

**a- Contours Flj sur plan utile**



-Distribution symétrique des Flj.  
- $6,13\% \leq Flj \leq 8,06\%$   
-Hublots ensoleillés = ombres gênantes au fond de la salle.

**b- Profil transversal dans l'axe Est-ouest du local**



-Faible fluctuation des valeurs Flj (réflectance moyenne interne élevée)  
-Au niveau +160cm :  $5,18\% \leq Flj \leq 8,66\%$

**c- Ambiance lumineuse intérieure**

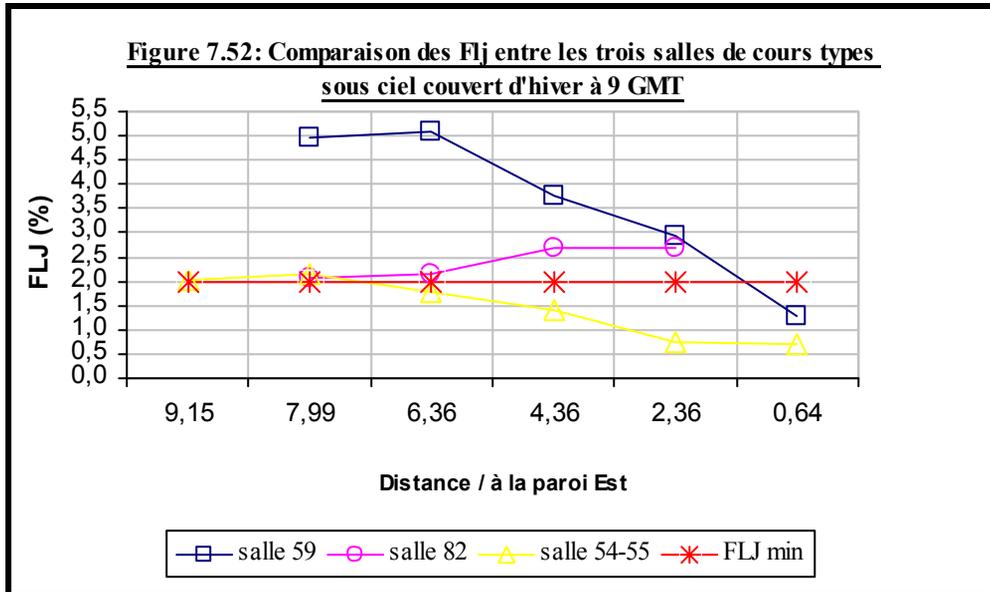




### 1.4-Comparaison des conditions d'éclairage naturel entre les trois salles de cours

types:

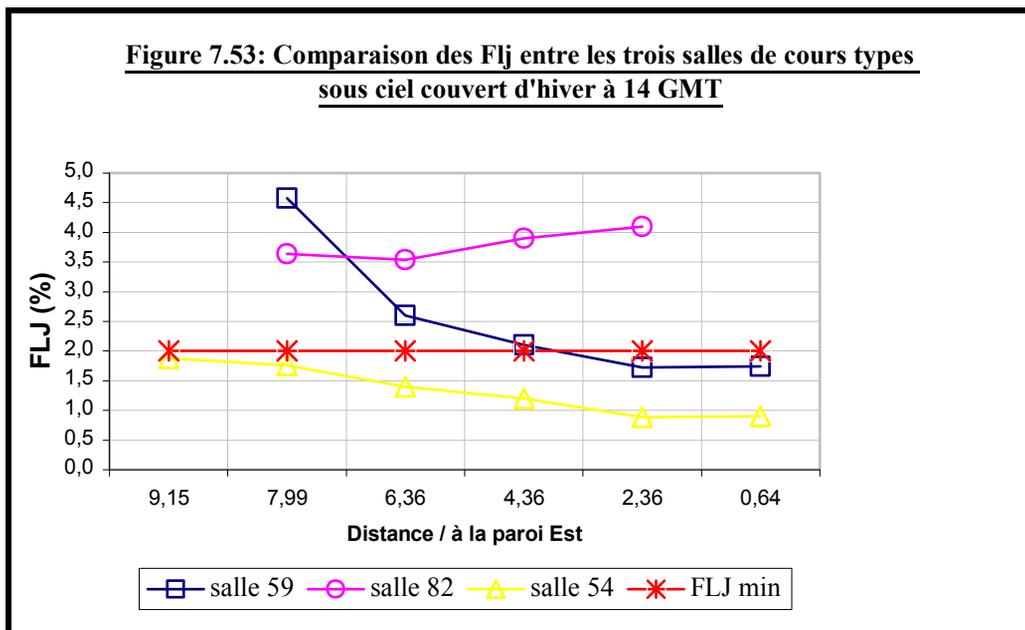
#### 1.4.1-En hiver:



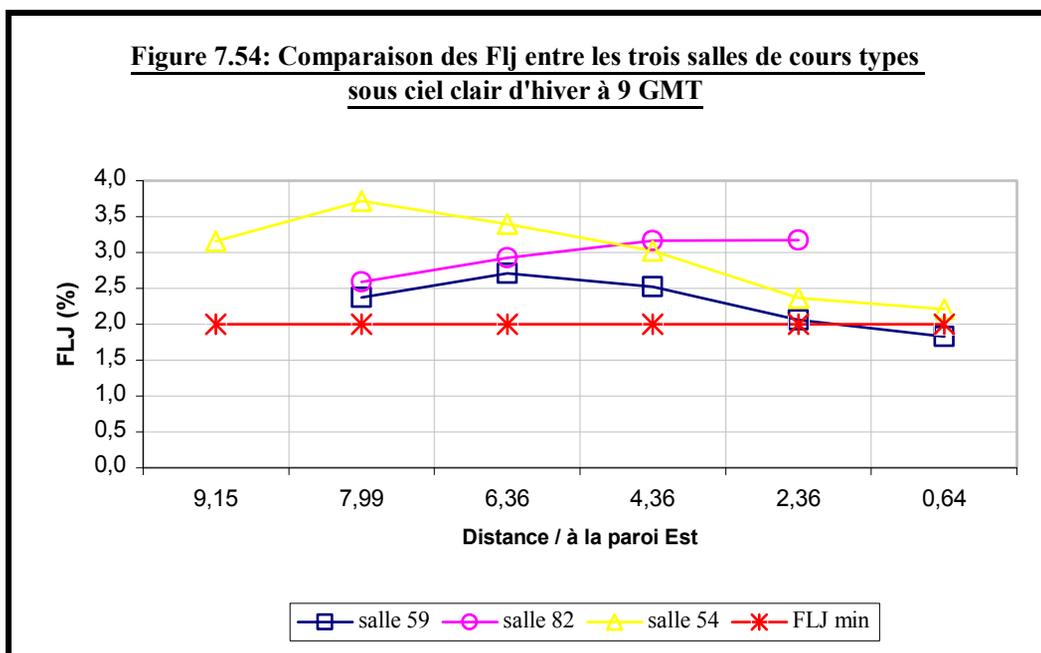
La figure 7.52 indique que, sous ciel couvert d'hiver à 9 GMT, l'éclairage naturel de la salle 59 est caractérisé par un effet directif très accentué de la lumière naturelle dirigé de la paroi Est vers la paroi Ouest du local à cause de la monoexposition des vitrages et de la faible réflectance des surfaces intérieures estimée à 0,24. Les valeurs du facteur de lumière du jour sur plan utile sont les plus importantes, quoique le FLJ sous la partie opaque du dernier lanterneau est inférieur à 2% puisque la composante direct et la composante réfléchiée interne sont très faibles.

L'éclairage naturel de la salle 54-55 est le plus faible : il est caractérisé par des valeurs Flj inférieures à 2% et accompagné d'un effet directif de la lumière vers la paroi ouest du local.

Quant aux conditions d'éclairage naturel de la salle 82, il est caractérisé par une faible directivité de la lumière naturelle vers la paroi Est du local à cause de la réflectance élevée des surfaces intérieures (réflectance moyenne estimée à 0,51).



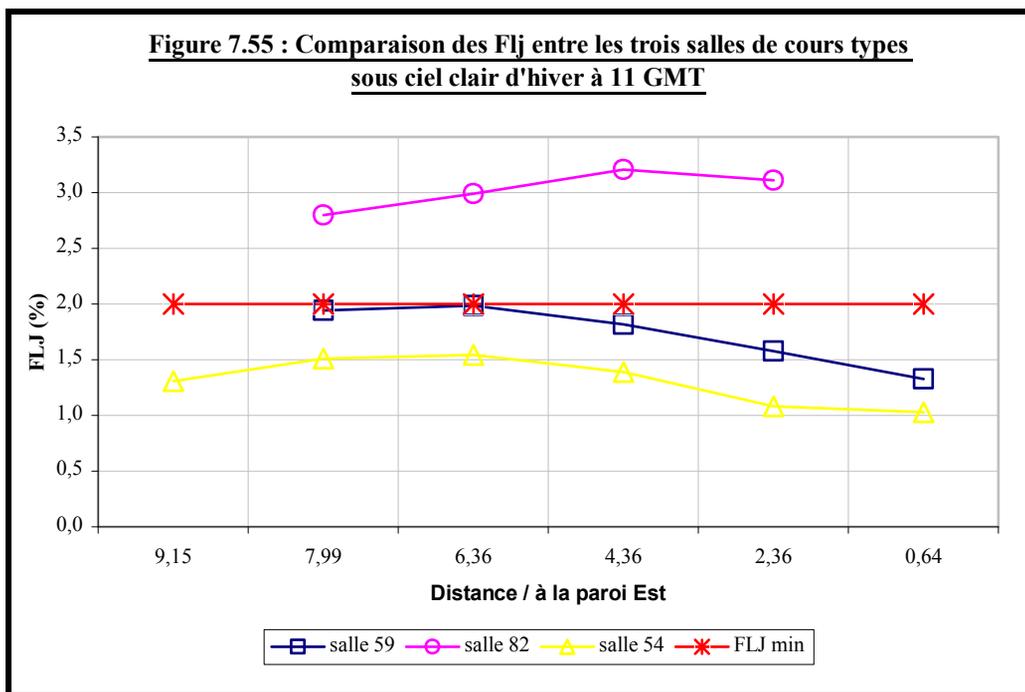
La figure 7.53 indique que, sous ciel couvert d’hiver à 14 GMT, l’éclairage naturel de la salle 82 est caractérisé par une faible directivité de la lumière vers la paroi interne Est à cause de la réflectance élevée des surfaces intérieures. Les valeurs du facteur de lumière du jour sont les plus importantes, toutes supérieures à 2%. Tandis que l’éclairage de la salle 54-55 est le plus faible : il est caractérisé par des valeurs FLj inférieures à 2% accompagné d’un effet directif vers la paroi Ouest du local, à cause de la réflectance très faible des surfaces intérieures. Celui de la salle 59 est caractérisé par une importante directivité de la lumière vers la paroi Ouest du local due à la monoexposition des vitrages ; et les valeurs FLJ enregistrées sous la partie opaque du dernier lanterneau est inférieur à 2% puisque la composante direct et la composante réfléchiée interne sont faibles.



La figure 7.54 indique que, **sous ciel clair serein d’hiver à 9 GMT**, lorsqu’il y a un ensoleillement direct des parties opaques des lanterneaux verticaux, l’éclairage naturel de la salle 54-55 est caractérisé par une importante directivité de la lumière vers la paroi Ouest du local due à la monoexposition des vitrages. D’autre part, le Flj diminue à proximité de la paroi Ouest à cause du facteur de réflexion faible de cette dernière.

Pour la salle 82, son éclairage naturel est caractérisé par une faible directivité de la lumière vers la paroi Est à cause de la réflectance élevée des surfaces intérieures et les valeurs du facteur de lumière du jour sont toutes supérieures à 2%.

Quant à l’éclairage naturel de la salle n° 59, il est le plus faible accompagné d’un effet directif de la lumière naturelle vers la paroi Ouest du local. Ceci est en rapport direct avec la très faible réflectance des surfaces intérieures du local. Le FLJ enregistré sous la partie opaque du dernier lanterneau est également inférieur à 2% puisque la composante directe et la composante réfléchie interne sont très faibles.

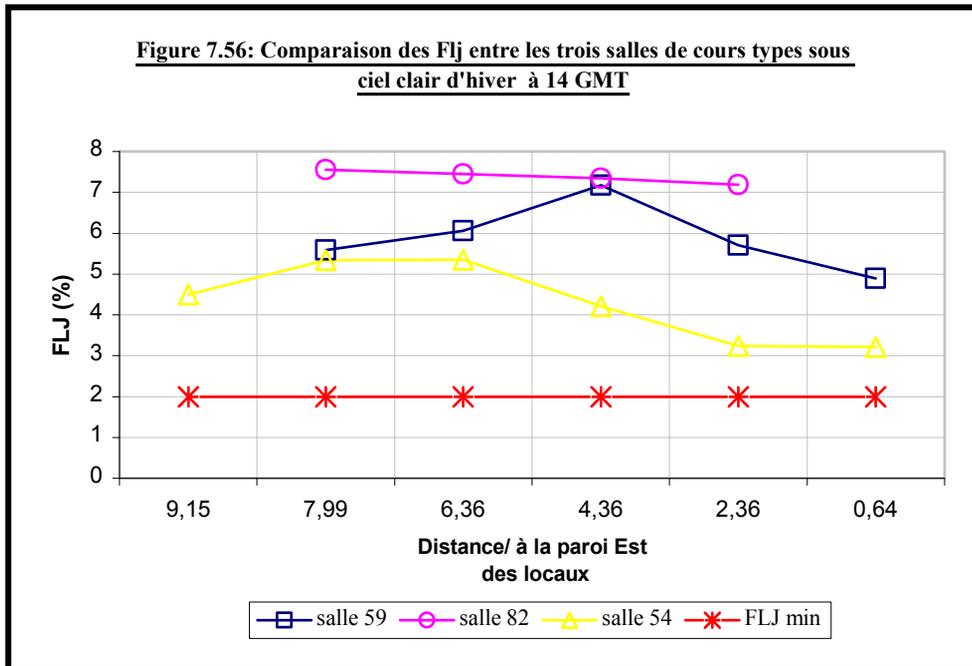


La figure 7.55 indique que, **sous ciel clair serein d’hiver à 11 GMT**, l’éclairage naturel de la salle 82 est caractérisé par une faible directivité de la lumière vers la paroi Est du local due à la réflectance élevée des surfaces intérieures. Quant aux valeurs du facteur de lumière du jour sur le plan utile, elles sont toutes supérieures à 2% et sont les plus importantes.

Tandis que l’éclairage naturel de la salle 54-55 est le plus faible puisque les valeurs FLJ sont toutes inférieures à 2%, accompagné d’un effet directif prononcé de la lumière vers la

paroi Ouest du local à cause de la monoexposition des vitrages ainsi que la faible réflectance des surfaces intérieures.

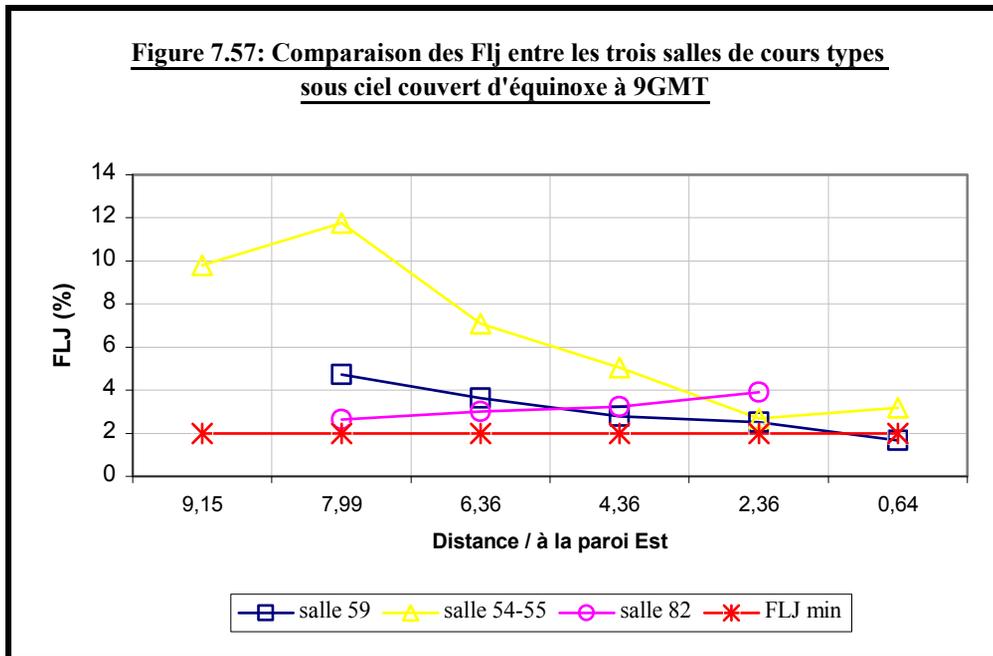
L'éclairage naturel de la salle 59 est caractérisé également par un effet directif prononcé de la lumière vers la partie Ouest du local du à la monoexposition des vitrages et des FLJ inférieurs à 2% car la composante réfléchie interne est très faible.



La figure 7.56 montre que, **sous ciel clair serein d’hiver à 14 GMT**, l’éclairage naturel de la salle 82 est caractérisé par une très faible directivité de la lumière vers la paroi Ouest du local à cause de la réflectance élevée des surfaces intérieures. Les valeurs du facteur de lumière du jour sont toutes supérieures à 2% et sont les plus importantes.

Tandis que l’éclairage naturel de la salle n° 54-55 est le plus faible, accompagné d’un effet directif prononcé de la lumière vers la paroi Ouest du local du à la monoexposition des vitrages. Les valeurs FLJ sur plan utile sont toutefois supérieures à 2%.

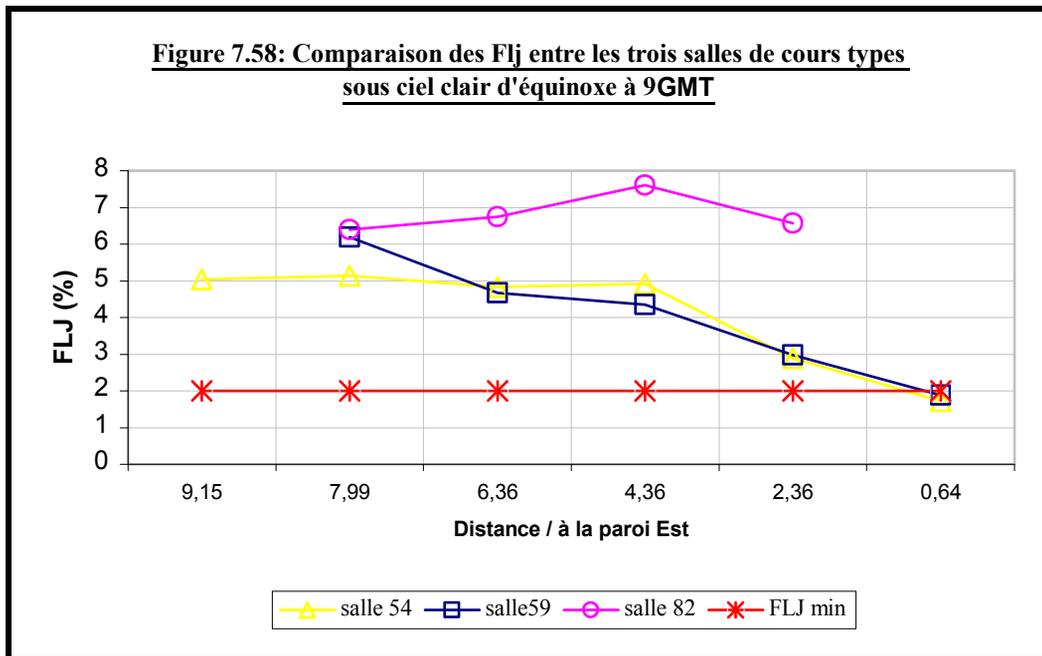
Quant à l’éclairage naturel de la salle n° 59, il est caractérisé par une augmentation des Flj jusqu’au milieu de la salle suivie d’une diminution de ces valeurs dans la moitié Ouest du local mais elles sont supérieures à 2%.

**1.4.2- En équinoxe:**

La figure 7.57 indique que, **sous ciel couvert d'équinoxe à 9 GMT**, l'éclairage naturel de la salle 54-55 est caractérisé par une directivité prononcée de la lumière vers la partie Ouest du local à cause de la monoexposition des vitrages. Les valeurs du facteur de lumière du jour sur plan utile sont toutes supérieures à 2% mais on enregistre une baisse à proximité de la paroi Ouest à cause de son faible facteur de réflexion (0,3).

Pour ce qui est de l'éclairage naturel de la salle 59, il est caractérisé par une directivité de la lumière vers la paroi Ouest du local à cause de la monoexposition des vitrages. Le FLJ sous la partie opaque du dernier lanterneau est inférieur à 2% puisque la composante directe et la composante réfléchie interne y sont très faibles.

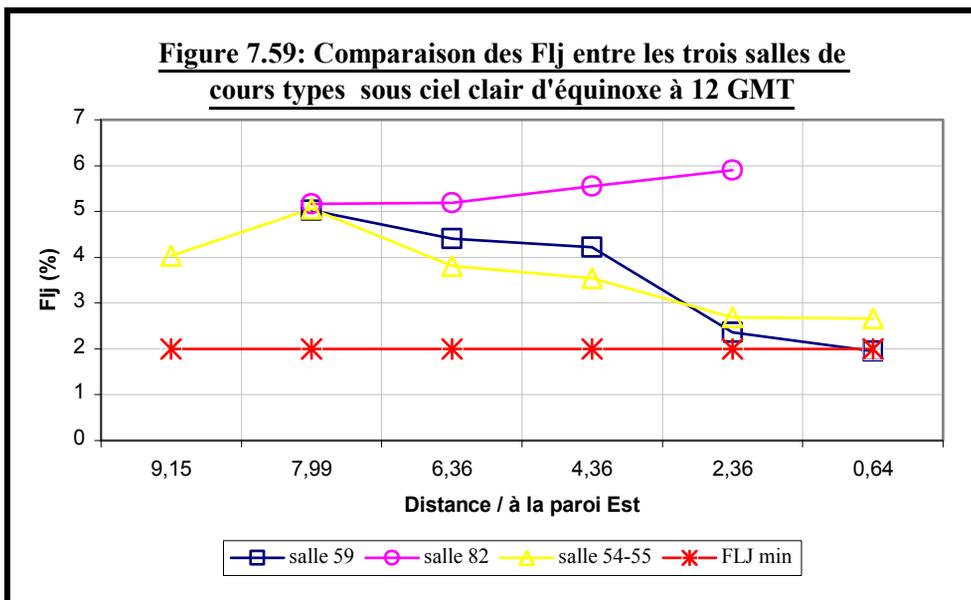
Tandis que l'éclairage de la salle n° 82 est caractérisé par un très faible effet directif de la lumière vers la paroi Est du local du à la réflectance élevée des surfaces intérieures.



La figure 7.58 indique que, **sous ciel clair serein d'équinoxe à 9 GMT**, lorsqu'il y a une pénétration directe des rayons solaires dans les salles de cours, l'éclairage naturel de la salle 82 est caractérisé par une faible directivité de la lumière vers la partie Est à cause de la réflectance élevée des surfaces intérieures. Les valeurs du facteur de lumière du jour sur plan utile sont supérieures à 2% et sont les plus importantes.

Quant à la salle 54-55, les valeurs Flj sur plan utile croissent jusqu'au milieu de la salle puis se stabilisent dans la partie Ouest directement ensoleillée. Le Flj sous la partie opaque du dernier lanterneau est inférieur à 2% car la composante directe et la composante réfléchie interne y sont faibles.

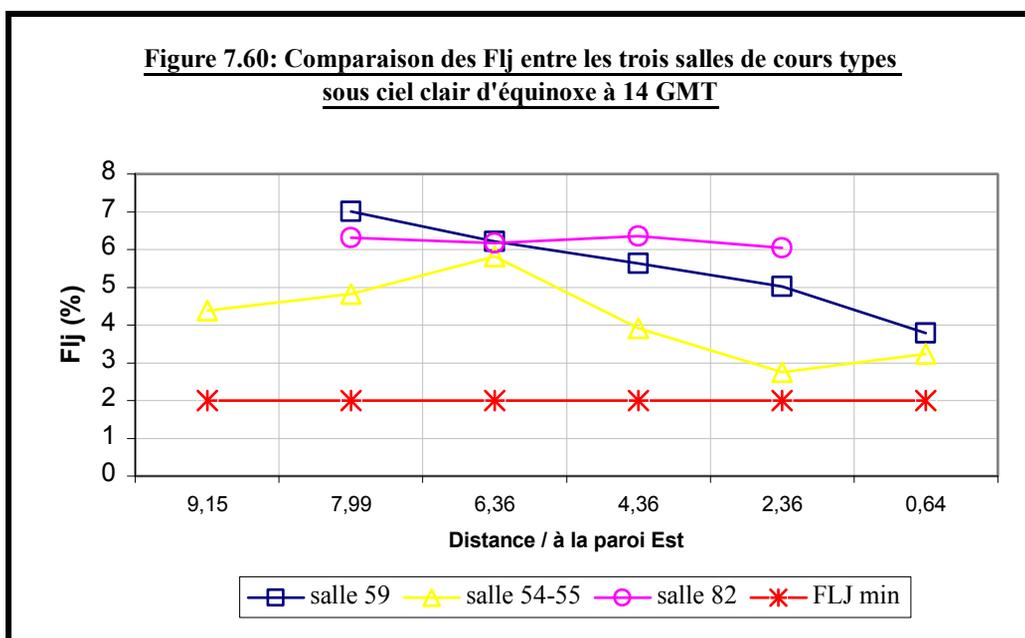
Tandis que l'éclairage naturel de la salle 59 est le plus faible, accompagné d'un effet directif prononcé de la lumière vers la paroi Ouest du local. Ceci est dû à la faible réflectance des surfaces internes du local. Le FLJ enregistré sous la partie opaque du dernier lanterneau est également inférieur à 2% puisque la composante directe et la composante réfléchie interne y sont faibles.



La figure 7.59 indique que, **sous ciel clair serein d'équinoxe à 12 GMT**, l'éclairage naturel de la salle 82 est caractérisé par une faible directivité de la lumière vers la paroi Est à cause de la réflectance élevée des surfaces intérieures. Les valeurs du facteur de lumière du jour sont toutes supérieures à 2% et sont les plus importantes.

L'éclairage naturel de la salle 54-55 est caractérisé par une importante directivité de la lumière vers la partie Ouest du local à cause de la monoexposition des vitrages. Le Flj baisse à proximité de la paroi Ouest à cause de son faible facteur de réflexion.

Tandis que l'éclairage de la salle 59 est le plus faible, accompagné d'un effet directif prononcé de la lumière vers la paroi Ouest du local. Ceci est en rapport direct avec la faible réflectance des surfaces internes.

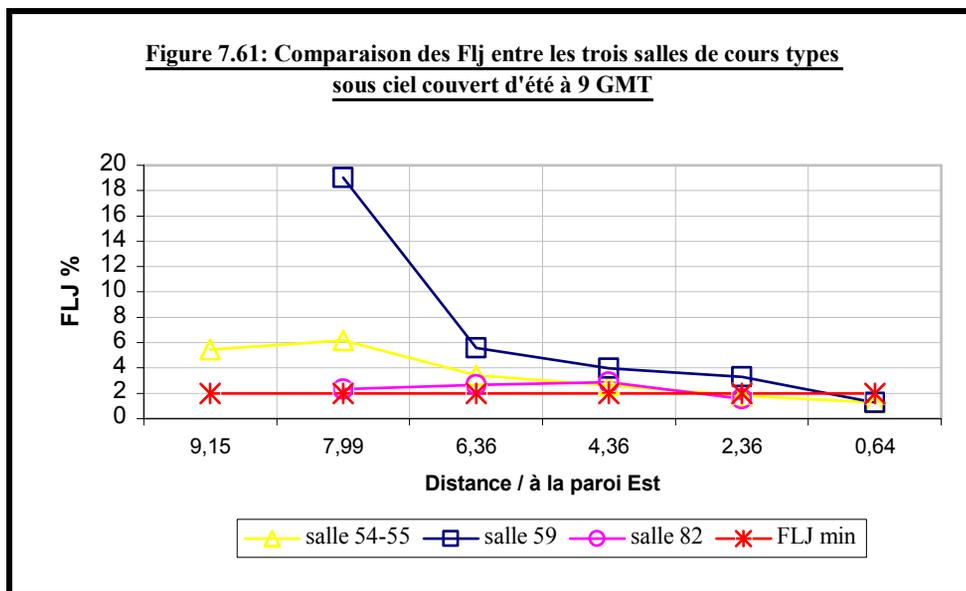


La figure 7.60 indique que, **sous ciel clair serein d'équinoxe à 14 GMT**, la salle 82 est caractérisé par un éclairage naturel uniforme grâce à la réflectance élevée des surfaces intérieures. Les valeurs du facteur de lumière du jour sur plan utile sont toutes supérieures à 2% et sont les plus importantes.

L'éclairage naturel de la salle 59 est caractérisé par une importante directivité de la lumière vers la paroi Ouest du local à cause de la monoexposition des vitrages.

Tandis que l'éclairage de la salle 54-55 est le plus faible, accompagné d'un effet directif prononcé de la lumière vers la partie Ouest du local. Le Flj chute à proximité de la paroi Ouest à cause de son faible facteur de réflexion.

### 1.4.3- En été:

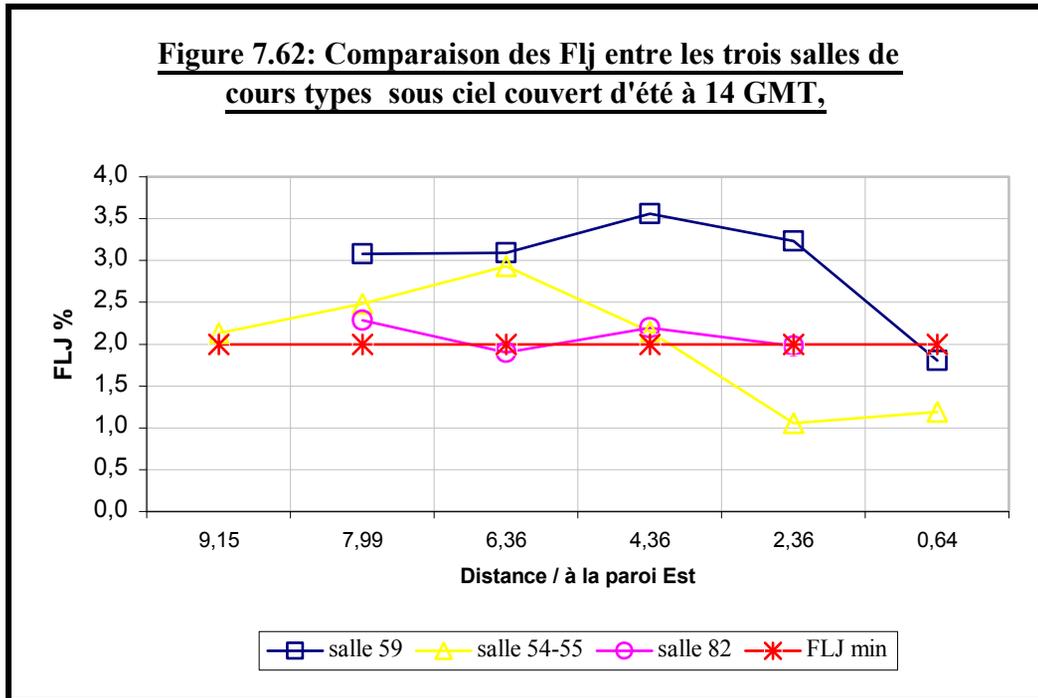


La figure 7.61 indique que, **sous ciel couvert d'été à 9GMT**, l'éclairage naturel de la salle 59 est caractérisé par un effet directif très important de la lumière naturelle de la paroi Est vers la paroi Ouest à cause de la monoexposition des vitrages et du faible facteur de réflectance des surfaces internes. Les valeurs du facteur de lumière du jour sont les plus importantes.

Quant à l'éclairage naturel de la salle 82, il est le plus faible accompagné d'un faible effet directif de la lumière vers la paroi Est du local.

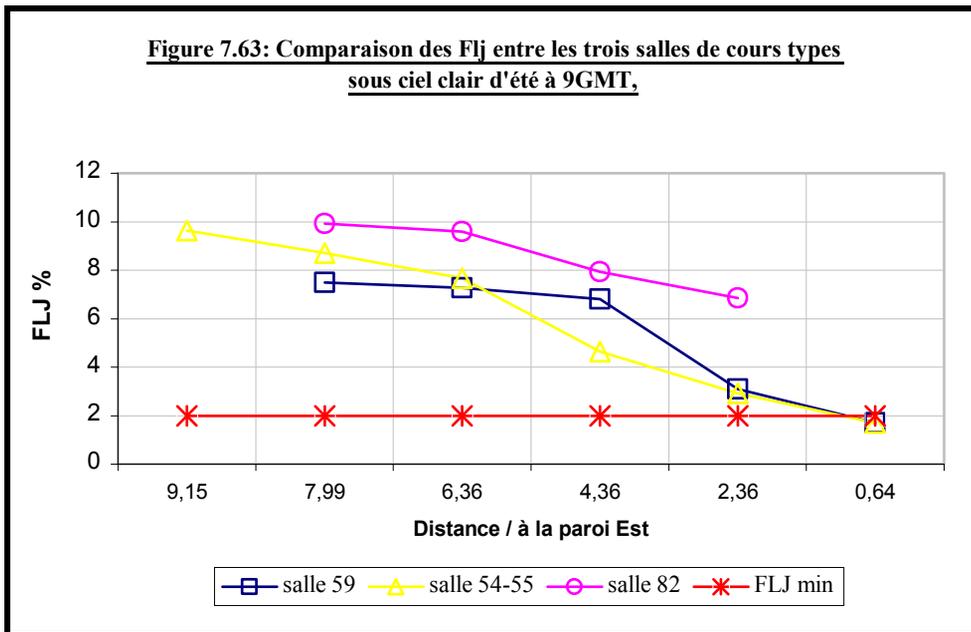
Celui de la salle 54-55 est caractérisé par une directivité de la lumière vers la paroi Ouest du local à cause de la monoexposition des vitrages.

On constate également que le FLJ sous la partie opaque du dernier lanterneau dans les trois salles de cours est inférieur à 2% car la composante directe et la composante réfléchie interne y sont très faibles.



La figure 7.62 indique que, **sous ciel couvert d'été à 14GMT**, la salle 59 enregistre une augmentation des valeurs Flj à partir de la paroi Est jusqu'au milieu de la salle à cause de la monoexposition des vitrages, puis une diminution de ces dernières due au faible facteur de réflexion des parois internes. Les valeurs du facteur de lumière du jour sont les plus importantes. L'éclairage naturel de la salle 54-55 affiche les mêmes caractéristiques que celui de la salle 59. Quant à l'éclairage de la salle 82, il est le plus faible : les Flj augmentent sous les parties transparentes des lanterneaux et baissent sous la partie opaque de ces derniers. Mais ces fluctuations sont très faibles grâce à la réflectance élevée des surfaces intérieures.

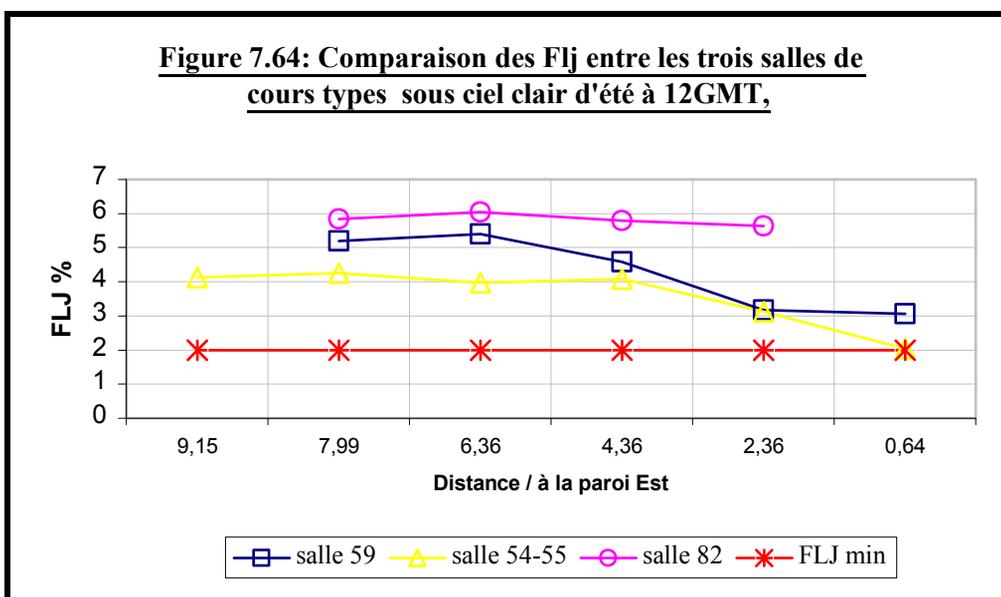
On constate également que le FLJ enregistré sous la partie opaque du dernier lanterneau dans les trois salles de cours est inférieur à 2% car la composante directe et la composante réfléchie interne y sont très faibles.



La figure 7.63 indique que, **sous ciel clair serein d'été à 9 GMT**, lorsqu'il y a un ensoleillement direct des salles de cours, l'éclairage naturel de la salle 82 est caractérisé par une faible directivité de la lumière vers la paroi Ouest du local. Les valeurs du facteur de lumière du jour sont supérieures à 2% et sont les plus importantes.

Pour ce qui est de la salle 54-55, son éclairage naturel est caractérisé par une importante directivité de la lumière vers la paroi Ouest du local due à la monoexposition des vitrages.

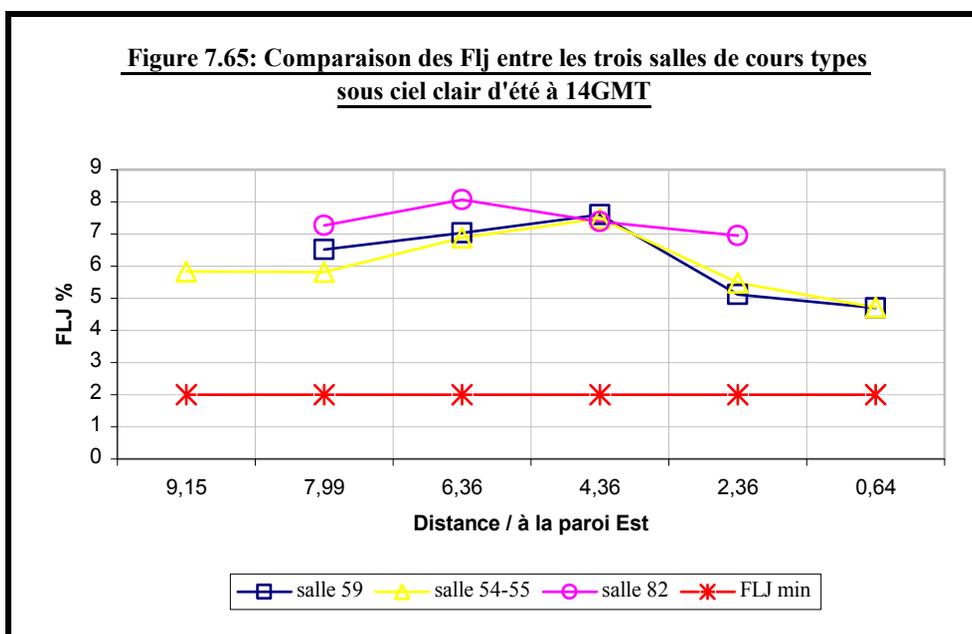
Tandis que l'éclairage de la salle 59 est le plus faible, accompagné d'un effet directif très prononcé de la lumière vers la paroi Ouest du local à cause de la faible réflectance des surfaces intérieures. Le FLJ enregistré sous la partie opaque du dernier lanterneau dans ces deux salles de cours est inférieur à 2% car la composante directe et la composante réfléchie interne y sont très faibles.



La figure 7.64 indique que, **sous ciel clair serein d'été à 12 GMT**, l'éclairage naturel de la salle 82 est caractérisé par une très faible directivité de la lumière vers la paroi Ouest du local grâce à la réflectance élevée des surfaces intérieures. Les valeurs du facteur de lumière du jour sont toutes supérieures à 2% et sont les plus importantes.

Concernant la salle 59, son éclairage naturel est caractérisé par une importante directivité de la lumière vers la paroi Ouest du local à cause de la monoexposition des vitrages.

Tandis que l'éclairage de la salle 54-55 est le plus faible : les valeurs du facteur de lumière du jour augmentent de la paroi Est jusqu'au milieu de la salle puis se stabilisent dans la moitié Ouest du local.

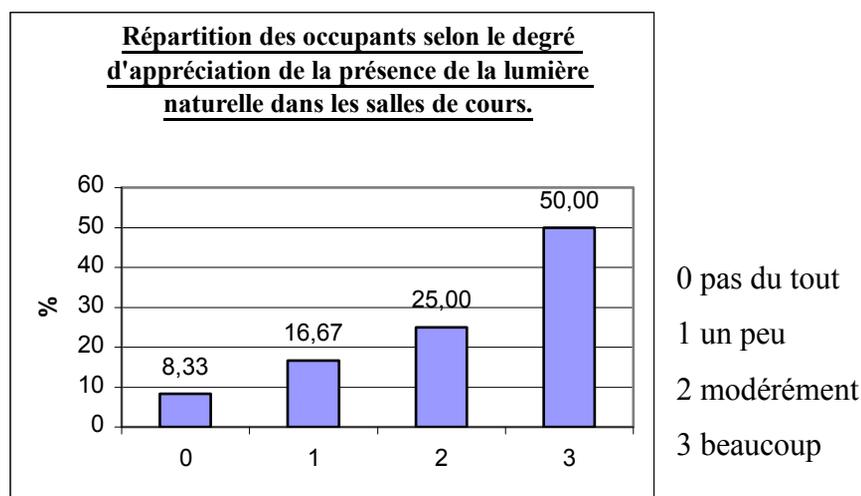


La figure 7.65 indique que, **sous ciel clair serein d'été à 14 GMT**, l'éclairage naturel de la salle 82 est caractérisé par une faible directivité de la lumière vers la paroi Ouest à cause de la réflectance élevée des surfaces intérieures. Quant aux valeurs du facteur de lumière du jour, elles sont toutes supérieures à 2% et sont les plus importantes.

L'éclairage naturel des salles 54-55 et 59 est caractérisé par un accroissement des valeurs de facteur de lumière du jour à partir de la paroi Est jusqu'au milieu de la salle, puis une baisse de ces valeurs dans la moitié Ouest. Ceci est dû à la faible réflectance des surfaces internes.

## **2- Présentation et interprétation des résultats du questionnaire:**

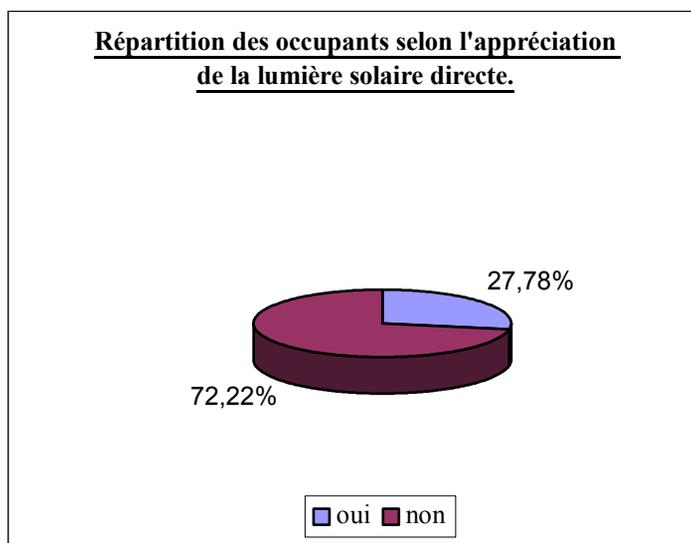
Après avoir exposé les résultats de la campagne de mesures in situ, nous allons présenter les réponses subjectives apportées par les trente six (36) usagers interrogés qui passent en moyenne quatorze (14) heures par semaine dans les salles de cours du bloc des lettres. Cette présentation s'effectue en comparant les réponses des trois groupes d'occupants de chaque local type, à savoir les étudiants et les enseignants des salles n° 54-55, 59 et 82.



Réponses	Fréquence	%
Pas du tout	3	8,33
Un peu	6	16,67
Modérément	9	25
Beaucoup	18	<b>50</b>
Total	36	100

**Tableau n° 7.1: Répartition des occupants selon le degré d'appréciation de la présence de la lumière naturelle dans les salles de cours.**

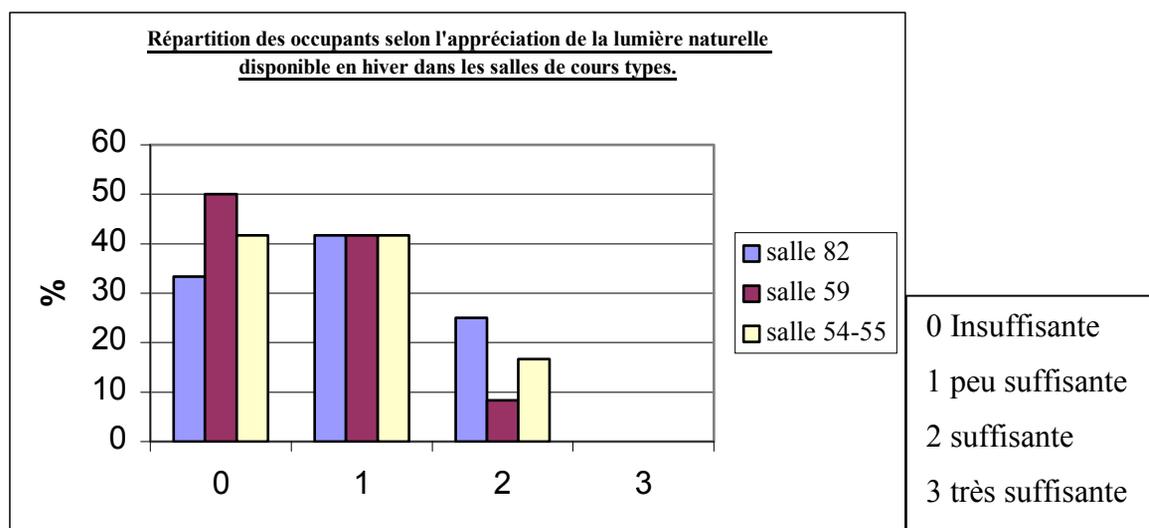
Le tableau n° 7.1 indique que 75% des sujets interrogés apprécient la présence de la lumière naturelle dans les salles de cours, tandis que 25% apprécient peu ou pas du tout cette lumière.



Réponses	Fréquence	%
Oui	10	27,78
Non	26	72,22
Total	36	100

**Tableau n° 7.2: Répartition des occupants selon l'appréciation de la lumière solaire directe.**

Du tableau n° 7.2, il est ressorti que 72,22% des usagers interrogés n'apprécient guère la présence de la lumière solaire directe dans leur champ de vision : pour eux, cette lumière est source d'inconfort visuel.

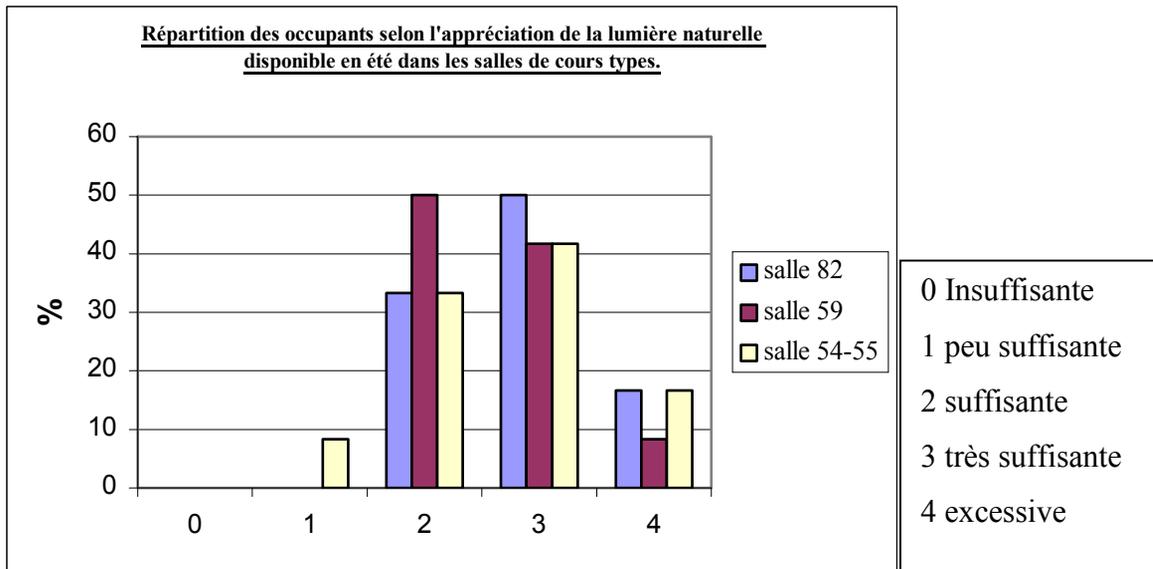


Réponse	salle 82		salle 59		salle 54-55		TOTAL	
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
<b>Insuffisante</b>	4	33,33	6	50,00	5	41,67	<b>15</b>	<b>41,67</b>
<b>Peu suffisante</b>	5	41,67	5	41,67	5	41,67	<b>15</b>	<b>41,67</b>
<b>Suffisante</b>	3	25,00	1	8,33	2	16,67	<b>6</b>	<b>16,67</b>
<b>Très suffisante</b>	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>total</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>36</b>	<b>100</b>

**Tableau n° 7.3: Répartition des occupants selon l'appréciation de la lumière naturelle disponible en hiver dans les salles de cours respectives.**

Le tableau n°7.3 démontre que 83,34% de l'ensemble des usagers trouvent la lumière naturelle insuffisante ou peu suffisante dans les trois salles de cours types pendant la période hivernale. 16,67% la trouve suffisante.

En comparant les résultats des trois salles de cours types, nous avons constaté que la salle n° 82, avec 25% de ses usagers déclarant que la lumière naturelle y est suffisante, dispose des meilleures conditions d'éclairage naturel pendant la période hivernale. Tandis que la salle n° 59 dispose d'un éclairage naturel particulièrement insuffisant, selon 50% des personnes interrogées.

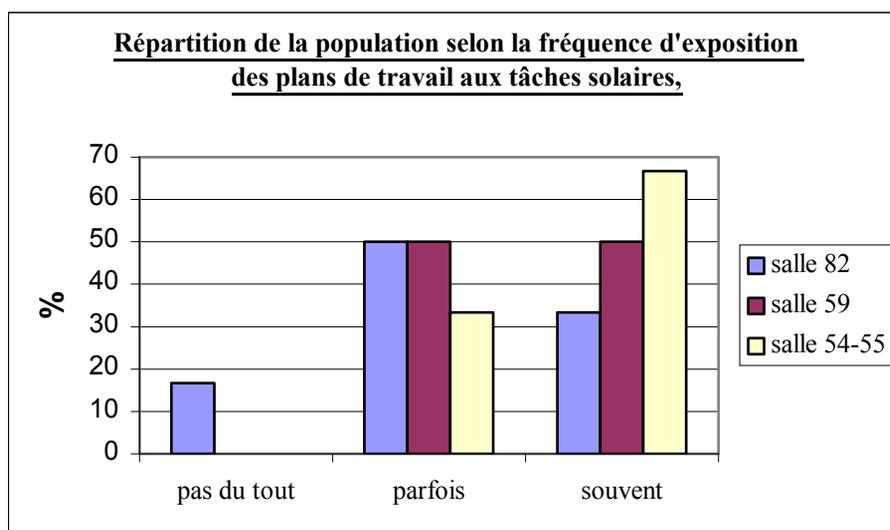


Réponse	salle 82		salle 59		salle 54-55		TOTAL	
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
<b>Insuffisante</b>	0	0	0	0	0	0	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Peu suffisante</b>	0	0	0	0	1	8,33	<b>0</b>	<b>2,78</b>
<b>Suffisante</b>	4	33,33	6	50	4	33,33	<b>14</b>	<b>38,89</b>
<b>Très suffisante</b>	6	50	5	41,67	5	41,67	<b>16</b>	<b>44,44</b>
<b>Excessive</b>	2	16,67	1	8,33	2	16,67	<b>5</b>	<b>13,89</b>
<b>total</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>36</b>	<b>100</b>

**Tableau n°7.4: Répartition des occupants selon l'appréciation de la lumière naturelle disponible en été dans les salles de cours respectives.**

Le tableau n° 7.4 indique que 83,33% des occupants trouvent la lumière naturelle disponible dans les trois salles de cours types suffisante ou très suffisante en période estivale. Tandis que 13,89% d'entre eux la trouve plutôt excessive. Seuls 2,78% la trouve peu suffisante.

En comparant les résultats des trois salles de cours types, nous remarquons que la salle de cours n°59, d'après 91,67% de ses usagers déclarant que la lumière naturelle y est suffisante ou très suffisante, dispose d'un éclairage naturel optimum pendant la période estivale. Vient ensuite la salle n° 82 (avec 83,33%) et enfin la salle n° 54-55 (avec 75%). Notons également que certains usagers se plaignent d'éclairage naturel excessif, notamment dans les salles 82 et 54-55.

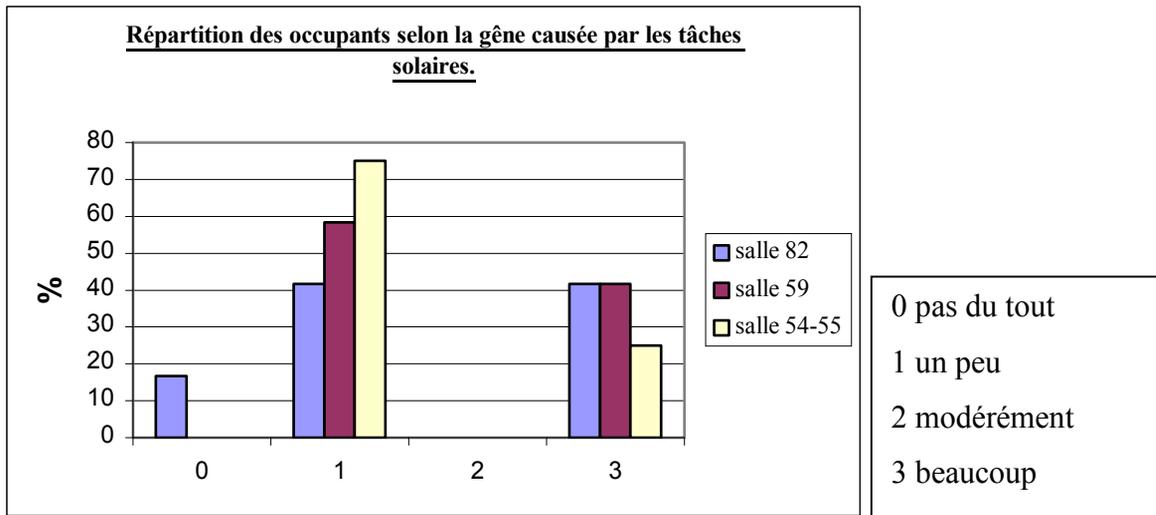


Réponse	salle 82		salle 59		salle 54-55		TOTAL	
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
<b>pas du tout</b>	2	16,67	0	0	0	0	<b>2</b>	<b>5,56</b>
<b>parfois</b>	6	50	6	50	4	33,33	<b>16</b>	<b>44,44</b>
<b>souvent</b>	4	33,33	6	50	8	66,67	<b>18</b>	<b>50</b>
<b>total</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>36</b>	<b>100</b>

**Tableau n°7.5 : Répartition de la population selon la fréquence d'exposition des plans de travail aux tâches solaires.**

Le tableau n°7.5 indique que 50% de l'ensemble des usagers interrogés reçoivent **souvent** des tâches solaires sur leurs tables de travail. 44,44% déclarent les recevoir **parfois** et 5,56% affirment qu'ils n'en reçoivent pas du tout.

En comparant les réponses des usagers des trois salles de cours types, nous constatons que c'est dans la salle n°54-55 (d'après 66,67% de ses occupants déclarant recevoir **souvent** les tâches solaires sur leurs tables) et la salle n° 59 (selon 50% de ses usagers déclarant recevoir **souvent** les tâches solaires sur leurs tables) que les tâches solaires sont les plus fréquentes sur les plans de travail des étudiants et des enseignants. Tandis qu'elles sont moins présentes dans la salle n° 82 où 16,67% des occupants déclarent ne pas en recevoir du tout. Ce constat est en rapport direct avec l'aménagement des salles de cours.



Réponse	salle 82		salle 59		salle 54-55		TOTAL	
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
Pas du tout	2	16,67	0	0	0	0	2	5,56
Un peu	5	41,67	7	58,33	9	75	21	58,33
Modérément	0	0	0	0	0	0	0	0
Beaucoup	5	41,67	5	41,67	3	25	13	36,11
<b>total</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>36</b>	<b>100</b>

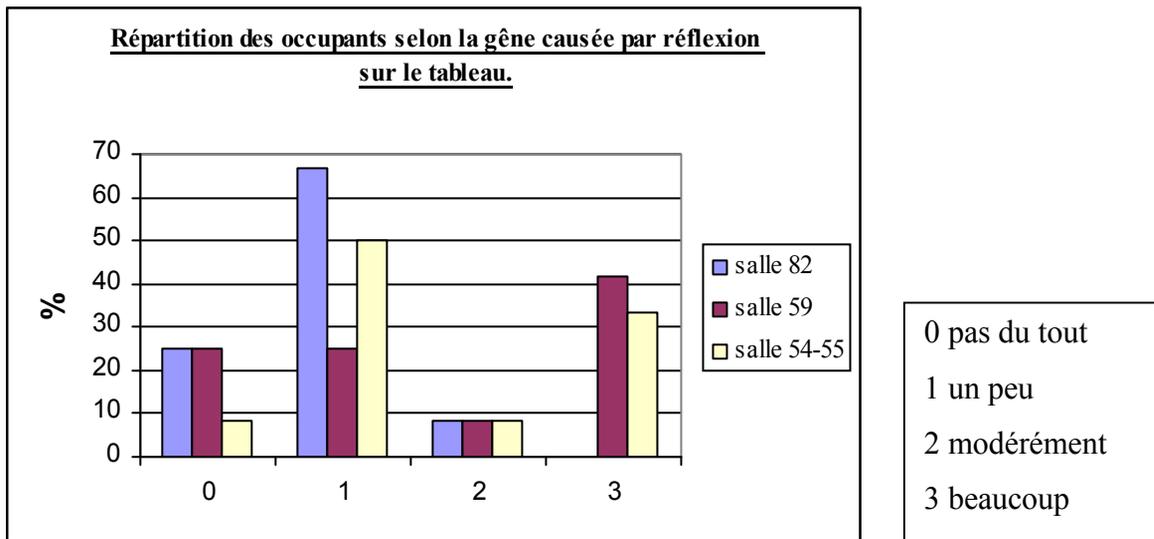
**Tableau n°7.6: Répartition de la population selon la gêne causée par les tâches solaires.**

Le tableau n° 7.6 démontre que 58,33 % de l'ensemble des occupants interrogés déclarent que la présence des tâches solaires sur leur plan de travail les gêne **un peu** dans l'exécution de leurs tâches visuelles. Tandis que 36,11% y sont **beaucoup** gênés et 5,56% affirment ne pas l'être du tout.

La comparaison des résultats entre les trois salles de cours types indique que les usagers des salles n° 59 et n° 82 sont les plus gênés par la présence des tâches solaires sur les plans de travail puisqu'elles les perturbent dans l'exécution des tâches visuelles. Ceux de la salle n° 54-55 le sont moins. Ceci dépend de facteurs physiologiques et psychologiques propres à chaque occupant.

Le comportement des usagers face à cette gêne se traduit par:

- le déplacement des étudiants vers une autre table plus confortable dans la salle.
- le déplacement de la table dans une zone ombrée de la salle.
- le déplacement incessant de l'enseignant d'un endroit à un autre de la salle.

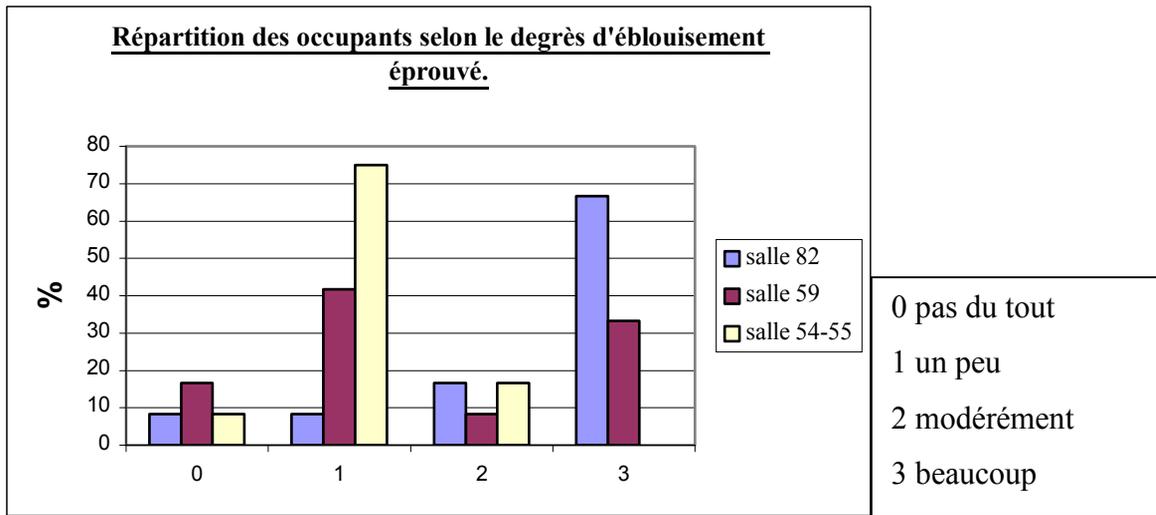


Réponse	salle 82		salle 59		salle 54-55		TOTAL	
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
Pas du tout	3	25	3	25	1	8,33	7	19,44
Un peu	8	66,67	3	25	6	50	17	47,22
Modérément	1	8,33	1	8,33	1	8,33	3	8,33
Beaucoup	0	0	5	41,67	4	33,33	9	25
<b>total</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>36</b>	<b>100</b>

**Tableau n°7.7: Répartition de la population selon la gêne causée par la réflexion des rayons solaires sur le tableau.**

Le tableau n°7.7 démontre que 25% de l'ensemble des usagers interrogés sont très gênés par les réflexions des rayons solaires sur le tableau, et à un degré supérieur les enseignants. 8,33% le sont modérément, 47,22% le sont un peu et 19,44% affirment ne pas être du tout gêné. Ceci dépend également de facteurs physiologiques et psychologiques propres à chaque usager.

En comparant les réponses des occupants des trois salles de cours types, nous constatons que les usagers des salles n° 59 et n° 54-55 souffrent le plus de la réflexion des rayons solaires directes sur le tableau. Tandis que ceux de la salle n° 82, dont 91,67% ont déclaré être pas ou peu gênés, en sont beaucoup moins touchés. L'aménagement des salles de cours est l'un des facteurs déterminants puisque les tableaux dans les salles 59 et 54-55 sont accrochés à des parois ensoleillées en équinoxe et en été.

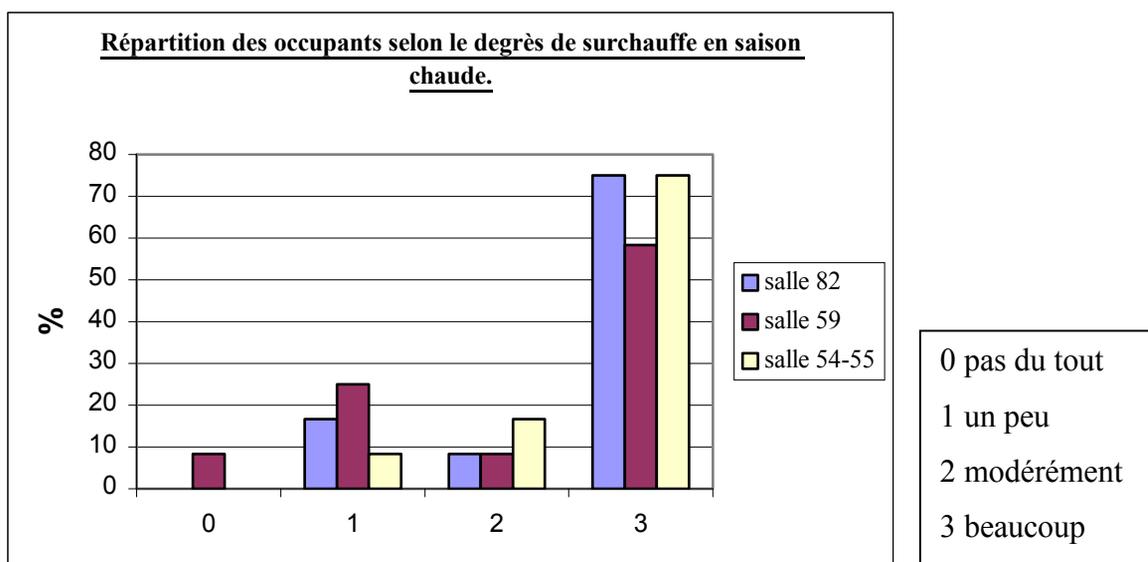


Réponse	salle 82		salle 59		salle 54-55		TOTAL	
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
Pas du tout	1	8,33	2	16,67	1	8,33	4	11,11
Un peu	1	8,33	5	41,67	9	75	15	41,67
Modérément	2	16,67	1	8,33	2	16,67	5	13,89
Beaucoup	8	66,67	4	33,33	0	0	12	33,33
<b>total</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>36</b>	<b>100</b>

**Tableau n°7.8: Répartition de la population selon le degré d'éblouissement.**

De ce tableau n° 7.8, il ressort que 41,67% de l'ensemble des usagers interrogés souffrent un **peu** de l'éblouissement, 33,33% en souffrent **beaucoup**, 13,89% en souffrent **modérément** et seul 11,11% déclarent ne pas en souffrir du tout. Selon les usagers, les sources de ce phénomène sont, par ordre: le soleil, les fenêtres, les appareils d'éclairage électrique, les réflexions du tableau et les réflexions des parois internes.

De l'avis des usagers interrogés dans les trois salles de cours types, le phénomène de l'éblouissement est particulièrement présent dans les deux salles n° 82 et n° 59 et beaucoup moins en salle n° 54-55 où 83,33% des occupants ont déclaré être peu ou pas du tout exposé à ce phénomène puisque l'ensemble des vitrages zénithaux et latéraux sont disposés parallèlement à leur direction du regard.

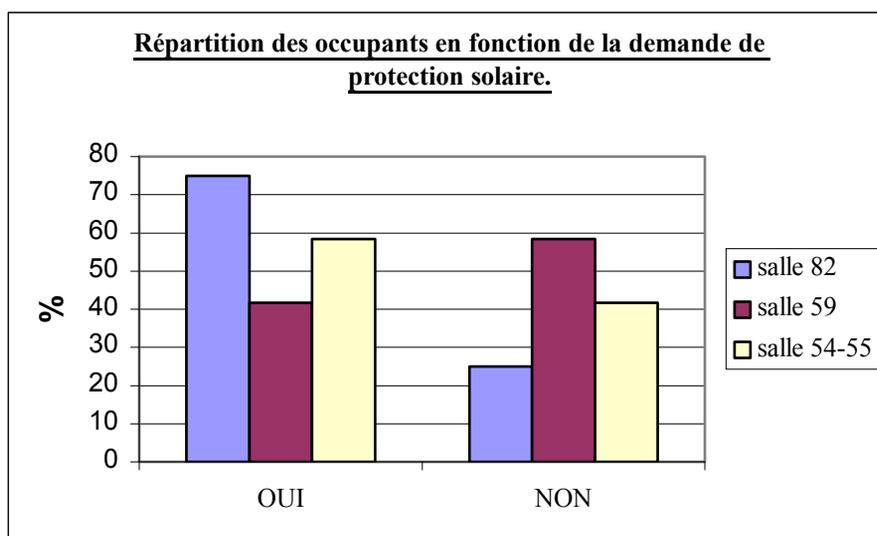


Réponse	salle 82		salle 59		salle 54-55		TOTAL	
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
Pas du tout	0	0	1	8,33	0	0	<b>1</b>	<b>2,78</b>
Un peu	2	16,67	3	25	1	8,33	<b>6</b>	<b>16,67</b>
Modérément	1	8,33	1	8,33	2	16,67	<b>4</b>	<b>11,11</b>
Beaucoup	9	75	7	58,33	9	75	<b>25</b>	<b>69,44</b>
<b>total</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>36</b>	<b>100</b>

**Tableau n°7.9: Répartition de la population selon le degrés de surchauffe en saison chaude.**

Le tableau n° 7.9 indique que 69,44% de l'ensemble des occupants interrogés trouvent les salles de cours types très inconfortables du point de vue thermique en saison chaude (apport de chaleur important en été et en équinoxe). 27,78% les trouvent peu à moyennement inconfortables, tandis que 2,78% (soit une personne) affirme les trouver confortables thermiquement.

Le graphe de comparaison entre les trois salles de cours types démontre que les salles n° 54-55 et n° 82 sont plus exposées à la surchauffe en saison chaude que la salle de cours 59.



Réponse	salle 82		salle 59		salle 54-55		TOTAL	
	nombre	%	nombre	%	nombre	%	nombre	%
OUI	9	75	5	41,67	7	58,33	28	77,78
NON	3	25	7	58,33	5	41,67	8	22,22
<b>total</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>12</b>	<b>100</b>	<b>36</b>	<b>100</b>

**Tableau n°7.10: Répartition de la population en fonction de la demande de protection solaire.**

77,78% de l'ensemble des usagers interrogés voudraient introduire un système de contrôle solaire afin de réguler la pénétration des rayons solaires directs à travers les vitrages. Certains ont proposé des rideaux, des stores vénitiens, des films protecteurs sombres ou bien l'usage de verre fumé.

D'après le graphe, nous remarquons que la demande d'un système de protection solaire est plus fréquente en salles 82 et 54-55. Elle l'est moins en salle n° 59 où 58,33% des occupants jugent inutile de recourir à un tel dispositif.

La notion de confort visuel est évoquée par des normes et des recommandations qui précisent des valeurs limites au delà desquelles le sujet éprouvera une sensation d'inconfort visuel. Ces données sont significatives pour la pratique de la conception mais leurs aspects quantitatifs sont partiels et ne nous semblent pas suffisants pour la description et l'évaluation complète d'un dispositif d'éclairage. Pour cela, nous avons procédé à une analyse à la fois quantitative et qualitative du dispositif d'éclairage zénithal indirect des salles de cours du bloc des lettres de l'université de Constantine.

Comme nous l'avons précisé dans le chapitre III consacré au «confort lumineux», l'analyse quantitative de l'éclairage naturel d'un local s'appuie sur deux indicateurs :

1. l'éclairement lumineux.
2. le facteur de lumière du jour.

Quant à l'analyse qualitative, elle s'appuie sur trois indicateurs :

1. l'uniformité de l'éclairage.
2. l'absence d'éblouissement.
3. l'absence d'ombre gênante.

### **1-Analyse quantitative de l'éclairage naturel des salles de cours types:**

Pour l'analyse quantitative, nous avons procédé à la comparaison des valeurs résultantes des mesures in situ, aux valeurs recommandées par l'association française « Promotelec » spécialisée dans l'éclairage des salles de classe. Notons que, suite au manque de la réglementation algérienne en matière d'éclairage dans le bâtiment, nous nous sommes référés à la réglementation française car d'une part, son climat lumineux se rapproche du climat lumineux algérien de part sa position géographique (les moyennes latitudes). D'autre part, nous avons constaté que la réglementation algérienne dans le domaine de la construction, a déjà des fondements de base sur la réglementation française.

#### **1.1-Analyse de l'indicateur « éclairage lumineux »:**

##### **1.1.1-Eclairement lumineux horizontal sur plan utile :**

En nous basant sur le fait que l'éclairement moyen général recommandé par le label Promotelec<sup>1</sup> sur le plan utile est de **500 Lux**, nous pouvons relever les points suivants :

---

<sup>1</sup> Association PROMOTELEC. Label PROMOTELEC éclairage des salles de classe : Cahier des prescriptions., Paris : Promotelec. Septembre 2002, p 5.

#### a- Pendant la période hivernale :

Sous les conditions du ciel clair serein, l'éclairement lumineux moyen sur plan utile est suffisant dans les trois salles de cours durant la matinée à 9GMT lorsqu' il y a une pénétration directe des rayons solaires à travers les vitrages qui sont orientés vers l'Est. A partir de 11 GMT, les éclairagements lumineux chutent car l'éclairage naturel devient complètement diffus, mais il demeure toutefois suffisant dans la salle de cours n° 82 grâce à la réflectance élevée des parois internes. Le recours à l'éclairage mixte devient donc indispensable dans les salles n°59 et n°54-55 durant l'après midi.

Sous les conditions du ciel couvert, l'éclairement lumineux sur plan utile des trois salles de cours est constamment insuffisant. Sous le ciel extrêmement couvert de 5000 lux, l'éclairement horizontal du plan utile des trois salles est alors très insuffisant, notamment dans la salle n°54-55 ( $E_{\text{moyen}}=60\text{Lux}$ ). Ce manque de lumière provoque une fatigue visuelle accrue car l'œil fournit un effort important pour exécuter les tâches requises (voir tableau n°8.1). Le recours à l'éclairage électrique est donc indispensable sous les conditions du ciel couvert d'hiver.

Les réponses subjectives des occupants recueillies par le biais du questionnaire insistent sur le fait que la lumière naturelle en hiver est peu à très insuffisante (Tableau 7.3).

#### b-En équinoxe :

Sous les conditions du ciel clair serein, l'éclairement lumineux du plan de travail est suffisant dans les trois salles de cours pendant toute la journée. Il est même excessif durant la matinée à 9GMT à cause de l'ensoleillement direct des parois internes, plus particulièrement dans la salle de cours n° 82 ( $E_{\text{moyen}}=4585\text{ Lux}$ ). Ces niveaux d'éclairement lumineux intenses présentent un risque d'inconfort dû à la saturation et peuvent provoquer l'éblouissement des occupants.

Sous ciel couvert, l'éclairement lumineux sur plan utile est suffisant sauf dans les salles de cours n° 59 et 82 à 9GMT pour un éclairement lumineux extérieur inférieur à 10.000 Lux (voir Tableau n°8.2).

#### c-En période estivale :

L'éclairement lumineux du plan utile est suffisant sous les conditions du ciel couvert, du ciel semi couvert et du ciel clair serein dans les trois salles de cours car les ouvertures qui sont orientées vers l'Est, reçoivent le maximum d'irradiation solaire en été (voir Tableau n°8.3). Il est même très excessif durant la matinée à 9GMT lorsqu'il y a ensoleillement

direct des parois internes, surtout dans la salle n° 82 ( $E_{\text{moyen}} = 5082$  Lux). Les réponses subjectives des occupants confirment les observations objectives collectées par les mesures (Tableau 7.4).

En résumé, nous pouvons dire que sous les conditions du ciel clair serein en équinoxe et en solstice d'été, il y a un **ensoleillement direct** durant la matinée dans les salles de cours du bloc des lettres. En effet, les lanterneaux verticaux orientés vers l'Est, laissent pénétrer la lumière solaire directe durant toute la matinée sous des angles d'incidence proche de la normale. Ceci provoque des éclaircissements lumineux excessifs et des contrastes importants qui conduisent souvent à une sensation d'inconfort visuel dû à la saturation et même à l'éblouissement des occupants. Conséquence de cet ensoleillement direct, nous avons observé sur les parois des locaux, l'effet de « **tâches solaires** » car la pénétration directe des rayons solaires à l'intérieur des salles de cours, génère des motifs d'ombres et de lumière qui se projettent sur le sol, les murs, le tableau et les pupitres. Ces tâches évoluent et changent de position durant la journée et durant les différentes saisons de l'année, selon l'angle d'incidence des rayons solaires. Ces jeux de tâches solaires constituent un intéressant moyen d'utiliser la lumière naturelle et en particulier la lumière solaire directe pour transformer et articuler l'espace de manière dynamique<sup>2</sup>. Mais elles sont surtout des sources d'inconfort visuel intense, comme l'ont exprimé 36,11% des usagers interrogés et d'inconfort thermique important, comme l'ont relevé 69,44% de ces mêmes usagers.

Face à la présence de ces tâches solaires, les occupants, dont 72,22% ne supportent pas la présence des rayons solaires directs dans leur champs de vision, affichent un comportement particulier se traduisant par:

- le déplacement de l'étudiant vers une autre table plus confortable dans la salle.
- le déplacement de la table dans une zone ombrée de la salle.
- le déplacement incessant de l'enseignant d'un côté à un autre de la salle.

Pour d'autres, ils essaient d'ignorer cet inconfort visuel et se concentrent sur la tâche visuelle à accomplir.

Dans d'autres salles de cours du bloc des lettres de l'université, certaines solutions plus radicales ont été apportées suite aux plaintes des usagers. Pour certaines, les vitrages ont été occultés par des films teintés ou opacifiés par de la peinture blanche (voir photo 8.1).

---

<sup>2</sup> **Laboratoire CERMA**. « Jeux de tâches solaires ». Ecole d'Architecture de Nantes [En ligne] <http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/effet/jts.html> (Page consultée le 25 octobre 2004)

Pour d'autres, les parties opaques des lanterneaux verticaux ont été peintes en bleu pour diminuer les réflexions vers la partie inférieure des salles (Photo 8.1).

**Photo n° 8.1:**



Nous avons constaté également que, suite à la directivité de la lumière naturelle due à la mono exposition des vitrages des lanterneaux verticaux, la partie ouest des salles de cours est toujours plus éclairée que la partie Est, que les éclairagements lumineux chutent à proximité des parois internes et que **l'éclairage du fond** des salles de cours n° 59 et 54-55 est toujours faible malgré la présence des ouvertures latérales (hublots). L'apport de ces dernières en matière d'éclairage naturel est très réduit à cause de leur taille et de leur position dans le mur de fenestration. Leur rôle est surtout d'ordre psychologique car elles permettent la liaison visuelle entre l'intérieur et l'extérieur des espaces. Afin de renforcer l'éclairage du fond, il est recommandé de prévoir des ouvertures latérales de complément sur la paroi Est de plus grandes surfaces, positionnées en hauteur pour faire face à des luminances plus élevées du ciel et de forme continue (bande horizontale) qui, d'après K. ROBERTSON<sup>3</sup> sont plus efficace que des ouvertures de forme circulaire ou elliptique.

### **1.1.2-L'éclairage lumineux vertical du tableau :**

L'éclairage lumineux vertical recommandé pour l'éclairage du tableau d'une salle de classe est d'au moins **600Lux**<sup>4</sup>. D'après cette valeur, nous remarquons que :

a- En hiver et en équinoxe, l'éclairage lumineux vertical du tableau est suffisant dans les trois salles de cours uniquement sous les conditions du ciel clair serein durant la matinée à 9GMT lorsqu'il y a une pénétration des rayons solaires directs, et parfois dans la salle n° 59 suite à l'effet directif de la lumière naturelle vers le plan vertical ouest sur lequel s'accroche le tableau (voir Tableau n°8.1 et 8.2).

<sup>3</sup> ROBERTSON, K. Guide sur l'éclairage naturel des bâtiments, Ontario : SCHL- CMHC, 2003, p 13.

<sup>4</sup> Association PROMOTELEC. Label PROMOTELEC éclairage des salles de classe : Cahier des prescriptions. Paris : Promotelec, Septembre 2002, p 6.

b- En été, l'éclairage lumineux vertical du tableau est très suffisant dans les trois salles de cours sous ciel clair serein durant la matinée à 9GMT et parfois dans la salle n° 82 sous ciel couvert (voir Tableau n°8.3).

Il s'avère donc nécessaire d'améliorer l'éclairage vertical du tableau dans les trois salles de cours sous les conditions d'éclairage diffus, par un dispositif d'éclairage électrique indépendant de l'éclairage général.

Il faut souligner aussi que, dans le cas des lanterneaux verticaux orientés, la position du tableau dans la salle de classe et l'orientation de la paroi interne sur laquelle il est accroché, influent sur la quantité de l'éclairage dont il dispose. Dans le cas présent, le tableau est mieux éclairé lorsqu'il est accroché à la paroi verticale Ouest vers laquelle convergent les rayons lumineux, comme c'est le cas de la salle n° 59 ; que lorsqu'il est accroché à la paroi verticale Est, comme c'est le cas de la salle n° 82.

### **1.2-Analyse du « Facteur de Lumière du Jour »:**

Il est important de rappeler, d'une part, que le facteur de lumière du jour minimum recommandé dans une salle de classe est de **2%** <sup>(5)</sup>. A partir de cette donnée, nous avons constaté que :

a- Au solstice d'hiver et en équinoxe: le facteur de lumière du jour minimum dans les salles de cours n° 54-55 et 59 est toujours inférieur à 2%. Tandis qu'il est pratiquement toujours supérieur à cette valeur dans la salle n° 82 (voir Tableau n°8.1 et 8.2).

b- En solstice d'été : sous ciel couvert, le facteur de lumière du jour minimum dans les trois salles est toujours inférieur à 2%. Tandis que sous ciel clair serein, il est pratiquement toujours supérieur à cette valeur dans les salles n° 82 et 59 (voir Tableau n°8.3).

D'autre part, le facteur de lumière du jour moyen ( $FLJ_{\text{moyen}}$ ) recommandé dans une salle de classe est de **5%** <sup>(6)</sup>. A partir de cette recommandation, nous avons constaté que:

a- En hiver : le facteur de lumière du jour moyen dans les trois locaux est toujours inférieur à 5% sauf sous les conditions du ciel clair serein à 14GMT dans les salles de cours n° 59 et 82 (voir Tableau n°8.1).

---

<sup>5</sup> **Chartered Institution of Building Services Engineers.** Applications manual: Window design. London: CIBSE. 1987, p31.

<sup>6</sup> **Idem,** p31.

b- En équinoxe : le Flj moyen est supérieur à la valeur recommandée sous les conditions du ciel clair serein dans la salle de cours n° 82 et ce pendant toute la journée, et sous ciel couvert à 9 GMT dans la salle n° 54-55 (voir Tableau n°8.2).

c- En été : le Flj moyen est supérieur à 5% sous les conditions du ciel clair serein à 9GMTet à 14GMT dans les trois salles de cours et dans la salle n° 82 durant toute la journée (voir Tableau n°8.3).

Nous avons observé également que l'éclairage naturel des trois salles de cours est « **contrasté** » durant la matinée sous les conditions du ciel clair serein d'été. En effet, les salles de cours disposent de zones lumineuses et de zones d'ombre suffisamment différenciées pour être visuellement distinguées. En termes physiques, cette différence perceptive correspond à des écarts de facteurs de lumière du jour supérieurs à 5%<sup>(7)</sup>. Ici, la pénétration de la lumière solaire directe a tendance à provoquer d'importants contrastes, surtout dans les salles de cours n° 54-55 ( $\Delta Flj=8,89\%$ ) et n°59 ( $\Delta Flj=7,57\%$ ) à cause des revêtements intérieurs (facteurs de réflexion faible).

## **2- Analyse qualitative de l'éclairage naturel des salles de cours types:**

Le système d'éclairage naturel zénithal indirect, proposé par Niemeyer pour l'éclairage des salles de cours du bloc des lettres, est un dispositif orienté vers une seule direction (mono exposé). Cette caractéristique est déterminante pour la qualité de l'éclairage fourni.

### **2.1-Analyse de l'uniformité de l'éclairage naturel:**

#### **2.1.1-l'uniformité de l'éclairage général :**

D'une manière générale et en nous basant uniquement sur les caractéristiques géométriques des lanterneaux verticaux, il ressort que si nous considérons le ratio  $e/H=2,5/3,25=0,76 \leq 2$ , l'éclairage naturel disposé par les lanterneaux verticaux dans les salles de cours du bloc des lettres est uniforme<sup>8</sup>, ceci d'une part.

D'autre part, selon les recommandations de la Commission Belge de l'Eclairage Naturel<sup>9</sup>, si nous considérons que la hauteur du lanterneau ( $h=1,50m$ ) est supérieure à sa largeur

<sup>7</sup> **Laboratoire CERMA.** « Eclairage contrasté ». Ecole d'Architecture de Nantes [En ligne] <http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/effet/Ec.html> (Page consultée le 20 avril 2005)

<sup>8</sup> **SZOKOLAY.S V.** *Environmental science handbook: for architects and builders.* Lancaster-London-New York : The Construction Press. 1980, p105.

<sup>9</sup> **A. VANDENPLAS.** *Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel: L'éclairage naturel et ses applications.* Bruxelles : SIC, 1964, p124.

( $w=1,12m$ ) et que le pas des lanterneaux ( $e=2,5m$ ) est supérieure au double de sa largeur ( $2w= 2,24m$ ), l'éclairage naturel procuré par le dispositif est non uniforme.

En nous basant sur les mesures réelles prises sur site et sur le principe de l'« Indice d'uniformité » de l'éclairage général, qui doit être supérieur ou égal à **0.8**, critère qui garantit qu'aucun étudiant dans la salle ne dispose d'éclairement inférieur à 80% de l'éclairement moyen<sup>10</sup>, les salles de cours 54-55 et 59 bénéficient d'un éclairage non uniforme tout au long de l'année contrairement à la salle de cours 82 qui dispose d'un éclairage uniforme (voir Tableaux n°8.1, 8.2 et 8.3).

### **2.1.2-l'uniformité de l'éclairage naturel du tableau :**

La position des lanterneaux verticaux par rapport au tableau, influe sur l'uniformité de son éclairage. Dans le cas où les lanterneaux sont parallèles au tableau, son éclairage est uniforme, comme c'est le cas dans les salles de cours n° 59 et 82. Par contre, quand ils sont perpendiculaires, l'éclairage du tableau est affecté par la directivité de la lumière naturelle et son éclairage est alors non uniforme : c'est le cas de la salle de cours n°54-55.

Il faut souligner également que le niveau de lumière sur le plan vertical du tableau, doit être aussi voisin que possible de celui réalisé sur les tables, de manière à ne pas fatiguer excessivement la vue par modification des conditions d'adaptation lorsqu'on passe de la vision au tableau à celle de la table<sup>11</sup>.

### **2.2-Analyse de l'éblouissement :**

Les lanterneaux verticaux monoexposés présentent d'habitude de nombreux avantages liés au contrôle de l'éblouissement, du fait notamment, que la surface apparente de la source lumineuse est plus réduite que dans le cas d'un lanterneau horizontal par exemple<sup>12</sup>. L'interférence de l'élément opaque entre la source lumineuse primaire et le point ou la surface de réception considérée est sensé aussi réduire considérablement les risques d'éblouissement, à condition de ne pas employer des revêtements trop réfléchissants.

---

<sup>10</sup> **Association PROMOTELEC.** Label PROMOTELEC éclairage des salles de classe : Cahier des prescriptions. Paris : Promotelec. Septembre 2002, p 5.

<sup>11</sup> **A. VANDENPLAS.** Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel: L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : SIC, 1964, p126.

<sup>12</sup> **Laboratoire CERMA :** « Eclairage contrasté ». Ecole d'Architecture de Nantes [En ligne] <http://audience.cerma.archi.fr/cerma/pageweb/effet/Ei.html> (Page consulté le 25 avril 2005)

Dans le cas des salles de cours du bloc des lettres, les contrastes d'éclairement et les tâches solaires observées durant la matinée en équinoxe et en solstice d'été sont au contraire un facteur d'aggravation du potentiel d'éblouissement.

D'autre part, la position des vitrages zénithaux dans le champs de vision des usagers, qui sont perpendiculaires à la direction du regard des étudiants dans la salle n° 82 et de l'enseignant dans la salle n° 59, provoque l'éblouissement direct comme l'ont exprimé 33.33% des occupants interrogés. Notons également que la position des luminaires de l'éclairage électrique provoque aussi des reflets gênants chez les étudiants, car ils sont perpendiculaires à la direction de leur regard.

### **2.3-Analyse des ombres gênantes :**

Lorsque les ouvertures latérales du fond des salles de cours sont directement ensoleillées, ils présentent un risque d'ombres gênantes sur les plans de travail des étudiants disposés à proximité du mur de fenestration car les rayons solaires sont dirigés dans leurs dos<sup>13</sup>, comme c'est le cas dans les salles de cours n° 59 et n° 82. Dans la salle n° 54-55, ce risque existe également car les ouvertures latérales sont positionnées du côté droit des étudiants<sup>14</sup>.

Même la pénétration des rayons solaires à travers les vitrages zénithaux provoque un effet d'ombres portées sur les plans de travail qui peut être corrigé, selon A. VANDENPLAS<sup>15</sup> en utilisant des verres diffusant et en peignant de couleur claire les rampants des lanterneaux.

---

<sup>13</sup> **DE HERDE, André et al.** « Confort visuel ». Université Catholique de Louvain La Neuve [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be) (Page consultée le 13 octobre 2004).

<sup>14</sup> **Association Française de l'Eclairage.** Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris:LUX, 1987, p13.

<sup>15</sup> **A. VANDENPLAS.** Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel: L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : SIC, 1964, p124.







### **3-Discussion :**

L'analyse des cinq indicateurs précédents nous a permis d'identifier clairement les paramètres influençant les conditions d'éclairage naturel des salles de cours du bloc des lettres, à savoir:

1. la surface vitrée.
2. l'orientation des ouvertures.
3. les occultations.
4. la couleur des surfaces internes.

#### **3.1-Paramètre « indice de vitrage » :**

Une règle empirique simple permet d'évaluer grossièrement l'indice de vitrage nécessaire pour un éclairage naturel suffisant d'un local en fonction du facteur de lumière du jour recommandé pour ce type de local. Pour ce qui est des lanterneaux verticaux :

$$I_v = 6 \times Fl_j \text{ moyen} \dots \dots \dots [16]$$

Or, pour obtenir un facteur de lumière du jour moyen égal à 5% dans une salle de classe, il faut que l'indice de vitrage  $I_v$  soit égal à 30%, c'est-à-dire qu'il faut prévoir  $1\text{m}^2$  de vitrage pour  $3,33\text{ m}^2$  de surface au sol.

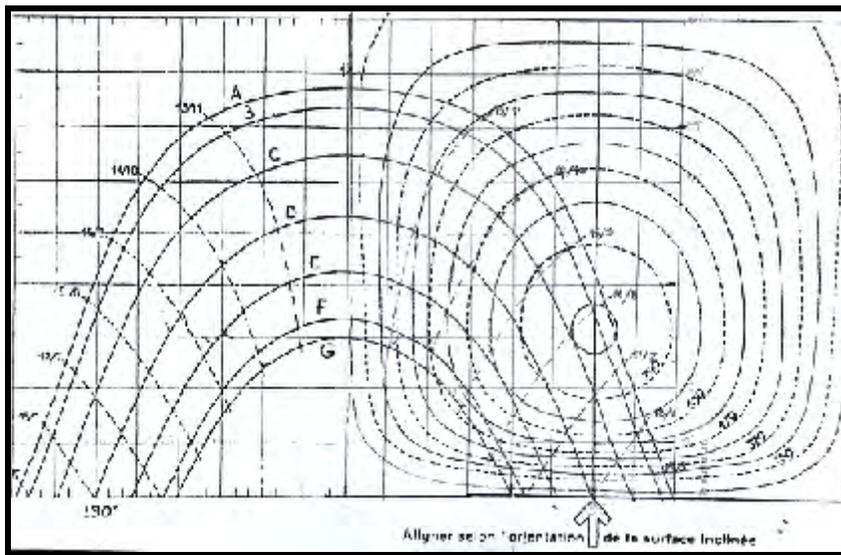
Concernant les salles de cours du bloc des lettres, la proportion des vitrages est supérieure à cette valeur, et c'est ce qui provoque un inconfort visuel et thermique durant la saison chaude qui est en relation directe avec le paramètre de l'orientation.

#### **3.2-Paramètre « orientation » :**

La caractéristique principale à relever en matière d'orientation, c'est qu'un plan vertical orienté Est reçoit le maximum d'irradiation solaire en été, entre 7h et 8h GMT (Figure 8.1). Cet apport est non désiré durant cette saison chaude et procure un éclairement excessif durant la matinée qui chute considérablement l'après midi, alors que l'occupation des salles de cours se prolonge jusqu'à 17h GMT.

---

<sup>16</sup> Société Saint Gobain. Les verres et le rayonnement naturel, Paris : Saint-Gobain, p26.



**Figure 8.1 : Énergie atteignant une fenêtre Est à 36°,17' de latitude Nord.**

Source : Auteur, 2005.

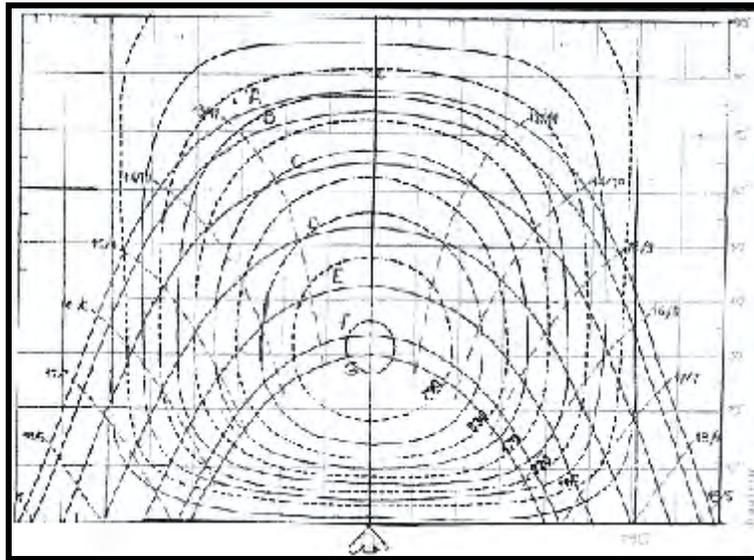
De même que l'orientation Est des vitrages des lanterneaux verticaux présente l'inconvénient suivant: à savoir la pénétration des rayons solaires directs sous des incidences proches de la normale aux vitrages qui sont par conséquent difficiles à protéger. Sachant que la pénétration de la lumière solaire est inadmissible dans une salle de classe pour des hauteurs solaires inférieures à 22,5°.<sup>17</sup>

Pour toutes ces raisons, le courant « bioclimatique » a remis « l'exposition Sud » à la mode pour mieux capter l'énergie solaire en hiver et offrir les apports solaires les plus faibles en été<sup>18</sup> (Figure 8.2). Mais pour réduire la directivité des lanterneaux verticaux, la biexposition Sud –Nord semble être plus favorable dans un climat tel que celui de Constantine car elle supprime cet effet en permettant à la lumière de se propager dans les deux sens<sup>19</sup>.

<sup>17</sup> The 1945 BS Code of practice in ROUAG, Djamila. Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse de Doctorat, Constantine: Université Mentouri de Constantine, Avril 2001, p 126.

<sup>18</sup> IZARD, Jean Louis. Architecture d'été : construire pour le confort d'été. Aix-En-Provence : EDISUD, 1993, p24.

<sup>19</sup> Idem, p79.



**Figure 8.2 : Énergie atteignant une fenêtre Sud à 36°,17' de latitude Nord.**

Source : Auteur, 2005.

### **3.3-Paramètre « occultation » :**

Sous les climats des basses et moyennes latitudes, les lanterneaux verticaux doivent être associés impérativement à différents types de dispositifs de régulation de l'éclairage naturel tels notamment des bandeaux réflecteurs, des treillis zénithaux, des brise-soleil, des auvents, ...etc, afin d'augmenter leurs performances lumineuses.

L'absence d'un tel dispositif dans les salles de cours du bloc des lettres induit des surchauffes estivales et une pénétration des rayons solaires indésirable et nuisible du point de vue lumineux. Dans ce cas, la meilleure solution consiste sans doute à l'usage d'« occultations réglables ou mobiles », comme l'ont exprimé 77.78% des usagers interrogés. Ce type d'occultation peut être manœuvré de manière à suivre les modifications d'exigence à volonté, surtout lorsque les variations des conditions climatiques sont importantes d'une saison à une autre, ou même dans une même journée, d'une heure à une autre, à cause de la trajectoire solaire qui varie. Elles sont recommandées là où les exigences peuvent parfois se trouver en contradiction et possèdent l'avantage de laisser à l'occupant le soin de doser de manière optimale l'énergie solaire entrant dans les locaux, surtout dans les périodes de mi-saison<sup>20</sup>. On citera comme exemple d'occultations réglables : les rideaux et les stores.

L'efficacité des occultations réglables dépend de leur position par rapport au vitrage (extérieur, intérieur ou intermédiaire), de leur couleur et des conditions de ventilation.

<sup>20</sup> IZARD, Jean louis et GUYOT. Archi bio. Paris : Edition Parenthèses, 1979, p 63.

Selon une étude effectuée par le laboratoire de recherche de l'ASHRAE<sup>21</sup> de Cleveland (USA), qui consistait à mesurer les facteurs d'occultation de différents complexes vitrage-occultation selon leur position par rapport au vitrage et de leur couleur (facteur de réflexion), il est ressorti que :

- 1-Les systèmes extérieurs sont plus efficaces que les systèmes intérieurs.
- 2-La différence d'efficacité entre les systèmes extérieurs et intérieurs s'élargit lorsque la couleur des écrans est plus sombre :
- 3-Pour les systèmes extérieurs, leur efficacité augmente lorsque la couleur est plus sombre, mais elle ne se traduit qu'avec les fenêtres fermées car avec les fenêtres ouvertes, l'effet de la couleur dépend principalement de l'orientation du vitrage par rapport à la direction du vent qui ne doit pas être réchauffé par l'écran avant de pénétrer dans le local.
- 4-Quant aux systèmes intérieurs, leur efficacité augmente lorsque la couleur est plus claire (facteur de réflexion élevé).
- 5-Avec une occultation efficace (volets extérieurs), il est possible d'éliminer plus de 90% de l'effet calorifique du rayonnement solaire.
- 6-Enfin, avec une occultation inefficace (système intérieur de couleur sombre), il faut s'attendre à ce que 75 à 80% du rayonnement incident pénètre dans le bâtiment.

### **3.4-Paramètre « couleur » :**

Le paramètre principal qui affecte la distribution de la lumière naturelle dans un local, surtout dans le cas d'un dispositif d'éclairage indirect, est le « facteur de réflexion interne » du local ; c'est-à-dire la couleur des surfaces intérieures.

MILLET, MOORE et LAKIN<sup>22</sup> ont testé l'influence de la réflectance des surfaces d'un local lors d'une étude sur l'impact des brises soleil sur la distribution de la lumière naturelle. En testant un local de couleur noir (facteur de réflexion=0) et un local de réflectance interne moyenne (79% plafond, 47% murs, 24% plancher), sous un ciel clair serein et sous un ciel couvert, ils sont arrivés aux résultats suivants :

- Sous un ciel clair serein, l'effet de la couleur est très significatif puisqu'on constate une augmentation du niveau d'éclairage minimum au fond de la salle en comparaison à l'augmentation juste à proximité de l'ouverture pour le local de réflectance moyenne.

<sup>21</sup> GIVONI.B. *L'homme, l'architecture et le climat*. Paris : Le Moniteur, 1978, p 257.

<sup>22</sup> MILLET. M, LARKIN. J et MOORE. J: "Light without heat: Daylight and shading", International passive and hybrid cooling conference, American Section, International Solar Energy Society, Miami Beach, 1981, p 335.

- Sous un ciel couvert, la différence est moins significative puisque la source principale de la lumière est diffuse.

Cette étude nous confirme que la réflectance moyenne élevée des surfaces internes de la salle de cours n° 82, qui est de l'ordre de 51%, est le facteur déterminant de ses conditions d'éclairage car cette salle dispose, non seulement d'un éclairage constamment uniforme mais aussi plus performant que les deux autres salles de cours n° 54-55 et 59 sous les conditions du ciel clair serein en toute saisons.

Il faut souligner cependant que les conditions d'éclairage peuvent être encore améliorées par une maintenance et un entretien constants des surfaces internes qui sont dans un état d'empoussièrement qui réduit leur réflexion ; d'où la diminution des éclairagements lumineux<sup>23</sup>.

Nous concluons par dire que notre hypothèse principale de départ est infirmée : le dispositif d'éclairage naturel zénithal mis au point par l'architecte brésilien O. Niemeyer dans les salles de cours du campus universitaire Mentouri de Constantine n'assure pas le confort visuel des occupants.

De même, les hypothèses secondaires 1 et 3 sont infirmées : d'une part, l'orientation Est des vitrages zénithaux est inefficace sous les climats des moyennes latitudes. D'autre part, les usagers des salles de cours, à savoir les étudiants et les enseignants, ne sont pas satisfaits des conditions d'éclairage naturel de leur environnement de travail.

Quant à l'hypothèse secondaire 2, elle est confirmée : la couleur des surfaces internes des salles de cours a un impact important sur les conditions d'éclairage naturel, surtout sous les conditions du ciel clair serein.

---

<sup>23</sup> **Association Française de l'Eclairage.** Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires. Paris : LUX,, 1987, p37.

**Tableau 8.1 : Indicateurs quantitatifs et qualitatifs des conditions d'éclairage naturel  
des trois salles de cours types en hiver.**

Etat du ciel	Heure	Salle	E moyen	E tableau	FLJmoyen	FLJmin	I uniformité
ciel couvert	9GMT	salle 54-55	174	166	1,26	0,51	0,4
		salle 59	331	620	2,4	1,01	0,42
		salle 82	342	157	2,48	2,06	0,82
	12GMT	salle 54-55	232	187	2,33	1,01	0,43
		salle 59	335	340	3,37	1,61	0,47
		salle 82	203	97	2,04	1,79	0,87
	14 GMT	salle 54-55	60	54	1,18	0,6	0,49
		salle 59	151	100	3,03	1,74	0,56
		salle 82	187	83	3,74	3,16	0,84
ciel clair	9GMT	salle 54-55	1036	813	2,59	1,44	0,55
		salle 59	857	956	2,14	1,61	0,75
		salle 82	1076	1370	2,69	2,09	0,77
	11 GMT	salle 54-55	365	248	1,21	0,69	0,56
		salle 59	469	327	1,56	1,18	0,75
		salle 82	840	520	2,79	2,34	0,83
	14GMT	salle 54-55	339	292	4,51	1,9	0,42
		salle 59	416	345	5,53	4,18	0,75
		salle 82	513	358	6,82	5,98	0,87

**Tableau 8.2 : Indicateurs quantitatifs et qualitatifs des conditions d'éclairage naturel  
des trois salles de cours types en équinoxe.**

Etat du ciel	Heure	Salle	E moyen	E tableau	FLJ moyen	FLJmin	FLJmax	$\Delta$ Fij	I uniformité
ciel couvert	9GMT	salle 54-55	591	182	6,19	1,6	11,8	10,2	0,25
		salle 59	272	266	2,85	1,57	4,76	3,19	0,54
		salle 82	264	109	2,83	2,12	3,9	1,78	0,75
	14GMT	salle 54-55	719	455	1,53	0,65	2,48	1,83	0,42
		salle 59	788	712	1,68	0,99	2,28	1,29	0,58
		salle 82	848	446	1,81	1,57	2,25	0,68	0,86
ciel clair	9GMT	salle 54-55	2518	3060	3,47	0,5	5,14	4,64	0,14
		salle 59	2762	2530	3,81	1,49	5,34	3,85	0,39
		salle 82	4585	1700	6,33	3,25	9,59	6,34	0,51
	12GMT	salle 54-55	461	408	3,32	1,75	5,06	3,31	0,52
		salle 59	449	511	3,56	1,92	5,02	3,1	0,59
		salle 82	695	496	5	4,22	5,9	1,68	0,84
	14GMT	salle 54-55	594	521	3,6	1,72	5,82	4,1	0,47
		salle 59	786	560	5,01	3,73	7,01	3,28	0,78
		salle 82	919	520	5,57	4,77	6,35	1,58	0,85

**Tableau 8.3 : Indicateurs quantitatifs et qualitatifs des conditions d'éclairage naturel  
des trois salles de cours types en été.**

Etat du ciel	Heure	Salle	E moyen	E tableau	FLJmoyen	FLJmin	FLJmax	Δ FLJ	I uniformité
ciel couvert	9GMT	salle 54-55	1974	224	3,29	1,17	6,2	5,03	0,35
		salle 59	3968	126	6,61	1,25	21,2	19,95	0,18
		salle 82	1394	609	2,32	1,53	3,92	2,39	0,65
	14 GMT	salle 54-55	620	582	1,71	0,69	2,93	2,24	0,4
		salle 59	930	595	2,57	1,53	3,56	2,03	0,59
		salle 82	717	614	1,98	1,56	2,36	0,8	0,78
ciel clair	9GMT	salle 54-55	3376	1870	6,08	1,56	10,45	8,89	0,25
		salle 59	3213	2620	5,09	1,7	9,27	7,57	0,33
		salle 82	5082	1655	8,05	3,25	8,96	5,71	0,76
	12GMT	salle 54-55	440	293	3,46	1,87	4,45	2,58	0,54
		salle 59	496	330	3,91	2,55	5,4	2,85	0,65
		salle 82	664	397	5,23	4,82	6,04	1,22	0,92
	14GMT	salle 54-55	532	381	5,79	3,59	7,75	4,16	0,61
		salle 59	542	366	5,62	4,27	7,6	3,33	0,72
		salle 82	665	404	6,89	6,13	8,06	1,93	0,89

Pour résoudre des problèmes d'éclairage naturel dans le bâtiment, des architectes contemporains, parmi les plus célèbres, ont proposé des solutions architecturales basées sur des baies placées en toiture, ou en imposte périphérique, associées à des surfaces jouant le rôle de diffuseur afin de concilier entre le confort lumineux et le confort thermique, surtout dans les climats chauds. Citons en particuliers José Luis Sert, Alvar Aalto, Le Corbusier, Roland Simounet et Oscar Niemeyer.<sup>1</sup> Certaines de ces solutions se sont avérées efficaces mais d'autres le sont moins.

L'établissement universitaire Mentouri de Constantine est l'une des œuvres de l'architecte brésilien O. Niemeyer dans laquelle on rencontre ce type de dispositif d'éclairage naturel. L'évaluation post occupation des salles de cours de son bloc des lettres a révélé que ce dispositif d'éclairage zénithal indirect, constitué de lanterneaux verticaux orientés vers l'Est, permet l'éclairage naturel de salles très profondes ou éloignées du périmètre du bâtiment, tout en évitant la chute des niveaux d'éclairement lumineux liée justement à cette profondeur des locaux, comme c'est le cas pour l'éclairage latéral. En effet, certains facteurs du « confort visuel » sont parfaitement respectés, à savoir les niveaux d'éclairement lumineux élevés puisque les vitrages zénithaux font face à des luminances du ciel plus élevées et à des prospects dégagés, ainsi que l'uniformité de l'éclairage général, à conditions bien sûr que la couleur des surfaces internes soit claire et de bonne réflectivité.

Cependant, l'étude a permis d'identifier les points négatifs suivants :

- Suite à l'absence d'occultations, la pénétration des rayons solaires directs dans les salles de cours est plus profonde en équinoxe et en été qu'en hiver. Elle se traduit par : des tâches solaires sur les parois internes et sur les plans de travail, des contrastes importants surtout la matinée, ainsi que des risques d'éblouissement direct et des ombres gênantes sous les conditions du ciel clair.
- Les lanterneaux verticaux monoexposés ou orientés provoquent un effet directif de la lumière naturelle lié au facteur de réflexion des surfaces intérieures.
- Le choix de l'orientation Est des vitrages zénithaux s'avère inapproprié pour les établissements d'enseignement en moyenne latitude car elle offre une intensité maximale durant la matinée en été, et n'optimise pas l'utilisation du chauffage solaire passif.

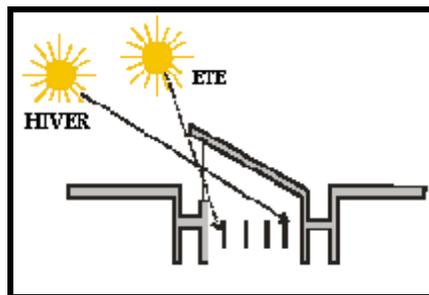
---

<sup>1</sup> **IZARD, Jean Louis.** *Architecture d'été : construire pour le confort d'été*, Aix-En-Provence : EDISUD, 1993, p 45.

- L'emploi de couleurs foncées pour la peinture des surfaces internes et des parties opaques des lanterneaux a conduit à la diminution des valeurs d'éclairement lumineux et à la non-uniformité de l'éclairage dans certaines salles de cours.
- Les tableaux sont mal éclairés.
- L'installation de l'éclairage électrique est défectueuse.

Pour réduire ces effets négatifs, nous proposons ces quelques solutions :

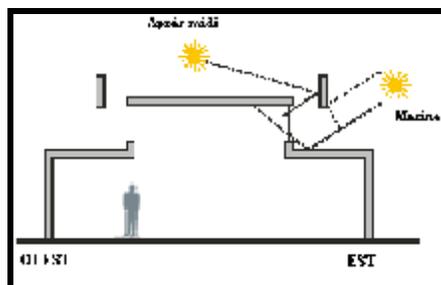
- Usage, soit des protections solaires mobiles intérieures de couleur claire pour réduire l'éblouissement tels que les stores vénitiens, ou bien des systèmes à deux positions hiver/été qui doivent être modifiés au bon moment.
- Usage des cloisons internes ou de faux plafonds pour intercepter les rayons solaires directs et les diffuser dans le local (Figure 9.1).



• **Figure 9.1 : Usage des cloisons internes de couleur claire.**

• Source : PASINI et al, 2004.

- Usage de cloisons externes situées à l'Est afin de bloquer les rayons solaires directs durant la matinée et les réfléchir pendant l'après midi (Figure 9.2).



• **Figure 9.2 : Usage des cloisons externes.**

• Source : PASINI et al, 2004.

- Usage des verres diffusants.

- Repeindre les surfaces internes de couleurs claires afin d'éliminer l'effet directif dans certaines salles de cours.

Parallèlement à la mauvaise exploitation de la lumière naturelle, nous avons constaté au sein de l'établissement un gaspillage énergétique extrême provenant de la consommation d'un éclairage électrique enclenché dans les salles de cours inoccupées ou encore en présence d'un éclairage naturel abondant. Il faut savoir que pour obtenir un maximum d'efficacité dans la gestion d'une installation d'éclairage dans ce type d'établissement, les techniques d'éclairage naturel doivent être harmonisées avec le système d'éclairage électrique. Il existe pour cet effet un système de contrôle automatisé de l'éclairage appelé « les atténuateurs » qui règlent l'intensité lumineuse de manière à toujours obtenir l'éclairage souhaité et conviennent aux écoles et aux bureaux.

Nous avons relevé également dans les salles de cours de l'université, des problèmes liés à d'autres aspects du confort, à savoir le confort thermique (surchauffe dès le mois d'avril) et le confort acoustique (nuisance sonore provenant de l'aéroport tout proche et des nuisances internes) qui peuvent faire l'objet de futures recherches entrant dans le cadre d'une évaluation post occupation plus globale de cet équipement pédagogique, étude qui ne se limitera pas uniquement aux aspects lumineux mais qui impliquera de manière plus large les usagers dans l'amélioration de leur environnement de travail.

### **-Recommandations pour les futurs établissements universitaires ou d'enseignement en général:**

Pour optimiser l'utilisation des lanterneaux verticaux dans les salles de classe, il faut suivre les recommandations suivantes :

-Orientation : Orienter les vitrages zénithaux vers le Sud afin de tirer profit du chauffage solaire passif durant les mois d'hiver. Il faut savoir que la surface de vitrage pour un lanterneau Sud est en général 25% de moins que ceux orientés vers le Nord.

-Indice de vitrage  $I_v$  : Pour atteindre un facteur de lumière de jour moyen de 5% désiré dans une salle de classe, il faut prévoir un indice de vitrage égal à **30%**. En sachant qu'on peut encore réduire cette proportion en augmentant la valeur de transmission lumineuse du vitrage.

-Géométrie des lanterneaux :

- Réduire au minimum le contraste à l'intersection puit-plafond en prévoyant une transition entre la surface du plan vertical du lanterneau et son plan horizontal. Un angle de 45° est efficace mais une transition incurvée est meilleure.
- Réduire au minimum la hauteur du lanterneau car plus le lanterneau est profond, plus il est difficile de réfléchir la lumière vers le bas du local.

-Couleur : Employer des couleurs claires de bonne réflectivité pour les parties opaques des lanterneaux ainsi que pour les surfaces internes des salles de classe. La couleur blanche fournit un avantage global en reflétant la radiation solaire qui serait autrement absorbée et réfléchi en bas vers le local.

-Occultation :

- Prévoir des protections solaires pour les vitrages Sud constitué de débords de toiture, mais ces derniers ne doivent pas être surdimensionné car ceci baissera aussi bien la pénétration de la lumière du jour que l'avantage du chauffage solaire passif.
- Utiliser en cas de besoin des cloisons internes blanches pour bloquer le rayonnement solaire direct, diffuser la lumière et réduire l'éblouissement.
- Utiliser des cloisons translucides pour réduire le contraste.

-Les lanterneaux doivent être accompagné d'ouvertures latérales afin de permettre la vue vers l'extérieur et d'augmenter la luminance du fond de la salle.

-Pour réduire les gains et les pertes de chaleur par conduction, les murs et le plafond du lanterneau doivent être bien isolés et incorporer des barrières appropriées contre l'infiltration/exfiltration, l'humidité et la radiation. Il faut prendre en considération également les problèmes acoustiques.

-Pour réduire les charges de refroidissement, il faut compter sur la stratification de la chaleur dans le lanterneau lui-même.

-l'aménagement de la salle :

- Le type de mobilier ainsi que son agencement peuvent avoir de fortes répercussions sur la distribution de la lumière dans l'espace et sur le confort des occupants. Les éléments essentiels à la tâche visuelle habituelle (table, bureau, tableau, ...) doivent être disposés judicieusement en fonction de l'emplacement des ouvertures à la lumière naturelle.
- Les tableaux doivent être parallèles aux vitrages zénithaux afin d'assurer l'uniformité de l'éclairage vertical.

-Prévoir des luminaires pour l'éclairage vertical des tableaux totalement indépendants de l'éclairage général.

-Enfin, une bonne maintenance des dispositifs utilisés est absolument nécessaire pour favoriser l'éclairage naturel : en effet, une grande partie de la maîtrise de la lumière naturelle est assurée au moyen de systèmes qui transmettent, réfléchissent ou dévient la lumière. Cela suppose la présence d'éléments spécifiques, possédant des caractéristiques photométriques précises (transparence, coefficient de réflexion élevé, brillance). L'efficacité de ces systèmes est grandement affectée par leur degré de salissure. Il faut donc prévoir la possibilité de les nettoyer régulièrement.

## Livres :

1. **ANGERS, Maurice.** Initiation pratique à la méthodologie des sciences humaines, Alger : Casbah Université, 1997
2. **Agence Méditerranéenne de l'environnement et Ordre des architectes du Languedoc Roussillon.** Qualité environnementale des bâtiments en Languedoc-Roussillon. Montpellier : La Charité, 2002.
3. **Association Française de l'Éclairage.** Recommandations relatives à l'éclairage des locaux scolaires, Paris : LUX, 1987.
4. **Association HQE.** Bâtiment et démarche HQE. Valbonne : ADEME, 2004.
5. **Association Promotelec.** Label Promotelec : éclairage salles de classe. Paris : Promotelec, 2002.
6. **BENDAKIR, Mahmoud et al.** Architecture et patrimoine : La medersa en chantier. Grenoble : Ecole d'Architecture de Grenoble, 2004.
7. **BAKER. N et STEEMERS. K.** Daylight design of buildings. London: James & James, 2002.
8. **CHAUCHAT. H.** L'enquête en psychosociologie. Paris : 2è Ed. PUF, 1990.
9. **CHAUVEL.P & DERIBERE. M.** L'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment. Paris: Eyrolles, 1968.
10. **The Chartered Institution of Building Services Engineers.** Applications manual: Window design. London: CIBSE, 1987.
11. **COLLINS, B.** Windows and People: a Literature Survey, Psychological Reaction to Environments With and Without Windows. USA: National Bureau of Standards, 1975.
12. **DE BRIGODE, Gérard.** L'architecture scolaire. Paris : Presses universitaires de France, 1966.
13. **DELETRE, J.J.** Mémento de prises de jour et protections solaires. Grenoble: Ecole d'Architecture de Grenoble, 2003.
14. **DENEYER. A et MOENSSENS. N.** « Les doubles façades ventilées : aspects liés à l'éclairage naturel et au confort visuel ». Bruxelles : Centre Scientifique et Technique de la Construction, 2004.
15. **DE SINGLY. F.** L'enquête et ses méthodes : Le questionnaire. Paris: Nathan, 1992.

16. **GIVONI. B.** L'homme, l'architecture et le climat, Traduction de JL. IZARD. Paris : Le Moniteur, 1978.
17. **GRAWITZ. M.** Méthodes des sciences sociales. Paris : Ed. Dalloz., 1990.
18. **GROUPE HESCHONG MAHON.** Daylighting in schools: An Investigation into the Relationship Between Daylighting and Human Performance. U.S.A: Pacific Gas and Electric Company, 1999.
19. **HATHAWAY. W. E et al.** A Study Into the Effects of Light on Children of Elementary School Age-A Case of Daylight Robbery. Edmonton: Alberta Education, 1992.
20. **HETZEL. J.** Haute qualité environnementale du cadre bâti : enjeux et pratiques. Paris: AFNOR, 2003.
21. **IZARD, J. L et GUYOT. A.** Archi bio. Paris : Edition Parenthèses, 1979.
22. **IZARD, J. L.** Maîtrise des ambiances : contrôle de l'ensoleillement et de la lumière en architecture. Marseille : Ecole d'Architecture de Marseille-Luminy. 1994.
23. **IZARD, J. L.** Architecture d'été : construire pour le confort d'été. Aix-En-Provence : EDISUD, 1993.
24. **LAEDLEIN, H.** Réglementation technique de la maison individuelle : guide pratique du constructeur. Paris : Eyrolles, 1979.
25. **LARSON, C.T.** The Effect of Windowless Classrooms on Elementary School Children. Michigan: The Architectural Research Laboratory, Département d'Architecture, Université de Michigan, 1965.
26. **LA TOISON, M.** Introduction à l'éclairagisme. Paris : Eyrolles, 1982.
27. **Lighting Research Center.** Guide for daylighting schools. Raleigh : Innovative Design, 2004
28. **MAZRIA, E.** Le guide de l'énergie solaire passive. Paris : Parenthèses, 1981.
29. **MUDRI, L.** De l'hygiène au bien-être, du développement sans frein au développement durable: ambiances lumineuses. Paris : Ecole d'architecture de Paris- Belleville, 2002.
30. **PASINI, I et al.** Daylighting guide for Canadian commercial buildings. Ontario: Travaux Publics et Services Gouvernementaux. Canada, 2002.
31. **PERRIN de BRICHANBAUT.Ch et VAUGE.Ch.** Le gisement solaire : évaluation de la ressource énergétique. Paris: Technique et Document (Lavoisier), 1982.

32. **ROBERT. M.** Fondements et étapes de la recherche scientifique en psychologie. Paris : 3è Ed, Maloine, 1988.
33. **ROBERTSON, K.** Guide sur l'éclairage naturel des bâtiments, Ontario : SCHL-CMHC, 2003.
34. **ROSENTAL. C, MURPHY. C. F.** Introduction aux méthodes quantitatives en sciences humaines et sociale. Paris: Dunod, 2001.
35. **ROULET, C. A.** Energétique du bâtiment II : Prestations du bâtiment, bilan énergétique global. Lausanne : Presses Polytechniques Romandes, 1987.
36. **SCHITTICH. Ch et al.** Construire en verre. Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2001.
37. **SCHILER. M.** Simplified design of building lighting, New York-Chichester-Weinheim- Brisbane- Toronto-Singapore: John Wiley & Sons .INC, 1992.
38. **Société Saint Gobain.** Les verres et le rayonnement naturel. Paris : Saint-Gobain.
39. **SZOKOLAY. S.** Environmental science handbook: for architects and builders. Lancaster-London-New York: The Construction Press, 1980.
40. **VANDENPLAS. A.** Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964.
41. **VANDEPLANQUE.P.** L'éclairage : notions de base, projets d'installations. Paris : Technique et Document (Lavoisier). 1984.

### Revues :

42. **BELAKEHAL. A et Tabet AOUL. K.** « L'éclairage naturel dans le bâtiment, référence aux milieux arides à climat chaud et sec ». *Courrier du Savoir*, n°04, Biskra : Université Mohamed Khider (Juin 2003).
43. **KULLER, R and LINDSTEN, C.** «Health and Behavior of Children in Classrooms with and without Window s». *Journal of Environmental Psychology*, n° 12, Suède (1992).
44. **MILLET. M, LARKIN. J et MOORE. J.** "Light without heat: Daylight and shading". *International passive and hybrid cooling conference, American Section, International Solar Energy Society*, Miami Beach, (1981).
45. **TERRIER. Ch et VANDEVYVER. B.** "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, *Travail et Sécurité*, (Mai 1999).

## **Dictionnaire et Encyclopédie :**

46. **BOUVIER, François.** « Eclairage naturel », *Technique de l'ingénieur*. Vol. C6, n° C 3 315, Paris (1981)
47. **BOUVIER, François.** « Soleil et architecture ». *Technique de l'ingénieur*, Vol. C6, n° C 3 310. Paris (1981)
48. Dictionnaire encyclopédique Larousse. Paris : Larousse, 1979.
49. Dictionnaire Le Petit Larousse. Paris : Larousse, 2003. Cdrom.
50. Encyclopédie Encarta. France : Microsoft Corporation Cdrom, 2004.
51. **PERRAUDEAU, M.** « Lumière et couleur ». *Technique de l'Ingénieur*. Vol. C6, n° C 3 340 (1981)

## **Documents gouvernementaux:**

52. **Algérie. Conseil Supérieur de l'éducation.** Principes généraux de la nouvelle politique éducative et la réforme de l'enseignement fondamental : Synthèse du document de base. Alger : Conseil Supérieur de l'éducation. Mars 1998.
53. **Algérie. Ministère de l'Habitat.** Réglementation technique algérienne du bâtiment : concepts et nomenclature. Alger : Centre National de Recherche Appliquée en Génie Parasismiques C.G.S. Mars 1998.
54. **Algérie. République Algérienne.** Codes du foncier et de l'urbanisme : recueil de textes législatifs et réglementaires de la République Algérienne. BERTI Editions. 2001-2002.
55. **France. Ministère de l'Education Nationale.** « Arrêté du 30 mars 1965 : Réglementation de l'éclairage dans les locaux scolaires et universitaires » (BOEN n°15 du 22 avril 1965).

## **Thèses:**

56. **BELLARA, S.** Impact de l'orientation sur le confort thermique intérieur dans l'habitation collective: cas de la nouvelle ville Ali Mendjeli Constantine, Mémoire de Magistère, Constantine: Université Mentouri de Constantine, Octobre 2005.
57. **CHAVEZ, J. G..** The potential of beam core daylighting for reducing the energy consumption of artificial lighting and air conditioning in hot- arid region of Mexico. PhD Thesis, The Architectural Association Graduate School of Architecture, Avril 1989.

58. **ROUAG, Dj.** Sunlight problems within new primary school classrooms in Constantine. Thèse d'état, Constantine: Université Mentouri de Constantine, Avril 2001.
59. **ZEMMOURI, N.** Daylight availability intergrated modelling and evaluation: A Fuzzy logic based approach. Thèse de Doctorat, Sétif : Université Farhat Abbas de Sétif, Octobre 2005.

### **Polycopié :**

60. **DENOEUD. B.** Ergonomie B1 : L'éclairage. Paris : Conservatoire National des Arts et Métiers. 2002-2003.
61. **ROUAG, A.** Cours de méthodologie. Magister. Option psychotraumatisme. 2002-2003.
62. **THIRY, Raymond.** Eclairage naturel dans le bâtiment. Marseille: Ecole d'Architecture de Marseille- Luminy.

### **Documents Internet :**

63. **Association Promotelec.** « Eclairage des salles de classe ». [En ligne] [www.promotelec.com](http://www.promotelec.com). (Page consultée le 26 mars 2004)
64. **BELAKEHAL A., TABET K. et BENNADJI A.** "An evaluation method of daylighting quality in buildings under clear sunny skies". [En ligne] [www.psyenv.com](http://www.psyenv.com). (Document pdf consulté le 16 octobre 2005)
65. **BROWN W. C. et RUBERG. K.** «RSB 88 : Facteurs de performance des fenêtres ». Canada.1988. [En ligne] <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/bsi/rsb.html> (Page consultée le 12 octobre 2004)
66. **DE HERDE. A et al.** « Choix de l'atrium ». Université Catholique de Louvain-La-Neuve. Belgique. [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be). (Page consultée le 25 février 2005)
67. **DE HERDE, A & al.** « Le confort visuel ». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique [En ligne]. [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be). (Page consultée le 15 avril 2004)
68. **DE HERDE, A et al.** « Le choix de la fenêtre comme capteur de lumière naturelle ». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique. [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be) (Page consultée le 20 mars 2004)

69. **DE HERDE, A et al.** « La variation de l'éclairage naturel ». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique. [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be). (Page consultée le 20 mars 2004)
70. **DE HERDE, A et al.** « Mesure du niveau d'éclairage ». Université Catholique de Louvain La Neuve. Belgique. [En ligne] [www-energie.arch.ucl.ac.be](http://www-energie.arch.ucl.ac.be). (Page consultée le 18 octobre 2004)
71. **Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.** « Thèmes principaux ». 2001. [En ligne] [www.idmp.entpe.fr](http://www.idmp.entpe.fr). (Page consultée le 20 Février 2005)
72. **Fédération de l'éclairage.** « A propos de circulaires de l'Education Nationale relatives à l'éclairage des salles de classes ». [En ligne]. [www.feder-eclairage.fr](http://www.feder-eclairage.fr). (Page consultée le 18 avril 2004).
73. **Kenneth J. Cooper** "Study Says Natural Classroom Lighting Can Aid Achievement". *Washington Post Staff Writer* (26 Novembre 1999). [En ligne] [www.orientationsnova.com](http://www.orientationsnova.com). (Page consultée le 24/02/2005)
74. **Laboratoire CERMA.** « La géométrie solaire », Ecole d'Architecture de Nantes [En ligne] [www.audience.cerma.archi.fr](http://www.audience.cerma.archi.fr). (Page consultée le 18 avril 2004)
75. **Laboratoire CERMA.** « Lanterneau vertical : Jeux de tâches solaires ». Ecole d'Architecture de Nantes. [En ligne] [www.audience.cerma.archi.fr](http://www.audience.cerma.archi.fr). (Page consultée le 25 octobre 2004)
76. **Laboratoire CERMA.** « Lanterneau vertical : Eclairage contrasté ». Ecole d'Architecture de Nantes. [En ligne] [www.audience.cerma.archi.fr](http://www.audience.cerma.archi.fr). (Page consultée le 20 avril 2005)
77. **MILLER, F.** « L'éclairage des lieux de travail : Notions de base » AIMT du Bas – Rhin- France, [En ligne] [www.sdv.fr](http://www.sdv.fr). (page consultée le 26/03/2004)
78. **MARSH, A.** « Sun-path diagrams ». Royaume Uni. [En ligne] [www.squ1.com](http://www.squ1.com) (Page consultée le 19 mai 2004).
79. **Météo France.** « Nébulosité ». France [En ligne] [www.meteofrance.com](http://www.meteofrance.com) (Page consultée le 22 Février 2005)
80. **Syndicat de l'éclairage** « L'éclairage et le confort visuel ». Paris. [En ligne] [www.syndicat-eclairage.com](http://www.syndicat-eclairage.com) (Document pdf consulté le 20 mai 2004)
81. **The Society of Light and Lighting.** Draft Addendum to CIBSE Lighting Guide 5: The visual environment in lecture, teaching and conference rooms". London: CIBSE, 2003 [En ligne] [www.cibse.org](http://www.cibse.org), (Document PDF consulté le 18 avril 2004)

82. « Daylighting systems » [En ligne] [www.squ1.com](http://www.squ1.com) (Page consultée le 19 novembre 2004)
83. « L'évaluation de l'occupation des lieux ». [En ligne] [www.postoccupancyevaluation.com](http://www.postoccupancyevaluation.com). (Page consultée le 05 avril 2005)
84. « Luminous distribution of the sky » [En ligne] [www.squ1.com](http://www.squ1.com) (Page consultée le 12 Février 2005)
85. « Norme NBN L 13-006 : Eclairage des lieux de travail » [En ligne] [www.bbri.be](http://www.bbri.be). (Page consultée le 10 mai 2004)
86. « Norme EN/12464-1 : Lumière et éclairage : Eclairage des lieux de travail - Lieux de travail intérieurs » [En ligne] [www.bbri.be](http://www.bbri.be). (Page consultée le 10 mai 2004)
87. "Sunlight could perk up kids' grades, store profits", Québec (Canada), Juin 1999 [En ligne] [www.orientationsnova.com](http://www.orientationsnova.com) (Page consultée le 8 mai 2004)

**-Anisotropie:**

Ayant une dépendance à une direction ou un angle.

**-Azimut:**

Angle entre la projection de la normale d'une surface sur l'horizontal et le vrai Nord. Mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre.

**-Composante directe du facteur de lumière du jour :**

C'est la lumière provenant d'une portion du ciel visible à partir d'un point de référence. Il s'agit généralement de la composante la plus importante au plan quantitatif. Sa valeur dépend de la surface du ciel visible à partir d'un point considéré et de la distribution des luminances du ciel, mais aussi de la position de cette surface, car près de l'horizon la luminance est faible tandis qu'elle est élevée près du zénith.

**-Composante réfléchie externe du facteur de lumière du jour :**

C'est la lumière réfléchie par les différentes surfaces et obstacles extérieurs, y compris le sol. Sa valeur dépend donc de l'éclairement de ces obstacles, de leur facteur de réflexion et des angles solides sous lesquels on les voit depuis le point de référence.....

**-Composante réfléchie interne du facteur de lumière du jour :**

C'est la lumière arrivant en un point selon un nombre infini de trajectoires possibles, pénétrant à travers une ouverture mais atteignant le point de référence seulement après réflexions par les différentes surfaces intérieures du local. Sa valeur dépend donc de l'éclairement de ces surfaces, de leur facteur de réflexion et des angles solides sous lesquels on les voit depuis le point de référence. Ces angles solides sont en général importants, mais les éclaircissements sont faibles.

**-Contraste :**

C'est l'appréciation subjective de la différence d'apparence entre deux parties du champ visuel vues simultanément ou successivement. Il peut s'agir d'un contraste de couleur, d'un contraste de luminance. Le contraste  $C$  entre un objet ou une tâche visuelle de luminance  $L_0$  vu sur un fond de luminance  $L_f$  est donné par la formule suivante :

$$C = \frac{L_0 - L_f}{L_f}$$

**-Eclairage indirect :**

L'éclairage indirect résulte de l'interférence d'un ou de plusieurs éléments opaques ou semi-opaques entre la source lumineuse primaire et le point ou surface de réception considérés.

**-Eclairage lumineux :**

C'est le quotient du flux lumineux reçu par un élément d'une surface par l'aire de cet élément. Il caractérise la quantité de lumière reçue par unité de surface.

Symbole : **E**

Unité : **Lux ( lx )**, 1 Lux = 1 Lumen / m<sup>2</sup>

**-Eclairage moyen à maintenir :**

L'éclairage moyen à maintenir est l'éclairage moyen juste encore acceptable avant une intervention d'entretien : nettoyage des luminaires complété ou non par le remplacement simultané des fonds.

**-Eclairage moyen en service :**

L'éclairage moyen en service est l'éclairage moyen que l'on doit constater au milieu de la période couvrant deux interventions d'entretien consécutives.

**-Eclairage moyen initial :** est l'éclairage moyen lorsque l'installation est neuve. L'éclairage moyen initial est la valeur, prise en considération dans les calculs relatifs au projet d'éclairage. En absence d'indication, l'éclairage moyen initial sera de :

- 1,5 fois l'éclairage à maintenir pour les locaux à faible empoussièremment,
- 1,75 fois l'éclairage à maintenir pour les locaux à empoussièremment moyen,
- 2 fois l'éclairage à maintenir pour les locaux à empoussièremment élevé.

**-Facteur de réflexion d'une surface**

C'est le rapport du flux lumineux réfléchi au flux incident. Ce facteur précise l'aptitude d'une surface à réfléchir la lumière incidente.

**-Flux lumineux :**

C'est la quantité d'énergie émise par une source sous forme de rayonnement visible dans toutes les directions par unité de temps. Symbole : **F**

Unité : **Lumen ( lm )**

**-Indice de profondeur :**

L'indice de profondeur est caractéristique d'un local à éclairage unilatéral. C'est le rapport de la profondeur P du local à la hauteur H de la fenêtre sous linteau.

**-Indice de vitrage:**

L'indice de vitrage  $I_v$  est le rapport de la somme des surfaces vitrées d'un local  $S_v$  à la surface au sol de ce local  $S_{sol}$ .

Dans la pratique, nous distinguons trois indices de vitrages différents :

**\*Indice d'ouverture  $I_0$**  : c'est la surface des percements divisée par la surface au sol (utilisé par les architectes et les thermiciens)

**\*Indice de vitrage  $I_v$**  ; c'est la surface vitrée divisée par la surface au sol,

$$I_v = I_0 \cdot \tau_m,$$

où  $\tau_m$  est un facteur de correction pour menuiseries.

**\*Indice de vitrage corrigé  $I_c$**  (utilisé par les éclairagistes) : c'est l'indice de vitrage multiplié par le facteur de transmission du vitrage ( $\tau_{df}$ ):

$$I_c = I_0 \cdot \tau_m \cdot \tau_{df}$$

**- Intensité lumineuse :**

Cette grandeur définit l'importance du flux lumineux émis dans une direction donnée par une source ponctuelle.

Symbole : **I**

Unité : **Candela** ( cd )

**-Luminance :**

Cette grandeur détermine l'aspect lumineux d'une surface éclairée ou d'une source, dans une direction donnée et dont dépend la sensation visuelle de luminosité.

Symbole : **L**

Unité : **cd / m<sup>2</sup>**

**-Lux (lx) :** quantité de lumière qui frappe une surface. Un concepteur d'éclairage pourrait tenter d'obtenir une intensité lumineuse de 500 lux au niveau d'une table de travail dans un local de bureau. Le lux est une unité d'éclairement correspondant à 1 lumen par mètre carré. La mesure impériale est le candela-pied (*footcandle*), qui correspond à 1 lumen par pied carré.

**-Performance visuelle:**

La « performance visuelle » est un taux d'évaluation du système visuel utilisé pour quantifier les aptitudes d'une personne à détecter, identifier et analyser les détails entrant dans son champ de vision, en se fondant sur la vitesse, la précision et la qualité de sa perception. La performance visuelle dépend:

- des caractéristiques propres de la tâche à accomplir;
- de l'acuité visuelle de l'observateur;
- de la nature de l'arrière plan;
- des conditions d'éclairage;
- des perturbations distrayant l'attention;

**-Plan utile ou plan de travail :**

Le plan utile est une surface de référence horizontale, limitée par les parois du local sur laquelle s'effectue normalement le travail. Par convention et sauf cas particulier, la hauteur du plan utile par rapport au sol sera prise égale à 0,80cm.

**-Visibilité de la tâche visuelle :**

La visibilité de la tâche visuelle est utilisée pour relier la performance visuelle aux paramètres de l'éclairage sans tenir compte de l'attitude de l'observateur à l'égard de la tâche. La visibilité qui caractérise une tâche est déterminée par la visibilité du détail critique. D'une manière générale, la visibilité du détail dépend de :

- sa dimension angulaire et sa forme;
- sa luminance et sa couleur;
- son contraste par rapport au fond immédiat;
- sa position dans le panorama visuel;
- la luminance d'adaptation;
- l'état du système visuel (âge de l'observateur);
- le temps d'observation.

Heure		21 juin	21 mai et 21 juillet	21 avril et 21 août	21 mars et 21 sept	21 fev et 21 octobre	21 jan et 21 nov	21 déc
12	H A	77°16' 0°	73°91' 0°	65°38' 0°	53°23' 0°	42°49' 0°	33°69' 0°	30°38' 0°
13-11	H A	71°80' 49°46'	69°23' 43°25'	62°48' 33°16'	50°68' 24°	40°44' 19°48'	30°55' 16°38'	28°72' 15°71'
14-10	H A	61°16' 71°99'	59°24' 66°61'	53°7' 55°8'	43°88' 43°85'	34°71' 36°63'	26°94' 31°77'	23°99' 30°13'
15-9	H A	49°37' 84°87'	47°63' 80°06'	42°66' 71°59'	34°41' 56°36'	26°35' 50°70'	19°43' 44°74'	16°79' 42°65'
16-8	H A	37°23' 86°37'	35°58' 88°68'	30°90' 83°72'	23°48' 70°62'	16°27' 62°23'	10°12' 55°67'	7°79' 53°31'
17-7	H A	25°28' 101°48'	23°52' 98°89'	18°8' 84°88'	11°74' 80°27'	5°13' 72°61'		
18-6	H A	13°59' 109°27'	11°71' 106°47'	6°78' 99°2'				
19	H A	2°46' 117°51'	0°39' 114°22'					
20	H A							
<b>Angle horaire du soleil (levant &amp; couchant)</b>		5h 11mn	5h 31mn	6h 06mn	6h 00mn	5h 46mn	5h 32mn	5h 13mn

Tableau 1: Hauteur et azimut solaire pour la ville de Constantine (latitude 36°17')

Source : Auteur.

mois	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	moyenne
janvier	144,8	161,4	161,3	134	163,1	143,2	180,6	173,2	189,9	119,2	<b>157,07</b>
février	185,5	216,4	130,8	202,2	186,9	161,1	218,6	206,9	203,4	147,6	<b>185,94</b>
mars	242,6	226,5	217,4	261,8	233	233,2	232,2	258	248,6	232,4	<b>238,57</b>
avril	251,3	279,6	191,7	244,1	250,2	294,5	264,3	252,9	252,3	228,2	<b>250,91</b>
mai	329,6	325,4	295	306,3	241,8	297	265,5	276,7	286,9	268,9	<b>289,31</b>
juin	338,2	286,4	294,7	325,9	312,3	293,2	322,1	353,2	334,4	323,7	<b>318,41</b>
juillet	387,4	382,7	353,3	333,2	379,2	362,6	355,6	323,7	305,3	326,8	<b>350,98</b>
août	310	300,1	292,3	302,3	296,9	277,6	316,8	294,2	258,4	304	<b>295,26</b>
septembre	244,2	236,1	249,1	224,7	242,7	285,4	245,9	253,7	249,5	205,7	<b>243,7</b>
octobre	209,3	232,2	229,1	209,3	218,7	241	228,1	254	247,6	169,8	<b>223,91</b>
novembre	219,3	184,4	184,4	141,2	154,2	150,6	189,9	154,4	137,4	171,2	<b>168,7</b>
décembre	164,8	160,9	162,1	161,1	160	138,6	187,5	160,2	157,3	141,9	<b>159,44</b>
<b>total (heure)</b>	<b>3027</b>	<b>2992,1</b>	<b>2761,2</b>	<b>2846,1</b>	<b>2839</b>	<b>2878</b>	<b>3007,1</b>	<b>2961,1</b>	<b>2871</b>	<b>2639,4</b>	<b>2882,2</b>
en jour	<b>126,125</b>	<b>124,6708</b>	<b>115,05</b>	<b>118,5875</b>	<b>118,2917</b>	<b>119,9167</b>	<b>125,2958</b>	<b>123,3792</b>	<b>119,625</b>	<b>109,975</b>	<b>120,091667</b>

**Tableau n°2: Durée d'ensoleillement à Constantine (1994-2003)**

Source: Station météorologique de Ain El Bey, 2005,

**1-Période hivernale**

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	362	2,62	371	2,69	360	2,61
	160cm	387	2,80	506	3,67	385	2,79
2	80cm	385	2,79	372	2,70	387	2,80
	160cm	423	3,07	453	3,28	488	3,54
3	80cm	330	2,39	298	2,16	338	2,45
	160cm	396	2,87	357	2,59	390	2,83
4	80cm	312	2,26	284	2,06	315	2,28
	160cm	377	2,73	305	2,21	387	2,80

Tableau 1: Eclairages lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'hiver à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	279	2,02	687	4,98	285	2,07
	160cm	326	2,36	1015	7,36	320	2,32
2	80cm	298	2,16	700	5,07	304	2,20
	160cm	388	2,81	829	6,01	405	2,93
3	80cm	280	2,03	518	3,75	286	2,07
	160cm	372	2,70	688	4,99	383	2,78
4	80cm	235	1,70	405	2,93	237	1,72
	160cm	255	1,85	453	3,28	250	1,81
5	80cm	140	1,01	177	1,28	148	1,07
	160 cm	218	1,58	185	1,34	210	1,52

Tableau 2: Eclairages lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'hiver à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	70	0,51	95	0,69	91	0,66	86	0,62
	160cm	37	0,27	42	0,30	35	0,25	29	0,21
2	80cm	80	0,58	102	0,74	110	0,80	78	0,57
	160cm	96	0,70	117	0,85	170	1,23	110	0,80
3	80cm	178	1,29	194	1,41	242	1,75	85	0,62
	160cm	162	1,17	171	1,24	235	1,70	82	0,59
4	80cm	228	1,65	244	1,77	290	2,10	103	0,75
	160cm	261	1,89	312	2,26	380	2,75	130	0,94
5	80cm	268	1,94	295	2,14	320	2,32	109	0,79
	160cm	259	1,88	262	1,90	330	2,39	99	0,72
6	80cm	254	1,84	278	2,01	284	2,06	98	0,71
	160cm	256	1,86	280	2,03	320	2,32	110	0,80

Tableau 3: Eclairages lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'hiver à 9h GMT.

AXE	hauteur	A		B		C	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	209	2,10	229	2,31	190	1,91
	160cm	261	2,63	306	3,08	264	2,66
2	80cm	210	2,11	240	2,42	202	2,03
	160cm	256	2,58	287	2,89	256	2,58
3	80cm	186	1,87	210	2,11	180	1,81
	160cm	200	2,01	240	2,42	209	2,10
4	80cm	198	1,99	204	2,05	178	1,79
	160cm	193	1,94	226	2,28	223	2,25

Tableau 4: Eclairages lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'hiver à 12h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	310	3,12	502	5,06	425	4,28
	160cm	400	4,03	705	7,10	520	5,24
2	80cm	288	2,90	514	5,18	446	4,49
	160cm	320	3,22	589	5,93	437	4,40
3	80cm	264	2,66	410	4,13	387	3,90
	160cm	319	3,21	450	4,53	476	4,79
4	80cm	226	2,28	353	3,55	343	3,45
	160cm	320	3,22	530	5,34	426	4,29
5	80cm	160	1,61	180	1,81	220	2,22
	160 cm	118	1,19	133	1,34	132	1,33

Tableau 5: Eclairages lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'hiver à 12h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	100	1,01	166	1,67	156	1,57	180	1,81
	160cm	72	0,73	74	0,75	73	0,74	70	0,70
2	80cm	137	1,38	168	1,69	182	1,83	194	1,95
	160cm	148	1,49	207	2,08	267	2,69	281	2,83
3	80cm	215	2,17	247	2,49	254	2,56	241	2,43
	160cm	209	2,10	230	2,32	262	2,64	195	1,96
4	80cm	243	2,45	288	2,90	287	2,89	260	2,62
	160cm	266	2,68	377	3,80	392	3,95	315	3,17
5	80cm	274	2,76	335	3,37	350	3,52	243	2,45
	160cm	269	2,71	252	2,54	318	3,20	269	2,71
6	80cm	235	2,37	292	2,94	297	2,99	227	2,29
	160cm	288	2,90	337	3,39	338	3,40	235	2,37

Tableau 6: Eclairages lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'hiver à 12h GMT.

AXE	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	202	4,04	205	4,10	207	4,14
	160cm	268	5,36	270	5,40	266	5,32
2	80cm	198	3,96	195	3,90	208	4,16
	160cm	250	5,00	243	4,86	258	5,16
3	80cm	174	3,48	177	3,54	172	3,44
	160cm	189	3,78	187	3,74	198	3,96
4	80cm	158	3,16	182	3,64	166	3,32
	160cm	200	4,00	209	4,18	203	4,06

Tableau 7: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'hiver à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	188	3,76	229	4,58	200	4,00
	160cm	233	4,66	282	5,64	235	4,70
2	80cm	209	4,18	130	2,60	202	4,04
	160cm	199	3,98	137	2,74	208	4,16
3	80cm	169	3,38	105	2,10	177	3,54
	160cm	218	4,36	114	2,28	221	4,42
4	80cm	159	3,18	86	1,72	156	3,12
	160cm	195	3,90	115	2,30	202	4,04
5	80cm	88	1,76	87	1,74	90	1,80
	160 cm	56	1,12	58	1,16	57	1,14

Tableau 8: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'hiver à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	30	0,60	45	0,90	42	0,84	50	1,00
	160cm	20	0,40	21	0,42	21	0,42	20	0,40
2	80cm	41	0,82	44	0,88	46	0,92	51	1,02
	160cm	48	0,96	52	1,04	65	1,30	74	1,48
3	80cm	51	1,02	60	1,20	62	1,24	57	1,14
	160cm	50	1,00	57	1,14	61	1,22	53	1,06
4	80cm	62	1,24	70	1,40	73	1,46	65	1,30
	160cm	74	1,48	90	1,80	98	1,96	80	1,60
5	80cm	65	1,30	88	1,76	90	1,80	66	1,32
	160cm	80	1,60	93	1,86	91	1,82	67	1,34
6	80cm	61	1,22	94	1,88	88	1,76	51	1,02
	160cm	64	1,28	97	1,94	99	1,98	59	1,18

Tableau 9: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'hiver à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	999	2,50	1270	3,18	1158	2,90
	160cm	1045	2,61	1450	3,63	1530	3,83
2	80cm	980	2,45	1265	3,16	1165	2,91
	160cm	1025	2,56	1335	3,34	1408	3,52
3	80cm	925	2,31	1169	2,92	1080	2,70
	160cm	993	2,48	1280	3,20	1410	3,53
4	80cm	837	2,09	1035	2,59	1031	2,58
	160cm	865	2,16	1275	3,19	1440	3,60

Tableau 10: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'hiver à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	1015	2,54	948	2,37	696	1,74
	160cm	1444	3,61	1258	3,15	858	2,15
2	80cm	1130	2,83	1085	2,71	737	1,84
	160cm	1552	3,88	1235	3,09	853	2,13
3	80cm	1057	2,64	1010	2,53	765	1,91
	160cm	1420	3,55	1230	3,08	920	2,30
4	80cm	820	2,05	824	2,06	645	1,61
	160cm	940	2,35	842	2,11	683	1,71
5	80cm	736	1,84	732	1,83	655	1,64
	160 cm	436	1,09	425	1,06	322	0,81

Tableau 11: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'hiver à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	575	1,44	885	2,21	833	2,08	797	1,99
	160cm	535	1,34	515	1,29	460	1,15	336	0,84
2	80cm	765	1,91	947	2,37	953	2,38	620	1,55
	160cm	910	2,28	855	2,14	1012	2,53	645	1,61
3	80cm	1098	2,75	1210	3,03	1266	3,17	822	2,06
	160cm	1189	2,97	1260	3,15	1658	4,15	832	2,08
4	80cm	1160	2,90	1357	3,39	1393	3,48	899	2,25
	160cm	1505	3,76	1610	4,03	1825	4,56	1005	2,51
5	80cm	1337	3,34	1487	3,72	1360	3,40	810	2,03
	160cm	1495	3,74	1396	3,49	1618	4,05	790	1,98
6	80cm	1112	2,78	1264	3,16	1217	3,04	712	1,78
	160cm	1465	3,66	1423	3,56	1770	4,43	725	1,81

Tableau 12: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'hiver à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	704	2,34	935	3,11	932	3,10
	160cm	858	2,85	1250	4,16	1320	4,39
2	80cm	778	2,59	965	3,21	914	3,04
	160cm	876	2,91	1180	3,92	1180	3,92
3	80cm	748	2,49	900	2,99	849	2,82
	160cm	783	2,60	1044	3,47	1076	3,58
4	80cm	703	2,34	842	2,80	811	2,70
	160cm	735	2,44	990	3,29	1120	3,72

Tableau 13: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'hiver à 12h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	478	1,59	584	1,94	484	1,61
	160cm	635	2,11	660	2,19	520	1,73
2	80cm	485	1,61	597	1,98	498	1,66
	160cm	638	2,12	662	2,20	540	1,80
3	80cm	480	1,60	547	1,82	480	1,60
	160cm	616	2,05	616	2,05	512	1,70
4	80cm	425	1,41	474	1,58	398	1,32
	160cm	554	1,84	557	1,85	454	1,51
5	80cm	358	1,19	399	1,33	354	1,18
	160 cm	350	1,16	316	1,05	272	0,90

Tableau 14: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'hiver à 12h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	207	0,69	310	1,03	299	0,99	280	0,93
	160cm	216	0,72	197	0,65	200	0,66	140	0,47
2	80cm	318	1,06	326	1,08	335	1,11	263	0,87
	160cm	442	1,47	393	1,31	425	1,41	360	1,20
3	80cm	361	1,20	418	1,39	426	1,42	349	1,16
	160cm	438	1,46	430	1,43	409	1,36	341	1,13
4	80cm	398	1,32	464	1,54	445	1,48	366	1,22
	160cm	460	1,53	503	1,67	481	1,60	448	1,49
5	80cm	412	1,37	454	1,51	477	1,59	401	1,33
	160cm	453	1,51	404	1,34	470	1,56	388	1,29
6	80cm	326	1,08	393	1,31	421	1,40	328	1,09
	160cm	407	1,35	440	1,46	505	1,68	381	1,27

Tableau 15: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'hiver à 12h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	450	5,98	540	7,18	494	6,57
	160cm	530	7,05	685	9,11	633	8,42
2	80cm	468	6,22	552	7,34	511	6,80
	160cm	512	6,81	624	8,30	573	7,62
3	80cm	478	6,36	560	7,45	499	6,64
	160cm	506	6,73	592	7,87	552	7,34
4	80cm	529	7,03	568	7,55	508	6,76
	160cm	473	6,29	589	7,83	571	7,59

Tableau 16: Eclaircements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'hiver à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	427	5,68	420	5,59	349	4,64
	160cm	557	7,41	519	6,90	445	5,92
2	80cm	440	5,85	456	6,06	392	5,21
	160cm	542	7,21	538	7,15	438	5,82
3	80cm	539	7,17	539	7,17	456	6,06
	160cm	568	7,55	589	7,83	469	6,24
4	80cm	392	5,21	429	5,70	379	5,04
	160cm	530	7,05	525	6,98	479	6,37
5	80cm	343	4,56	368	4,89	314	4,18
	160 cm	353	4,69	354	4,71	265	3,52

Tableau 17: Eclaircements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'hiver à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	143	1,90	242	3,22	249	3,31	334	4,44
	160cm	143	1,90	148	1,97	148	1,97	205	2,73
2	80cm	225	2,99	244	3,24	293	3,90	350	4,65
	160cm	343	4,56	300	3,99	404	5,37	452	6,01
3	80cm	298	3,96	317	4,22	364	4,84	468	6,22
	160cm	336	4,47	317	4,22	388	5,16	464	6,17
4	80cm	378	5,03	402	5,35	413	5,49	449	5,97
	160cm	495	6,58	458	6,09	410	5,45	501	6,66
5	80cm	361	4,80	401	5,33	434	5,77	445	5,92
	160cm	330	4,39	351	4,67	415	5,52	450	5,98
6	80cm	286	3,80	338	4,49	368	4,89	338	4,49
	160cm	364	4,84	340	4,52	450	5,984043	374	4,97

Tableau 18: Eclaircements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'hiver à 14h GMT.

**2-Péride équinoxiale :**

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	211	2,21	372	3,90	325	3,40
	160cm	266	2,79	513	5,37	437	4,58
2	80cm	200	2,89	308	3,23	298	3,12
	160cm	242	2,53	392	4,10	346	3,62
3	80cm	210	2,20	287	3,01	272	2,85
	160cm	215	2,25	318	3,33	287	3,01
4	80cm	202	2,12	252	2,64	235	2,46
	160cm	232	2,43	326	3,41	304	3,18

Tableau 19: Eclairages lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'équinoxiale à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	153	1,60	305	3,19	273	2,86	315	3,30
	160cm	119	1,25	120	1,26	129	1,35	115	1,20
2	80cm	233	2,44	256	2,68	228	2,39	230	2,41
	160cm	375	3,93	338	3,54	335	3,51	327	3,42
3	80cm	452	4,73	482	5,05	584	6,12	516	5,40
	160cm	495	5,18	448	4,69	504	5,28	458	4,80
4	80cm	580	6,07	676	7,08	607	6,36	459	4,81
	160cm	763	7,99	834	8,73	832	8,71	664	6,95
5	80cm	855	8,95	1124	11,77	1127	11,80	1090	11,41
	160cm	615	6,44	705	7,38	865	9,06	920	9,63
6	80cm	675	7,07	935	9,79	1039	10,88	998	10,45
	160cm	735	7,70	960	10,05	1290	13,51	1052	11,02

Tableau 20: Eclairages lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'équinoxiale à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	430	4,50	452	4,73	277	2,90
	160cm	560	5,86	576	6,03	390	4,08
2	80cm	330	3,46	346	3,62	286	2,99
	160cm	416	4,36	448	4,69	273	2,86
3	80cm	243	2,54	267	2,80	288	3,02
	160cm	261	2,73	279	2,92	309	3,24
4	80cm	219	2,29	240	2,51	239	2,50
	160cm	292	3,06	308	3,23	317	3,32
5	80cm	150	1,57	159	1,66	167	1,75
	160 cm	107	1,12	116	1,21	119	1,25

Tableau 21: Eclairages lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'équinoxiale à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	930	1,99	1051	2,25	920	1,97
	160cm	1250	2,67	1483	3,17	1084	2,32
2	80cm	794	1,70	877	1,87	821	1,75
	160cm	1104	2,36	963	2,06	900	1,92
3	80cm	756	1,62	876	1,87	807	1,72
	160cm	783	1,67	926	1,98	870	1,86
4	80cm	734	1,57	842	1,80	776	1,66
	160cm	776	1,66	949	2,03	870	1,86

Tableau 22: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'équinoxe à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	305	0,65	532	1,14	530	1,13	498	1,06
	160cm	245	0,52	261	0,56	289	0,62	225	0,48
2	80cm	436	0,93	483	1,03	475	1,01	404	0,86
	160cm	645	1,38	614	1,31	698	1,49	612	1,31
3	80cm	775	1,66	879	1,88	846	1,81	680	1,45
	160cm	911	1,95	780	1,67	800	1,71	788	1,68
4	80cm	833	1,78	1160	2,48	1094	2,34	692	1,48
	160cm	1030	2,20	1255	2,68	1166	2,49	897	1,92
5	80cm	816	1,74	998	2,13	1014	2,17	688	1,47
	160cm	785	1,68	842	1,80	943	2,01	880	1,88
6	80cm	690	1,47	872	1,86	905	1,93	652	1,39
	160cm	808	1,73	932	1,99	990	2,12	894	1,91

Tableau 23: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'équinoxe à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	898	1,92	1068	2,28	1052	2,25
	160cm	1068	2,28	1521	3,25	1494	3,19
2	80cm	881	1,88	1057	2,26	958	2,05
	160cm	1024	2,19	1217	2,60	1004	2,15
3	80cm	772	1,65	876	1,87	778	1,66
	160cm	836	1,79	965	2,06	1006	2,15
4	80cm	694	1,48	784	1,68	602	1,29
	160cm	894	1,91	1098	2,35	936	2,00
5	80cm	474	1,01	471	1,01	463	0,99
	160 cm	376	0,80	396	0,85	323	0,69

Tableau 24: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'équinoxe à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	2350	3,25	4760	6,58	5450	7,53
	160cm	2700	3,73	4590	6,34	10180	14,06
2	80cm	2580	3,56	5510	7,61	5940	8,21
	160cm	3020	4,17	12000	16,58	7780	10,75
3	80cm	2750	3,80	4880	6,74	6760	9,34
	160cm	2840	3,92	5300	7,32	6450	8,91
4	80cm	2470	3,41	4630	6,40	6940	9,59
	160cm	2620	3,62	27000	37,30	33000	45,59

Tableau 25: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'équinoxe à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	1100	1,52	1250	1,73	1350	1,87	360	0,50
	160cm	124	0,17	320	0,44	1090	1,51	150	0,21
2	80cm	1920	2,65	2090	2,89	1690	2,33	1080	1,49
	160cm	2900	4,01	3450	4,77	2650	3,66	1260	1,74
3	80cm	2100	2,90	3560	4,92	3280	4,53	1440	1,99
	160cm	2180	3,01	2290	3,16	2590	3,58	1270	1,75
4	80cm	3150	4,35	3500	4,84	3210	4,43	2460	3,40
	160cm	36400	50,29	52200	72,12	50500	69,77	1720	2,38
5	80cm	3350	4,63	3720	5,14	3340	4,61	2890	3,99
	160cm	3220	4,45	3540	4,89	3040	4,20	1776	2,45
6	80cm	3680	5,08	3650	5,04	3180	4,39	3100	4,28
	160cm	4600	6,36	3460	4,78	4050	5,60	1424	1,97

Tableau 26: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'équinoxe à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	5310	7,34	4482	6,19	2120	2,93
	160cm	5900	8,15	3736	5,16	2770	3,83
2	80cm	5260	7,27	3380	4,67	1980	2,74
	160cm	3760	5,19	3320	4,59	2230	3,08
3	80cm	4310	5,95	3150	4,35	1830	2,53
	160cm	3150	4,35	2750	3,80	1950	2,69
4	80cm	2040	2,82	2160	2,98	1470	2,03
	160cm	2930	4,05	2860	3,95	1800	2,49
5	80cm	1500	2,07	1360	1,88	1080	1,49
	160 cm	816	1,13	736	1,02	698	0,96

Tableau 27: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'équinoxe à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	646	4,65	820	5,90	792	5,70
	160cm	695	5,00	948	6,82	1026	7,38
2	80cm	625	4,50	772	5,55	696	5,01
	160cm	722	5,19	827	5,95	767	5,52
3	80cm	601	4,32	721	5,19	680	4,89
	160cm	645	4,64	800	5,76	854	6,14
4	80cm	586	4,22	718	5,17	690	4,96
	160cm	664	4,78	802	5,77	830	5,97

Tableau 28: Eclairagements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'équinoxe à 12h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	243	1,75	371	2,67	388	2,79	354	2,55
	160cm	220	1,58	218	1,57	239	1,72	181	1,30
2	80cm	334	2,40	373	2,68	364	2,62	288	2,07
	160cm	429	3,09	418	3,01	463	3,33	340	2,45
3	80cm	448	3,22	492	3,54	511	3,68	392	2,82
	160cm	522	3,76	505	3,63	570	4,10	425	3,06
4	80cm	482	3,47	530	3,81	540	3,88	404	2,91
	160cm	593	4,27	546	3,93	618	4,45	436	3,14
5	80cm	521	3,75	704	5,06	628	4,52	588	4,23
	160cm	560	4,03	546	3,93	638	4,59	600	4,32
6	80cm	490	3,53	560	4,03	608	4,37	471	3,39
	160cm	585	4,21	590	4,24	675	4,86	525	3,78

Tableau 29: Eclairagements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'équinoxe à 12h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	522	3,76	698	5,02	473	3,40
	160cm	698	5,02	754	5,42	519	3,73
2	80cm	570	4,10	613	4,41	489	3,52
	160cm	660	4,75	720	5,18	530	3,81
3	80cm	470	3,38	586	4,22	483	3,47
	160cm	613	4,41	522	3,76	492	3,54
4	80cm	325	2,34	328	2,36	382	2,75
	160cm	440	3,17	527	3,79	428	3,08
5	80cm	267	1,92	271	1,95	269	1,94
	160 cm	195	1,40	199	1,43	193	1,39

Tableau 30: Eclairagements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'équinoxe à 12h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	794	4,81	998	6,05	856	5,19
	160cm	982	5,95	1244	7,54	1066	6,46
2	80cm	844	5,12	1048	6,35	926	5,61
	160cm	1035	6,27	1167	7,07	1022	6,19
3	80cm	787	4,77	1018	6,17	929	5,63
	160cm	848	5,14	1160	7,03	958	5,81
4	80cm	886	5,37	1041	6,31	912	5,53
	160cm	1021	6,19	1212	7,35	1047	6,35

Tableau 31: Eclairagements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'équinoxe à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	284	1,72	534	3,24	449	2,72	563	3,41
	160cm	270	1,64	293	1,78	269	1,63	350	2,12
2	80cm	380	2,30	455	2,76	432	2,62	459	2,78
	160cm	620	3,76	575	3,48	715	4,33	633	3,84
3	80cm	585	3,55	645	3,91	695	4,21	737	4,47
	160cm	638	3,87	743	4,50	765	4,64	815	4,94
4	80cm	619	3,75	960	5,82	730	4,42	688	4,17
	160cm	857	5,19	1083	6,56	906	5,49	574	3,48
5	80cm	686	4,16	795	4,82	645	3,91	628	3,81
	160cm	565	3,42	627	3,80	580	3,52	610	3,70
6	80cm	562	3,41	724	4,39	505	3,06	512	3,10
	160cm	633	3,84	681	4,13	654	3,96	505	3,06

Tableau 32: Eclairagements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'équinoxe à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ	Eclairement	FLJ
1	80cm	840	5,09	1156	7,01	736	4,46
	160cm	1125	6,82	1412	8,56	960	5,82
2	80cm	798	4,84	1024	6,21	685	4,15
	160cm	964	5,84	1326	8,04	845	5,12
3	80cm	794	4,81	930	5,64	841	5,10
	160cm	1089	6,60	1220	7,39	925	5,61
4	80cm	636	3,85	828	5,02	668	4,05
	160cm	864	5,24	1060	6,42	811	4,92
5	80cm	615	3,73	625	3,79	619	3,75
	160 cm	482	2,92	488	2,96	480	2,91

Tableau 33: Eclairagements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'équinoxe à 14h GMT.

AXES	hauteur	A	B	C
		Eclairage	Eclairage	Eclairage
1	80cm	1109	1262	1160
	160cm	974	1554	1430
2	80cm	1070	1186	1193
	160cm	1125	1425	1286
3	80cm	1012	1080	1020
	160cm	1022	1319	1052
4	80cm	955	1181	1075
	160cm	1013	1408	1278

Tableau 34: Eclairages lumineux dans la salle 82 sous ciel semi couvert d'équinoxe à 12h GMT.

AXES	hauteur	A	B	C	D
		Eclairage	Eclairage	Eclairage	Eclairage
1	80cm	318	629	616	583
	160cm	283	251	296	236
2	80cm	457	665	566	390
	160cm	736	815	785	522
3	80cm	890	960	865	674
	160cm	924	840	990	730
4	80cm	1093	1154	1043	720
	160cm	1450	1508	1278	922
5	80cm	1260	1560	1423	1198
	160cm	1147	1317	1367	1027
6	80cm	1124	1280	1338	922
	160cm	1132	1234	1420	984

Tableau 35: Eclairages lumineux dans la salle 54-55 sous ciel semi couvert d'équinoxe à 12h GMT.

AXES	hauteur	A	B	C
		Eclairage	Eclairage	Eclairage
1	80cm	1025	1256	991
	160cm	1170	1424	1384
2	80cm	870	920	977
	160cm	1040	1070	1065
3	80cm	723	876	884
	160cm	990	1074	1120
4	80cm	783	818	667
	160cm	1014	1113	1032
5	80cm	551	564	528
	160 cm	404	437	350

Tableau 36: Eclairages lumineux dans la salle 59 sous ciel semi couvert d'équinoxe à 12h GMT.

**3-Période estivale :**

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	920	1,53	950	1,58	924	1,54
	160cm	1721	2,87	3230	5,38	1788	2,98
2	80cm	1450	2,42	1717	2,86	1330	2,22
	160cm	1797	3,00	1992	3,32	1360	2,27
3	80cm	2350	3,92	1610	2,68	1510	2,52
	160cm	2080	3,47	1260	2,10	1620	2,70
4	80cm	1260	2,10	1400	2,33	1310	2,18
	160cm	1360	2,27	1570	2,62	1650	2,75

Tableau 37: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'été à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	12720	21,20	11420	19,03	10410	17,35
	160cm	3560	5,93	4180	6,97	3750	6,25
2	80cm	2960	4,93	3360	5,60	3040	5,07
	160cm	2400	4,00	2510	4,18	2670	4,45
3	80cm	2180	3,63	2380	3,97	2240	3,73
	160cm	1750	2,92	2030	3,38	3230	5,38
4	80cm	1880	3,13	1980	3,30	2160	3,60
	160cm	6550	10,92	4150	6,92	12380	20,63
5	80cm	750	1,25	770	1,28	1270	2,12
	160 cm	500	0,83	660	1,10	554	0,92

Tableau 38: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'été à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	699	1,17	754	1,26	749	1,25	752	1,25
	160cm	675	1,13	688	1,15	680	1,13	690	1,15
2	80cm	940	1,57	1080	1,80	1078	1,80	1006	1,68
	160cm	1246	2,08	1309	2,18	1287	2,15	1210	2,02
3	80cm	1269	2,12	1581	2,64	1452	2,42	1570	2,62
	160cm	1420	2,37	1360	2,27	1288	2,15	1490	2,48
4	80cm	2025	3,38	2066	3,44	2190	3,65	2120	3,53
	160cm	2430	4,05	2640	4,40	2570	4,28	2480	4,13
5	80cm	3520	5,87	3700	6,17	3720	6,20	3389	5,65
	160cm	3180	5,30	3225	5,38	3353	5,59	3255	5,43
6	80cm	2090	3,48	3270	5,45	3305	5,51	3055	5,09
	160cm	2205	3,68	3442	5,74	3388	5,65	2985	4,98

Tableau 39: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'été à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	682	1,88	716	1,98	564	1,56
	160cm	934	2,58	933	2,58	800	2,21
2	80cm	853	2,36	795	2,20	754	2,08
	160cm	985	2,72	878	2,43	885	2,44
3	80cm	780	2,15	688	1,90	652	1,80
	160cm	799	2,21	763	2,11	709	1,96
4	80cm	714	1,97	826	2,28	582	1,61
	160cm	705	1,95	718	1,98	599	1,65

Tableau 40: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel couvert d'été à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	797	2,20	1114	3,08	923	2,55
	160cm	1305	3,60	1455	4,02	1245	3,44
2	80cm	962	2,66	1118	3,09	980	2,71
	160cm	1246	3,44	1185	3,27	1065	2,94
3	80cm	999	2,76	1287	3,56	1095	3,02
	160cm	1050	2,90	1438	3,97	1245	3,44
4	80cm	805	2,22	1170	3,23	894	2,47
	160cm	1213	3,35	1400	3,87	1118	3,09
5	80cm	605	1,67	654	1,81	555	1,53
	160 cm	622	1,72	615	1,70	538	1,49

Tableau 41: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel couvert d'été à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	250	0,69	432	1,19	430	1,19	398	1,10
	160cm	190	0,52	161	0,44	189	0,52	125	0,35
2	80cm	336	0,93	383	1,06	375	1,04	304	0,84
	160cm	545	1,51	514	1,42	598	1,65	512	1,41
3	80cm	675	1,86	779	2,15	746	2,06	580	1,60
	160cm	811	2,24	720	1,99	700	1,93	688	1,90
4	80cm	733	2,02	1060	2,93	994	2,75	592	1,64
	160cm	930	2,57	1155	3,19	1066	2,94	797	2,20
5	80cm	716	1,98	898	2,48	914	2,52	588	1,62
	160cm	685	1,89	810	2,24	843	2,33	574	1,59
6	80cm	590	1,63	772	2,13	805	2,22	552	1,52
	160cm	708	1,96	832	2,30	890	2,46	590	1,63

Tableau 42: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel couvert d'été à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	3890	6,16	4326	6,86	4360	6,91
	160cm	4180	6,62	5230	8,29	4725	7,49
2	80cm	4050	6,42	5000	7,92	4850	7,69
	160cm	4365	6,92	5810	9,21	5260	8,34
3	80cm	4110	6,51	6050	9,59	6450	10,22
	160cm	4531	7,18	6500	10,30	5737	9,09
4	80cm	4690	7,43	6263	9,93	6953	11,02
	160cm	5425	8,60	6752	10,70	7796	12,35

Tableau 43: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'été à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	5050	8,00	4730	7,50	3890	6,16
	160cm	14000	22,19	6060	9,60	5680	9,00
2	80cm	5850	9,27	4590	7,27	3150	4,99
	160cm	3500	5,55	3900	6,18	5250	8,32
3	80cm	4450	7,05	4290	6,80	3750	5,94
	160cm	2460	3,90	2690	4,26	2620	4,15
4	80cm	1330	2,11	1950	3,09	1690	2,68
	160cm	1700	2,69	2700	4,28	2400	3,80
5	80cm	1110	1,76	1070	1,70	1300	2,06
	160 cm	960	1,52	950	1,51	830	1,32

Tableau 44: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'été à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	868	1,56	950	1,71	955	1,72	1040	1,87
	160cm	978	1,76	957	1,72	896	1,61	710	1,28
2	80cm	1989	3,58	1625	2,93	2320	4,18	2230	4,02
	160cm	3210	5,78	1920	3,46	3990	7,19	4200	7,57
3	80cm	4060	7,32	2570	4,63	3670	6,61	3200	5,77
	160cm	3110	5,60	2600	4,68	2810	5,06	3180	5,73
4	80cm	4720	8,50	4250	7,66	5000	9,01	4770	8,59
	160cm	5800	10,45	36300	65,41	14300	25,77	10550	19,01
5	80cm	4570	8,23	4830	8,70	4550	8,20	3790	6,83
	160cm	4040	7,28	4010	7,23	3130	5,64	2900	5,23
6	80cm	5800	10,45	5350	9,64	4400	7,93	3530	6,36
	160cm	5500	9,91	4950	8,92	5420	9,77	3780	6,81

Tableau 45: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'été à 9h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	631	4,97	716	5,64	657	5,17
	160cm	760	5,98	881	6,94	837	6,59
2	80cm	624	4,91	735	5,79	613	4,83
	160cm	730	5,75	863	6,80	775	6,10
3	80cm	613	4,83	767	6,04	615	4,84
	160cm	683	5,38	859	6,76	746	5,87
4	80cm	612	4,82	742	5,84	648	5,10
	160cm	677	5,33	894	6,04	780	6,14

Tableau 46: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'été à 12h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	571	4,50	659	5,19	540	4,25
	160cm	653	5,14	740	5,83	635	5,00
2	80cm	600	4,72	686	5,40	553	4,35
	160cm	744	5,86	785	6,18	650	5,12
3	80cm	514	4,05	583	4,59	469	3,69
	160cm	636	5,01	667	5,25	548	4,31
4	80cm	354	2,79	402	3,17	324	2,55
	160cm	397	3,13	457	3,60	366	2,88
5	80cm	430	3,39	389	3,06	378	2,98
	160 cm	242	1,91	260	2,05	260	2,05

Tableau 47: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'été à 12h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	238	1,87	259	2,04	355	2,80	323	2,54
	160cm	238	1,87	248	1,95	232	1,83	197	1,55
2	80cm	352	2,77	397	3,13	451	3,55	382	3,01
	160cm	450	3,54	436	3,43	553	4,35	474	3,73
3	80cm	464	3,65	518	4,08	512	4,03	419	3,30
	160cm	562	4,43	522	4,11	534	4,20	430	3,39
4	80cm	527	4,15	504	3,97	529	4,17	417	3,28
	160cm	562	4,43	600	4,72	616	4,85	508	4,00
5	80cm	523	4,12	540	4,25	565	4,45	431	3,39
	160cm	580	4,57	591	4,65	563	4,43	453	3,57
6	80cm	458	3,61	525	4,13	469	3,69	405	3,19
	160cm	574	4,52	616	4,85	630	4,96	550	4,33

Tableau 48: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'été à 12h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	657	6,81	670	6,94	610	6,32
	160cm	690	7,15	710	7,36	685	7,10
2	80cm	627	6,50	713	7,39	633	6,56
	160cm	711	7,37	785	8,13	636	6,59
3	80cm	682	7,07	778	8,06	688	7,13
	160cm	740	7,67	836	8,66	708	7,34
4	80cm	630	6,53	702	7,27	592	6,13
	160cm	500	5,18	657	6,81	576	5,97

Tableau 49: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 82 sous ciel clair d'été à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	557	5,77	629	6,52	510	5,28
	160cm	690	7,15	700	7,25	585	6,06
2	80cm	627	6,50	678	7,03	533	5,52
	160cm	711	7,37	773	8,01	636	6,59
3	80cm	682	7,07	733	7,60	588	6,09
	160cm	840	8,70	895	9,27	708	7,34
4	80cm	430	4,46	493	5,11	392	4,06
	160cm	500	5,18	557	5,77	476	4,93
5	80cm	418	4,33	454	4,70	412	4,27
	160 cm	359	3,72	362	3,75	344	3,56

Tableau 50: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 59 sous ciel clair d'été à 14h GMT.

AXES	hauteur	A		B		C		D	
		Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ	Eclaircement	FLJ
1	80cm	330	3,59	434	4,72	429	4,66	367	3,99
	160cm	342	3,72	363	3,95	396	4,30	323	3,51
2	80cm	450	4,89	504	5,48	522	5,67	453	4,92
	160cm	518	5,63	535	5,82	620	6,74	545	5,92
3	80cm	660	7,17	689	7,49	713	7,75	578	6,28
	160cm	733	7,97	660	7,17	761	8,27	604	6,57
4	80cm	608	6,61	633	6,88	641	6,97	568	6,17
	160cm	628	6,83	638	6,93	650	7,07	484	5,26
5	80cm	565	6,14	535	5,82	609	6,62	474	5,15
	160cm	602	6,54	647	7,03	652	7,09	463	5,03
6	80cm	522	5,67	537	5,84	533	5,79	436	4,74
	160cm	698	7,59	683	7,42	760	8,26	571	6,21

Tableau 51: Eclairnements lumineux et iso facteurs de lumière du jour dans la salle 54-55 sous ciel clair d'été à 14h GMT.

AXES	hauteur	A	B	C
		Eclairément	Eclairément	Eclairément
1	80cm	610	925	821
	160cm	720	1305	1186
2	80cm	592	886	878
	160cm	798	985	1146
3	80cm	712	802	834
	160cm	862	988	1048
4	80cm	563	946	582
	160cm	591	948	888

Tableau 52: Eclairéments lumineux dans la salle 82 sous ciel semi couvert d'été à 12hGMT.

AXES	hauteur	A	B	C
		Eclairément	Eclairément	Eclairément
1	80cm	445	492	530
	160cm	505	568	715
2	80cm	454	525	526
	160cm	614	612	693
3	80cm	388	427	432
	160cm	508	522	545
4	80cm	285	315	265
	160cm	419	445	330
5	80cm	668	305	621
	160 cm	163	188	161

Tableau 53: Eclairéments lumineux dans la salle 59 sous ciel semi couvert d'été à 12hGMT.

AXES	hauteur	A	B	C	D
		Eclairément	Eclairément	Eclairément	Eclairément
1	80cm	237	322	431	341
	160cm	254	238	320	224
2	80cm	667	452	800	509
	160cm	938	750	1020	633
3	80cm	838	970	992	733
	160cm	1173	1113	1172	770
4	80cm	1080	1008	964	796
	160cm	1288	1214	1421	933
5	80cm	1172	1180	1236	908
	160cm	1198	990	1705	980
6	80cm	901	885	864	655
	160cm	962	1005	1095	1025

Tableau 54: Eclairéments lumineux dans la salle 54-55 sous ciel semi couvert d'été à 12hGMT.

Tableau 55: Eclairagements lumineux dans la salle 82 sous ciel semi couvert d'été à 14h GMT.

AXES	hauteur	A	B	C
		Eclairement	Eclairement	Eclairement
1	80cm	804	862	671
	160cm	925	1055	789
2	80cm	809	882	710
	160cm	1141	1180	810
3	80cm	955	975	769
	160cm	1040	1182	960
4	80cm	543	614	487
	160cm	630	706	573
5	80cm	690	575	630
	160 cm	446	514	413

Tableau 56: Eclairagements lumineux dans la salle 59 sous ciel semi couvert d'été à 14h GMT.

AXES	hauteur	A	B	C	D
		Eclairement	Eclairement	Eclairement	Eclairement
1	80cm	418	333	737	560
	160cm	458	440	1083	396
2	80cm	635	602	626	695
	160cm	894	740	485	1005
3	80cm	935	1047	1079	824
	160cm	943	950	1012	733
4	80cm	1024	994	995	752
	160cm	1221	1110	1250	960
5	80cm	771	1040	1006	866
	160cm	595	815	995	780
6	80cm	612	622	945	808
	160cm	716	812	1096	1083

Tableau 57: Eclairagements lumineux dans la salle 54-55 sous ciel semi couvert d'été à 14h GMT.

Date : Constantine, le    /    /2005

Heure : Salle de cours N° : **1-Généralités :**1. Sexe     F                       M

2. Age :

 < 20 ans. 31-35 ans. 20-25 ans. 36-40 ans. 26-30 ans. +40 ans.

3. Groupe d'usagers :

 Etudiant (e) Enseignant (e)4. Combien d'heures passez-vous dans les salles de cours du bloc des lettres ?     Heure/jour    ou     Heure/semaine**2-Ambiance lumineuse :**

5. Appréciez vous la présence de la lumière naturelle dans les salles de cours ?

 Pas du tout Un peu Modérément Beaucoup

6. **En Hiver**, trouvez vous que la lumière naturelle disponible dans la salle de cours est:

- Insuffisante (Salle sombre)
- Peu suffisante (salle peu éclairée)
- Suffisante (salle claire)
- Très suffisante (salle très claire)

7. **En été**, trouvez vous que la lumière naturelle disponible dans la salle de cours est:

- Insuffisante (salle sombre)
- Peu suffisante (salle peu éclairée)
- Suffisante (salle claire)
- Très suffisante (salle très claire)
- Excessive

### **3-Lumière solaire directe:**

8. Appréciez vous la présence de la lumière solaire directe dans votre champ de vision ?

Oui  Non

9. Recevez vous des tâches solaires sur votre table ?

- Pas du tout
- Parfois
- Souvent

10. Etes vous gêné dans votre travail par la présence des rayons solaires directs?

- Pas du tout
- Un peu

Modérément

Beaucoup

11. Lorsque les rayons solaires sont intenses sur votre table, que faites vous ?

Ouvrir la porte ou les fenêtres.

Se déplacer vers une autre table plus confortable dans la salle.

Déplacer la table dans une zone ombrée de la salle.

Sortir hors de la salle.

Essayer d'ignorer tout inconfort et se concentrer sur votre travail.

Autres (précisez).....

12. La réflexion des rayons solaires sur le tableau gêne-t-elle votre vision ?

Pas du tout

Un peu

Modérément

Beaucoup

13. En terme de chaleur, trouvez vous que la salle de cours est inconfortable?

pas du tout.

un peu.

modérément.

beaucoup.

14. Aimeriez vous contrôler la pénétration des rayons solaires dans la salle à l'aide d'un système de protection solaire ?  Oui  Non

Si OUI, quel est il ?

.....

15. Souffrez vous de l'éblouissement des rayons solaires ?

Pas du tout

Un peu

Modérément

Beaucoup

16. Quelles sont les sources d'éblouissement qui vous gênent?

Soleil.

Ciel.

Fenêtres.

Réflexions des parois internes.

Réflexions du tableau.

Appareils d'éclairage électrique.

## **RESUME**

En Algérie, plus du quart de la population est sur les bancs des écoles, collèges, lycées et universités. De nombreuses recherches sur l'éclairage naturel dans les salles de classe ont affirmé que la lumière naturelle a des effets positifs et significatifs sur les performances intellectuelles des élèves, leur santé et leur assiduité.

L'objectif de notre étude consiste donc à tester l'efficacité du système d'éclairage naturel indirect zénithal dans les salles de classe sous le climat lumineux de la ville de Constantine. Ce type d'éclairage pourrait répondre aux problèmes de confort visuel constamment renouvelé dans nos constructions scolaires, notamment les problèmes d'uniformité, d'éblouissement et de surchauffe estivale. Pour cela, nous avons procédé à une évaluation post occupation des salles de cours du bloc des lettres de l'université Mentouri de Constantine qui sont éclairées par des lanterneaux verticaux. Cette évaluation, à la fois quantitative et qualitative, s'est basée sur une campagne de mesure à l'aide d'instrumentation technique (luxmètre) en différentes périodes de l'année académique ainsi qu'un questionnaire adressé aux usagers de ces salles de cours.

Cette évaluation nous a permis de constater que les conditions d'éclairage naturel des salles de cours du bloc des lettres n'étaient pas très confortables visuellement et thermiquement. D'une part, les lanterneaux verticaux fournissent des niveaux d'éclairement lumineux élevés et une uniformité de l'éclairage, mais d'autres problèmes liés à l'ensoleillement direct provoquent de l'éblouissement, de forts contrastes et des ombres gênantes en période chaude. Le questionnaire a démontré de son côté que les usagers des salles de cours, à savoir les étudiants et les enseignants, ne sont pas satisfaits des conditions d'éclairage naturel de leur environnement de travail. Nous avons relevé également que les performances lumineuses de ces lanterneaux dépendaient étroitement de l'indice de vitrage, de l'orientation des ouvertures, des protections solaires ainsi que de la couleur des surfaces intérieures.

### **Mots clés :**

Eclairage naturel zénithal indirect, lanterneau vertical, confort visuel, salle de classe, climat lumineux, facteur de lumière du jour, éclairement lumineux.

## **SUMMARY**

In Algeria, more of the quarter of the population is attending educational premises (schools, colleges and universities).

The recourse to daylighting classrooms is recognised by many researchers to affect positively intellectual pupils scholastic activities, their health and their assiduity.

In this sense, the objective of our study consists to examine the extent of the effectiveness of some indirect rooflighting classroom under Constantine luminous climate. This type of lighting could answer the problems of visual comfort constantly renewed in our school constructions, in particular the problems of uniformity, glare and estival overheating.

To check upon these problems, a Post Occupation Evaluation was carried within a number of classrooms. These were all housed in the “Letters Bloc” of the university Mentouri. The classrooms in question are off lit by vertical monitoring. The evaluation was at the same time quantitative and qualitative. It was based on a series of measurement by the means of technical instrumentation (light meter) throughout the academic year. More, a questionnaire was addressed to the users of these classrooms.

Such an evaluation enabled us to note that the conditions of lighting of classrooms of the letters bloc were not very comfortable visually and thermally. On one hand, the vertical monitoring provide high levels of illumination and a uniformity of lighting, but other problems resulted from the direct sunlight and involved glare. Strong contrasts and harsh shades in hot period are also produced. We also noted that the luminous performances of these monitoring depended closely on the index of glazing, the orientation of the openings, solar protections as well as interior surface colors. The questionnaire, in its turn, showed how classrooms users (both students and teachers) are not satisfied with the daylighting conditions of their work environment.

### **Key words:**

Indirect rooflighting, vertical monitoring, visual comfort, classroom, luminous climate, daylight factor, illumination.

## ملخص

أكدت العديد من الأبحاث حول موضوع الإنارة الطبيعية في الأقسام التعليمية أن الضوء الطبيعي له آثار جد ايجابية و معتبرة على القدرات الدراسية للتلاميذ، على مثابرتهم و حتى على صحتهم النفسية و الجسدية.

إن أكثر من ربع سكان الجزائر يتواجدون على مقاعد المدارس، الاكمائيات، الثانويات و الجامعات حيث تعميم التعليم أدى إلى انفجار هام في عدد المتدربين مصحوب بحاجة ماسة إلى الهياكل البيداغوجية. ولكن رغم المجهودات المبذولة في هذا الصدد، لاحظنا أن هذه الاحتياجات الكمية حجت المتطلبات النوعية التي تواكبها، إذ لازلت هناك بعض التقنيات لم تتطور بعد خاصة فيما يتعلق بالإنارة التي تشكل موضوع بحثنا هذا، و التي تعتبر عامل مهم بالنسبة لأقسام التعليم و التربية. من جهة أخرى، لقد وجدنا أن الإنارة الطبيعية الجانبية هي الوسيلة الأكثر استعمالا بالرغم من أن كفاءاتها الضوئية محدودة.

انطلاقا من هذا المنظور، كان الهدف من دراستنا اختبار فعالية جهاز الإنارة الطبيعية سمتيه غير المباشرة في الأقسام الدراسية تحت المناخ الضوئي لمدينة قسنطينة لأننا نفترض أن هذا النوع من الإنارة الطبيعية بإمكانه حل مشاكل رفاهية الرؤية التي نصادفها عموما في المباني المدرسية كمشكل اللانسجام، البهر و فرط الإحماء الصيفي.

للتأكد من آثار هته الإنارة قمنا بتقييم ما بعد الشغل لأقسام الآداب لجامعة منتوري بقسنطينة التي تمتاز بإنارة سمتيه. لقد تم ذلك بفضل وسائل تقنية المتمثلة في لوكس متر الذي سمح لنا بالقيام بجملته من القياسات أثناء الفصول المختلفة من السنة الجامعية 2004/2005، إضافة إلى استمارة طبقت على مستعملي هته الأقسام ألا وهم الأساتذة و الطلبة.

هذا التقييم الكمي و النوعي سمح لنا بتسجيل أن ظروف إنارة أقسام الآداب ليست مريحة لا من الناحية الضوئية ولا الحرارية، فمن جهة les lanterneaux التي نجدها في الأقسام تمنح مستويات إنارة ضوئية مرتفعة و منسجمة. و لكن من جهة أخرى المشاكل المرتبطة بالتشمس المباشر تسبب البهر ، التناقض الحاد و ظلال مزعجة في الفترة الحارة. كما لاحظنا أيضا أن القدرات الضوئية لهذه الإنارة هي جد مرتبطة بإشارة الزجاج، بوجهة النوافذ، بالوقاية الشمسية و بلون المساحات الداخلية. أما الاستمارة فقد بينت لنا أن مستعملي هته الأقسام غير راضين بظروف الإنارة الطبيعية لمحيطهم الدراسي.

### كلمات مفاتيح :

إنارة طبيعية سمتيه غير مباشرة- أقسام دراسية- مناخ ضوئي - مستويات إنارة ضوئية.