

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



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم:.....
المرجع:.....

Mémoire présenté en vue de l'obtention
Du diplôme de
Magistère en architecture

Option :
Architecture, formes, ambiances et développement durable

La conception de la baie et la gestion des paramètres conflictuels

Présenté par :
BOUHIDEL Nour el Houda

Soutenu publiquement le 28 juin 2015

Devant le jury composé de :

Dr BENABBAS Moussadek
Pr MAZOUZ Saïd
Dr BELAKEHAL Azeddine
Pr CHOUGUI Ali

Président
Rapporteur
Examineur
Examineur

Université de Biskra
Université d'Oum el Bouaghi
Université de Biskra
Université de Sétif

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À ma Grand-mère

À mes Parents

À mes Beaux parents

À mon mari Tarik

À mes sœurs et mes belles sœurs

À ma sœur Samira et son mari Hakim

À ma belle sœur Souhila et son mari Ali

Aux petits enfants :

Amir, Amira, Sami, et les deux Mehdi

À mon beau frère et sa fiancée

À la famille Rouidi et Bouhidel

À la mémoire de ma Grand-mère

Remerciements

*J'ai la grande joie de remercier mon encadreur **M. MAZOUZ Saïd** pour m'avoir suivi, encadré et soutenu tout au long de cette expérience de recherche. L'enseignement que j'ai reçu de vous et les précieux conseils que vous avez bien voulu me prodiguer sont les principales raisons de ma réussite.*

J'exprime ma gratitude aux membres du jury de ce mémoire pour accepter d'y participer, et de contribuer à améliorer cette réflexion et stimuler celle à venir.

*Je tiens à remercier **M. BRICE Mayag** membre du laboratoire **LAMSAD**, Paris pour m'avoir fourni la documentation nécessaire pour cette recherche.*

*Mes remerciements vont aux enseignants de ma première année de post-graduation option « **AFADD** » université de Biskra.*

*Mes remerciements vont aussi à mes collègues du BET de M^{me} **BOUHIDEL Hassina** "ma chère maman" et aussi ma très chère amie Rima.*

A mes collègues de post graduation, vous savez certainement tout le plaisir que j'éprouve à vous présenter mes remerciements.

Mes remerciements vont à toute personne de près ou de loin qui a contribué à l'achèvement de ce mémoire.

A mon mari Tarik, les mots me manquent pour te traduire comme je voudrais le faire, la gratitude qui m'anime et la reconnaissance que je t'ai vouée.

Comment oublier mes parents, mes sœurs, et ma belle famille, ainsi que mes proches; À eux j'exprime mes vifs remerciements car ils n'ont cessé de me soutenir et de m'encourager pendant toute la période de cette recherche.

Résumé

La baie est un des plus complexes composants du bâtiment en raison du grand nombre de rôles contradictoires qu'elle doit jouer: éclairage et occultation, vue dehors et recherche d'intimité, pénétration du soleil et protection solaire. Il a toujours été difficile de répondre à toutes ces demandes surtout que la conception de la baie exige la gestion de tous ces paramètres conflictuels.

Avec l'avènement du développement durable les architectes ont entrepris de chercher l'optimisation et la gestion des différents paramètres de la baie mais la plupart des solutions se rangent plutôt dans la catégorie technique que conceptuelle. La prise en compte de cet aspect dans l'acte de bâtir va de soi puisque l'architecte se doit de concevoir une ambiance confortable. Notre travail consiste à chercher un modèle conceptuel pour la baie qui permet la gestion de tous ses paramètres, tout en basant sur un langage architectural qui aide les architectes à la conception de la baie tout en répondant aux exigences techniques de cette dernière.

Nous avons fixé comme objectifs à atteindre ce qui suit:

Proposer un outil d'aide pour la conception de la baie adaptée au projet architectural.

En outre, la gestion des différents paramètres conflictuels à travers un langage architectural. Tout en Adoptant une approche qui facilite la tâche de l'architecte lors de la conception de la baie en répondant aux différentes exigences conceptuelles.

Pour répondre à la problématique posée et suivant les hypothèses proposées nous avons choisi d'intervenir par les démarches suivantes :

Une analyse conceptuelle Dans un premier lieu et dans le but de comprendre la naissance et l'essence du concept de la baie.

En suite une méthode expérimentale dialectique qui vise à établir un rapport de cause à effet entre les variables, en adoptant une Approche multicritères qui vise à lier les différents paramètres à étudier.

Mots clés: la baie, la conception architecturale, l'approche multicritère, l'optimisation, gestion des paramètres, langage architectural, le développement durable, l'énergie renouvelable.

SOMMAIRE

Dédicaces :	I
Remerciements :	III
Résumé :	IV
Sommaire :	V
Liste des tableaux :	X
Liste des figures :	X
Liste des graphes :	XV
Index :	XVI

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :	1
Problématique :	5
Hypothèses et objectifs :	6
Méthodologie de recherche :	7
Structure du mémoire :	8

CHAPITRE N°1 :

La baie, symbolisme et historique

Introduction:	12
I.1. Aperçue historique :	14
I.1.1 La civilisation Egyptienne:	14
I.1.2 La Grèce ancienne:	15
I.1.3 La civilisation Romaine:	16
I.1.4 Moyen Age:	18
I.1.5 L'architecture vernaculaire (cas du M'Zab):	19
I.1.6 Du Vème siècle au XIXème siècle:	20
I.1.7 De la fenêtre au pan de verre dans l'œuvre de Le Corbusier:	24
- La Maison-Savoie à Poissy:	24
- La maison des Coopératives de Moscou:	25
I.2. Symbolisme de la baie:	29
Conclusion:	34

CHAPITRE N°2 :

Caractérisations formelles de la baie

Introduction:	36
II.1. Les éléments constituant la baie:	37
II.1.1 Eléments constructifs:	37
1) Linteau:	37
2) Dispositif pare-soleil:	37
3) Allège:	37

II.1.2 Les protections solaires:	38
1) Les objectifs:.....	38
2) Le positionnement des protections solaires:	40
3) Les caractéristiques:.....	41
4) Description des principales protections solaires:.....	41
II.1.3 Le vitrage:	46
1) Les différents types de vitrage:.....	46
2) Les exigences vis-à-vis des produits verriers:	47
3) Les performances du vitrage:.....	47
II.1.4 Le châssis:	49
1) Les différentes parties d'un châssis:	50
2) Les différents types de châssis:	51
3) Les fermetures, charnières et types d'ouvrants:.....	51
Conclusion:	53

CHAPITRE N°3 :

Caractérisations fonctionnelles de la baie

Introduction:.....	55
III.1. Les Fonctions de la baie:.....	57
III.2. Les paramètres de la baie:.....	57
III.2.1 Les Paramètres environnementaux:	57
1) La lumière naturelle:.....	57
- Type d'éclairage naturel:.....	58
- Le facteur de lumière du jour:.....	62
- Les conditions du ciel:	62
2) Paramètres thermiques:.....	65
- Transmission thermique:	65
- Confort thermique:.....	66
- L'ensoleillement:.....	67
- Le contrôle des apports solaires:.....	68
3) Paramètres acoustiques:.....	70
- L'indice d'affaiblissement Acoustique pondéré R_w :	71
- Le vitrage et l'isolation acoustique:	72
- L'étanchéité:	72
- Le type de châssis:	73
4) La ventilation:	73
5) L'influence des éléments climatiques:	75
- L'eau et le vent:	75
- La neige:	76
- La vapeur d'eau:	76
III.2.2 Paramètres architecturaux:	77
1) La forme des ouvertures:	77
2) La position de l'ouverture:.....	78
3) Les dimensions des ouvertures:	78
III.2.3 Paramètres psychosociaux:	79
1) Le confort visuel:.....	79
2) La vue à l'extérieur:	82
3) L'intimité:.....	85
Conclusion :	87

CHAPITRE N°4 :**La conception de la baie et l'approche multicritères**

Introduction:.....	89
IV.1. La conception architecturale de la baie:.....	90
IV.2. Méthodes et outils d'aide à la conception de la baie:	95
IV.2.1 Les règles expertes (savoir faire):.....	95
IV.2.2 Les codes simplifiés:.....	95
IV.2.3 Les codes spécialisés:	95
IV.3. La Décision devant la Multiplicité des Critères:.....	96
IV.4. La Méthode ELECTRE III:	100
Conclusion:	105

CHAPITRE N°5 :**L'approche multicritères et la méthode ELECTRE**

Introduction:.....	108
V.1. Les problématiques:	109
V.2. Les critères:.....	110
V.2.1 Sens des préférences :	110
V.2.2 Le modèle du pseudo critère:	111
V.3. Les seuils:.....	112
V.3.1 Seuil constant ou variable, seuil direct ou inverse :	112
V.3.2 Différents types des seuils:.....	113
V.3.3 Précautions pour la détermination des seuils:	113
V.4. Le tableau des performances:.....	114
V.5. Les différents types d'approches opérationnelles:.....	114
V.6. ELECTRE III ET IV :	115
V.6.1 ELECTRE III:	115
V.6.2 ELECTRE IV:.....	118
V.7. Algorithme de classement:.....	121
V.7.1 Principes généraux:	121
V.7.2 Construction du préordre intersection:.....	122
V.8. Résultats:.....	123
Conclusion:	124

CHAPITRE N°6 :**Présentation des logiciels d'analyse**

Introduction:.....	127
VI.1. Présentation du logiciel ECOTECT:.....	128
VII.1.1 Etapes de simulation:.....	129
VI.2. Présentation du logiciel ELECTRE III:	133
VI.2.1 Etapes d'utilisation:	134
Conclusion:	139

CHAPITRE N°7 :**Présentation du modèle d'analyse**

Introduction:.....	141
VII.1. Présentation du cas d'étude	142
VII.1.1 Typologie et caractéristiques générales du bâtiment adopté:	142
VII.1.2 Caractéristiques des matériaux et composition des murs:	146
VII.1.3 Caractéristiques des ouvertures:	147
VII.1.4 Les données climatologiques de la région de Jijel:	147
VII.2. Techniques de recherche:	151
VII.2.1 Technique d'expérimentation par simulation:	151
1) Orientation de l'immeuble:	152
2) Forme et surface des ouvertures:	153
3) Type de protections solaires:	154
4) Caractéristiques des matériaux de construction:.....	155
5) Objectifs des simulations:.....	156
VII.2.2 Technique du questionnaire :.....	156
1) L'échantillonnage:	157
2) L'élaboration du formulaire de questions:.....	157
VII.2.3 Technique du sondage:	158
VII.3. Synthèse:	159
Conclusion:	161

CHAPITRE N°8 :**Simulation des paramètres avec ECOTECT**

Introduction:.....	163
VIII.1. Codification des modèles d'analyse:.....	164
VIII.2. Résultats des Simulations des paramètres avec ECOTECT.....	166
VIII.2.1 Combinaison N°1 (N25):	166
1) L'éclairage naturel	166
2) L'ensoleillement:	167
3) L'isolation phonique:.....	168
4) La vue à l'extérieur:.....	168
5) Le confort thermique:	169
VIII.2.2 Combinaison N°2 (NPV25):	169
1) L'éclairage naturel.....	169
2) L'ensoleillement:	170
3) L'isolation phonique:.....	171
4) La vue à l'extérieur:.....	171
5) Le confort thermique:	172
VIII.2.3 Combinaison N°3 (NPH25):	172
1) L'éclairage naturel	172
2) L'ensoleillement:	173
3) L'isolation phonique:.....	174
4) La vue à l'extérieur:.....	174
5) Le confort thermique:	175
VIII.2.4 Combinaison N°7 (N50):	175
1) L'éclairage naturel.....	175
2) L'ensoleillement:	176
3) L'isolation phonique:.....	177

4) La vue à l'extérieur:.....	177
5) Le confort thermique:.....	178
VIII.2.5 Combinaison N°8 (NPV50):.....	178
1) L'éclairage naturel.....	178
2) L'ensoleillement:.....	179
3) L'isolation phonique:.....	180
4) La vue à l'extérieur:.....	180
5) Le confort thermique:.....	181
VIII.2.6 Combinaison N°9 (NPH50):.....	181
1) L'éclairage naturel.....	181
2) L'ensoleillement:.....	182
3) L'isolation phonique:.....	183
4) La vue à l'extérieur:.....	183
5) Le confort thermique:.....	184
VIII.2.7 Combinaison N°13 (N75):.....	184
1) L'éclairage naturel.....	184
2) L'ensoleillement:.....	185
3) L'isolation phonique:.....	186
4) La vue à l'extérieur:.....	186
5) Le confort thermique:.....	187
VIII.2.8 Combinaison N°14 (NPV75):.....	187
1) L'éclairage naturel.....	187
2) L'ensoleillement:.....	188
3) L'isolation phonique:.....	189
4) La vue à l'extérieur:.....	189
5) Le confort thermique:.....	190
VIII.2.9 Combinaison N°15 (NPH75):.....	190
1) L'éclairage naturel.....	190
2) L'ensoleillement:.....	191
3) L'isolation phonique:.....	192
4) La vue à l'extérieur:.....	192
5) Le confort thermique:.....	193
VIII.2.10 Combinaison N°19 (N100):.....	193
1) L'éclairage naturel.....	193
2) L'ensoleillement:.....	194
3) L'isolation phonique:.....	195
4) La vue à l'extérieur:.....	195
5) Le confort thermique:.....	196
VIII.2.11 Combinaison N°20 (NPV10):.....	196
1) L'éclairage naturel.....	196
2) L'ensoleillement:.....	197
3) L'isolation phonique:.....	198
4) La vue à l'extérieur:.....	198
5) Le confort thermique:.....	199
VIII.2.12 Combinaison N°21 (NPH10):.....	199
1) L'éclairage naturel.....	199
2) L'ensoleillement:.....	200
3) L'isolation phonique:.....	201
4) La vue à l'extérieur:.....	201
5) Le confort thermique:.....	202
Conclusion:.....	203

CHAPITRE N°9 :**Interprétation des résultats par la méthode ELECTREIII**

Introduction:.....	206
IX.1. Traitement des résultats des simulations:	207
IX.2. Démarches à suivre:.....	210
IX.2.1 La saisie des données:.....	210
IX.2.2 L'exécution du calcul:	214
IX.2.3 Les résultats:	215
1) La matrice des concordances:.....	215
2) La matrice du préordre final:	217
3) Les distillations:.....	219
4) Le graphe final :.....	220
Conclusion:	222

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :.....	225
Bibliographie:	230
Annexes:	240
Annexe N°1: Extrait de la loi du IV Frimaire an VII	241
Annexe N°2: Données climatiques de la région de Jijel.....	242
Annexe N°3: Caractéristiques physiques des matériaux.....	253
Annexe N°4: Les résultats de simulation par ECOTECT.....	255
Annexe N°5: Le formulaire du sondage	292
Annexe N°6: Le formulaire du questionnaire.....	293
Résumé:	309
Summary:.....	310
ملخص:	311

Liste des tableaux:

Numéro	Titre	Page
2.1	Les principales protections solaires	41
2.2	Les performances des principales protections solaires	42
2.3	Tableau comparatif des performances Éco-énergétiques des types d'ouvrants	44
4.1	Matrice d'identification des conflits entre les paramètres	89
4.2	La matrice d'évaluation	96
5.1	La Méthode ELECTRE	114
7.1	Données de positionnement de la ville de Jijel	140
7.2	Propriétés physiques du mur algérien	147
7.3	L'échantillonnage	149
8.1	Codification des différents modèles d'analyse	192
8.2	Valeurs recommandées et leurs sensations typiques de FLJ.	193
9.1	Synthèse des différents résultats du questionnaire sur la privacité	196
9.2	Synthèse des différents résultats des simulations	197
9.3	La codification des critères	199
9.4	Les résultats des poids des critères d'après le sondage	200
9.5	Le sens de préférence des critères	201
9.6	La matrice des concordances	204
9.7	La matrice du préordre final	206
9.8	Le sens de préférence des critères	210

Liste des figures:

Numéro	Titre	Page
01	Structure générale du mémoire	09
1.1	Une histoire de la fenêtre selon Le Corbusier	11
1.2	L'évolution historique de la conception de la fenêtre.	11
1.3	Le temple de Karnak	12
1.4	Grille de fenêtre en pierre	13
1.5	Élévation de la fenêtre de la cella de Pandrose à l'Erechthéion d'Athènes, et coupe de la moulure du chambranle.	14
1.6	Élévation de la fenêtre du temple de la Fortune, à Praeneste (Italie)	15
1.7	Plan et élévation d'une fenêtre de l'église de Savenières (France)	17
1.8	Plan d'une fenêtre des transepts circulaires de la cathédrale de Noyon	17
1.9	Le chebek dans la maison mozabite	18
1.10	Une façade soumise à l'impôt sur les portes et les fenêtres	19
1.11	Fenêtre ouvrant à la française	20
1.12	La fenêtre à crémone	21
1.13	Float Glass, J.K. international	22
1.14	Villa Savoie à Poissy de le Corbusier	23
1.15	Chandigarh conçu par le Corbusier	23
1.16	La maison des coopératives de Moscou par le Corbusier	23
1.17	La maison des coopératives de Moscou par le Corbusier	23

1.18	Croquis de Le Corbusier, fenêtre en longueur ou fenêtre en verticale	24
1.19	La fenêtre à travers les styles architecturaux	26
1.20	Les Stonehenge	27
1.21	La lumière à travers le dôme du panthéon	28
1.22	Les fenêtres hautes de l'église chrétiennes	29
1.23	Jeune femme dessinant une fleur	30
1.24	Fenêtres tableau Paris	31
2.1	Les éléments constituant la baie	34
2.2	Les performances énergétiques de la fenêtre	35
2.3	Principes et efficacité des protections solaires	36
2.4	Le positionnement des protections	38
2.5	Modes de transmission de chaleur à travers un vitrage lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure	45
2.6	Schéma de principe d'un châssis en bois	46
3.1	Fonctions étendues de la fenêtre et de la contribution des aspects psychologiques au bien-être humain	52
3.2	Les sources de la lumière naturelle pénétrante pour un espace intérieur	54
3.3	Inclinaison recommandée des tabatières	55
3.4	Dispositifs d'éclairage unilatéral et bilatéral	57
3.5	Espaces éclairés latéralement	57
3.6	les trois composantes du facteur de lumière du jour	58
3.7	Ciel uniforme: les vectrices luminances sont égales	59
3.8	Ciel CIE: les vectrices luminances sont de longueur différente du zénith à l'horizon	60
3.9	Répartition des luminances par ciel serein en fonction de la position du soleil	61
3.10	Mécanisme des pertes de chaleur par la fenêtre.	62
3.11	Principe générale des gains solaires	64
3.12	Quelque solution pour le contrôle des apports solaires	65
3.13	Systèmes de ventilation naturelle	70
3.14	Proposition d'une démarche de ventilation naturelle	70
3.15	les différentes infiltrations de la fenêtre	72
3.16	l'éclairage d'un espace relatif aux proportions dimensionnelle d'une même surface vitrée	73
3.17	l'éclairage d'un espace en relation avec la hauteur de la fenêtre	74
3.18	l'éclairage d'un espace relatif selon la taille de la fenêtre	75
3.19	A la recherche d'intimité	82
3.20	Le processus général de la conception	83
4.1	La conception architecturale	85
4.2	Organigramme décisionnel pour la conception de la baie	87
4.3	Organigramme de décision pour la conception de la fenêtre	94
4.4	Schéma générale de la méthode ELECTRE III	98
4.5	Schéma générale de la méthode ELECTRE IV	99
5.1	Problématique de choix	103
5.2	Problématique du tri	103
5.3	Problématique de rangement	104
5.4	La méthode ELECTRE	119
6.1	L'interface du logiciel ECOTECT	121
6.2	L'interface du logiciel ELECTRE III	126
7.1	Plan de situation	134
7.2	Plan de masse	135

7.3	Photos prises du site	135
7.4	Plan RDC d'un logement collectif à Jijel	136
7.5	Plan étage courant d'un logement collectif à Jijel	136
7.6	Zoom sur le séjour	137
7.7	Façade postérieure d'un logement collectif à Jijel	137
7.8	Façade postérieure d'un logement collectif à Jijel	138
7.9	courbe d'évolution des températures moyennes mensuelles	141
7.10	Moyennes mensuelles de la vitesse du vent (1985-2004)	141
7.11	Moyennes mensuelles des précipitations (1985-2004)	142
7.12	Schéma explicatifs du choix des orientations validées pour la simulation	144
7.13	Différentes formes validées pour la simulation	145
7.14	Variations des protections solaires validées lors la simulation	146
7.15	Composition du mur extérieur (30 cm)	147
7.16	Composition du mur intérieur (10 cm)	147
7.17	Combinaisons possibles pour l'étude	151
7.18	Proposition du modèle d'analyse	152
8.1	Exemple de codification	153
8.2	Eclairage naturel pour le cas N25	155
8.3	L'ensevelissement en hiver pour le cas N25	156
8.4	L'ensevelissement en été pour le cas N25	156
8.5	Résultat acoustique pour le cas N25	157
8.6	Résultat vue à l'extérieur pour le cas N25	157
8.7	Résultat du confort thermique pour le cas N25	158
8.8	Eclairage naturel pour le cas NPV25	158
8.9	L'ensevelissement en hiver pour le cas NPV25	159
8.10	L'ensevelissement en été pour le cas NPV25	159
8.11	Résultat acoustique pour le cas NPV25	160
8.12	Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPV25	160
8.13	Résultat du confort thermique pour le cas NPV25	161
8.14	Eclairage naturel pour le cas NPH25	161
8.15	L'ensevelissement en hiver pour le cas NPH25	162
8.16	L'ensevelissement en été pour le cas NPH25	162
8.17	Résultat acoustique pour le cas S25	163
8.18	Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPH25	163
8.19	Résultat du confort thermique pour le cas NPH25	164
8.20	Eclairage naturel pour le cas N50	164
8.21	L'ensevelissement en hiver pour le cas N50	165
8.22	L'ensevelissement en été pour le cas N50	165
8.23	Résultat acoustique pour le cas N50	166
8.24	Résultat vue à l'extérieur pour le cas N50	166
8.25	Résultat du confort thermique pour le cas S25	167
8.26	Eclairage naturel pour le cas NPV50	167
8.27	L'ensevelissement en hiver pour le cas NPV50	168
8.28	L'ensevelissement en été pour le cas NPV50	168
8.29	Résultat acoustique pour le cas NPV50	169
8.30	Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPV50	169
8.31	Résultat du confort thermique pour le cas NPV50	170
8.32	Eclairage naturel pour le cas NPH50	170

8.33	L'ensevelissement en hiver pour le cas NPH50	171
8.34	L'ensevelissement en été pour le cas NPH50	171
8.35	Résultat acoustique pour le cas NPH50	172
8.36	Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPH50	172
8.37	Résultat du confort thermique pour le cas NPH50	173
8.38	Eclairage naturel pour le cas N75	173
8.39	L'ensevelissement en hiver pour le cas N75	174
8.40	L'ensevelissement en été pour le cas N75	174
8.41	Résultat acoustique pour le cas N75	175
8.42	Résultat vue à l'extérieur pour le cas N75	175
8.43	Résultat du confort thermique pour le cas N75	176
8.44	Eclairage naturel pour le cas NPV75	176
8.45	L'ensevelissement en hiver pour le cas NPV75	177
8.46	L'ensevelissement en été pour le cas NPV75	177
8.47	Résultat acoustique pour le cas NPV75	178
8.48	Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPV75	178
8.49	Résultat du confort thermique pour le cas NPV75	179
8.50	Eclairage naturel pour le cas NPH75	179
8.51	L'ensevelissement en hiver pour le cas NPH75	180
8.52	L'ensevelissement en été pour le cas NPH75	180
8.53	Résultat acoustique pour le cas NPH75	181
8.54	Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPH75	181
8.55	Résultat du confort thermique pour le cas NPH75	182
8.56	Eclairage naturel pour le cas N100	182
8.57	L'ensevelissement en hiver pour le cas N100	183
8.58	L'ensevelissement en été pour le cas N100	183
8.59	Résultat acoustique pour le cas N100	184
8.60	Résultat vue à l'extérieur pour le cas N100	184
8.61	Résultat du confort thermique pour le cas N100	185
8.62	Eclairage naturel pour le cas NPV10	185
8.63	L'ensevelissement en hiver pour le cas NPV10	186
8.64	L'ensevelissement en été pour le cas NPV10	186
8.65	Résultat acoustique pour le cas NPV10	187
8.66	Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPV10	187
8.67	Résultat du confort thermique pour le cas NPV10	188
8.68	Eclairage naturel pour le cas NPH10	188
8.69	L'ensevelissement en hiver pour le cas NPH10	189
8.70	L'ensevelissement en été pour le cas NPH10	189
8.71	Résultat acoustique pour le cas NPH10	190
8.72	Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPH10	190
8.73	Résultat du confort thermique pour le cas NPH10	191
9.1	Quantification des résultats de simulation	195
9.2	Référence du projet	198
9.3	la liste des actions	198
9.4	La liste des critères	199
9.5	Les seuils des critères	201
9.6	la saisie des performances	202
9.7	la saisie des performances	202

9.8	Aperçu sur la matrice des concordances	203
9.9	Aperçu sur la matrice du préordre final	205
9.10	Distillations	207
9.11	Graphe final	208
9.12	Proposition d'aménagement	211
2	Le modèle conceptuel pour une approche multicritère	215
A4.1	Eclairage naturel pour le cas S25	234
A4.2	L'ensevelissement en hiver pour le cas S25	235
A4.3	L'ensevelissement en été pour le cas S25	235
A4.4	Résultat acoustique pour le cas S25	236
A4.5	Résultat vue à l'extérieur pour le cas S25	236
A4.6	Résultat du confort thermique pour le cas S25	237
A4.7	Eclairage naturel pour le cas SPV25	237
A4.8	L'ensevelissement en hiver pour le cas SPV25	238
A4.9	L'ensevelissement en été pour le cas SPV25	238
A4.10	Résultat acoustique pour le cas SPV25	239
A4.11	Résultat vue à l'extérieur pour le cas SPV25	239
A4.12	Résultat du confort thermique pour le cas SPV25	240
A4.13	Eclairage naturel pour le cas SPH25.	240
A4.14	L'ensevelissement en hiver pour le cas SPH25	241
A4.15	L'ensevelissement en été pour le cas SPH25	241
A4.16	Résultat acoustique pour le cas SPH25	242
A4.17	Résultat vue à l'extérieur pour le cas SPH25	242
A4.18	Résultat du confort thermique pour le cas SPH25	243
A4.19	Eclairage naturel pour le cas S50	243
A4.20	L'ensevelissement en hiver pour le cas S50	244
A4.21	L'ensevelissement en été pour le cas S50	244
A4.22	Résultat acoustique pour le cas S50	245
A4.23	Résultat vue à l'extérieur pour le cas S50	245
A4.24	Résultat du confort thermique pour le cas S50	246
A4.25	Eclairage naturel pour le cas SPV50	246
A4.26	L'ensevelissement en hiver pour le cas SPV50	247
A4.27	L'ensevelissement en été pour le cas SPV50	247
A4.28	Résultat acoustique pour le cas SPV50	248
A4.29	Résultat vue à l'extérieur pour le cas SPV50	248
A4.30	Résultat du confort thermique pour le cas SPV50	249
A4.31	Eclairage naturel pour le cas SPH50	249
A4.32	L'ensevelissement en hiver pour le cas SPH50	250
A4.33	L'ensevelissement en été pour le cas SPH50	251
A4.34	Résultat acoustique pour le cas SPH50	251
A4.35	Résultat vue à l'extérieur pour le cas SPH50	252
A4.36	Résultat du confort thermique pour le cas SPH50	252
A4.37	Eclairage naturel pour le cas S75	253
A4.38	L'ensevelissement en hiver pour le cas S75	253
A4.39	L'ensevelissement en été pour le cas S75	254
A4.40	Résultat acoustique pour le cas S75	254
A4.41	Résultat vue à l'extérieur pour le cas S75	255
A4.42	Résultat du confort thermique pour le cas S75	255

A4.43	Eclairage naturel pour le cas SPV75	256
A4.44	L'enseillement en hiver pour le cas SPV75	256
A4.45	L'enseillement en été pour le cas SPV75	257
A4.46	Résultat acoustique pour le cas SPV75	257
A4.47	Résultat vue à l'extérieur pour le cas SPV75	258
A4.48	Résultat du confort thermique pour le cas SPV75	258
A4.49	Eclairage naturel pour le cas SPH75	259
A4.50	L'enseillement en hiver pour le cas SPH75	259
A4.51	L'enseillement en été pour le cas SPH75	260
A4.52	Résultat acoustique pour le cas SPH75	260
A4.53	Résultat vue à l'extérieur pour le cas SPH75	261
A4.54	Résultat du confort thermique pour le cas SPH75	261
A4.55	Eclairage naturel pour le cas S10	262
A4.56	L'enseillement en hiver pour le cas S10	262
A4.57	L'enseillement en été pour le cas S10	263
A4.58	Résultat acoustique pour le cas S10	263
A4.59	Résultat vue à l'extérieur pour le cas S10	264
A4.60	Résultat du confort thermique pour le cas S10	264
A4.61	Eclairage naturel pour le cas SPV10	265
A4.62	L'enseillement en hiver pour le cas SPV10	265
A4.63	L'enseillement en été pour le cas SPV10	266
A4.64	Résultat acoustique pour le cas SPV10	266
A4.65	Résultat vue à l'extérieur pour le cas SPV10	267
A4.66	Résultat du confort thermique pour le cas SPV10	267
A4.67	Eclairage naturel pour le cas SPH10	268
A4.68	L'enseillement en hiver pour le cas SPH10	268
A4.69	L'enseillement en été pour le cas SPH10	269
A4.70	Résultat acoustique pour le cas NPH10	269
A4.71	Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPH10	270
A4.72	Résultat du confort thermique pour le cas NPH10	270

Liste des graphes:

Numéro	Titre	Page
9.1	Graphe final	209

Index:

FLJ	Facteur de la lumière du jour
SC	Sky component
ERC	External Reflected component
IRC	Internal Reflected component
Eh	Eclairement du plan horizontal (lux)
L	Luminance moyenne du ciel (cd / m ²)
C.I.E	Ciel ouvert standard
Lz	Luminance au zénith
θ	Hauteur de la zone du ciel
K	Angle en radian entre le point P et le soleil
Z	Angle entre le zénith et le point P
zs	Angle entre le zénith et le soleil
SE	Sud Est
SO	Sud Ouest
Rw	Indice d'affaiblissement Acoustique pondéré
C ; Ctr	Termes d'adaptation spectrale
dB	Décibel
Hz	Hertz
P.α	Problématique du choix
P.β	Problématique du tri
P.γ	Problématique du rangement
P.δ	Problématique de la description
A.O.1	Approche du critère unique de synthèse
A.O.2	Approche du sur classement de synthèse
A.O.3	Approche du jugement local interactif avec itérations essai-erreur
a	Action
j	Critère
gj(a)	L'évaluation de l'action a sur le critère j
cj(a,b)	Indices de concordance
mp(b,a)	Nombre de critères pour lesquels b est strictement préférée à a
mq(b,a)	Nombre de critères pour lesquels b est faiblement préférée à a
mi(b,a)	Nombre de critères pour lesquels b est indifférente à a
mo(b,a) = mo(a,b)	Nombre de critères pour lesquels b et a ont la même évaluation
Sq	Quasi-dominance
Sc	Dominance canonique
Sp	Pseudo-dominance
p	Seuils de préférence
q	Seuils d'indifférence
v	Seuil de veto
(I)	Indifférence
(Q)	Préférence faible
(P)	Préférence stricte
A	Ensemble des actions
F	Famille de critères
ONM	Office national de météorologie

INTRODUCTION GENERALE

CHAPITRE N°1

LA BAIE, HISTORIQUE ET SYMLIBOSME

CHAPITRE N°01:

La baie, historique et symbolisme

« Comment fais-tu une fenêtre? Mais, à propos, à quoi sert une fenêtre; sais-tu vraiment pourquoi on fait des fenêtres? Si tu le sais, tu vas pouvoir m'expliquer pourquoi on fait des fenêtres cintrées, carrées, rectangulaires, etc... Je veux des raisons à cela. Et j'ajouterais, tiens-toi bien : avons-nous besoin de fenêtres aujourd'hui? » Le Corbusier.

Introduction:

La fenêtre joue un rôle prépondérant au niveau de la qualité de vie et du confort dans les bâtiments. Comme définition la Baie : est toute ouverture pratiquée dans une construction (maçonnerie ou charpente), quelles que soient ses dimensions et ses fonctions. Il faut préciser que dans cette recherche nous utiliserons le terme baie pour désigner la fenêtre qui est une baie vitrée.

L'invention des fenêtres remonte presque au tout début de la civilisation mais ce n'est que dans les années 1970 que le vitrage et la menuiserie extérieure ont connu une évolution impressionnante.

Plusieurs siècles avant Jésus-Christ, les maisons des Assyriens avaient des fenêtres longues et étroites séparées par de petites colonnes car le rôle du soleil dans la gestion de l'énergie était important.

Avant tout, l'architecture est l'expression d'une époque qui se révèle par l'intermédiaire de son style. C'est pourquoi il est d'abord nécessaire d'effectuer une recherche historique sur la baie qui nous permettra de saisir l'évolution de la fenêtre.

Dans ce premier chapitre, nous essayerons de déterminer les grandes périodes qui ont vraiment marqué l'histoire de la fenêtre, en présentant des exemples pour chaque période.

Cette recherche historique permettra de saisir l'évolution de la fenêtre, son dispositif technique et son rapport à l'architecture. Nous chercherons à déterminer les grandes périodes de l'histoire présentant un cadre de production relativement homogène.

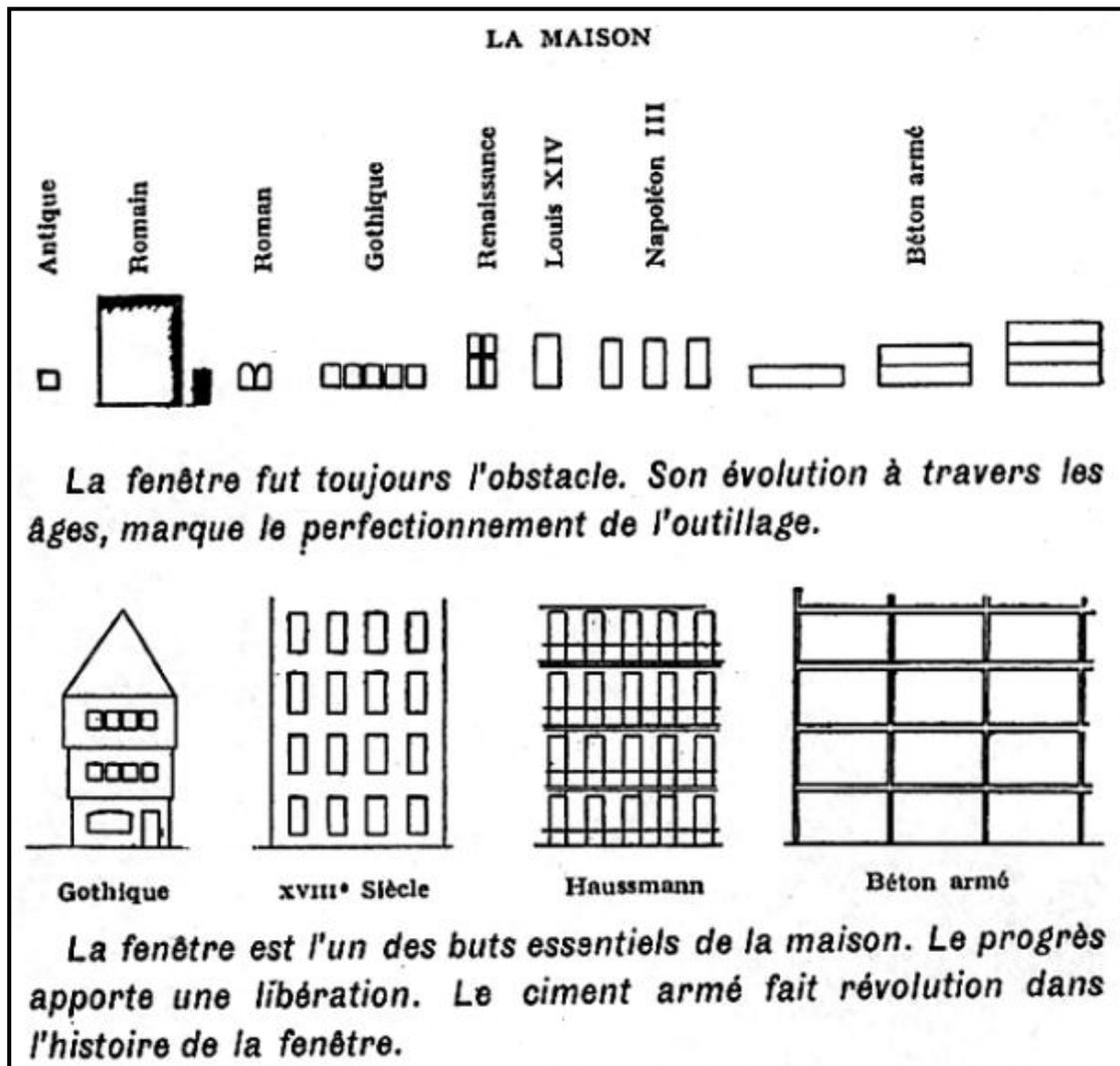


Figure 1.1 : Une histoire de la fenêtre selon Le Corbusier
 (Source : *Le Corbusier, 1926*)

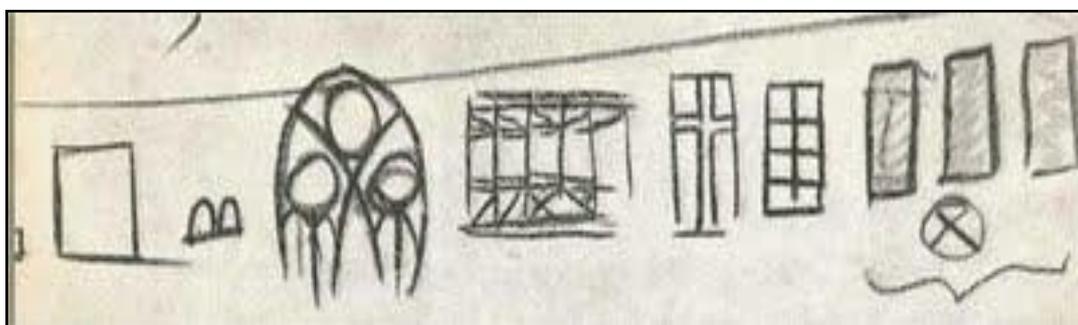


Figure 1.2: l'évolution historique de la conception de la fenêtre.
 (Source: *Simon et Hauglustaine, 2002*)

I.1. Aperçue historique:

On peut résumer l'histoire de la fenêtre en :

- Petite fenêtre antique.
- Grande baie ouverte, sans clôture de Pompéi.
- Jolie fenêtre romane.
- Gigantesque effort gothique vers la lumière qui aboutit à la coupe de l'arc ogif avec ses butées et son système statique d'une témérité prodigieuse de piles, de pinacles, d'arcs-boutants, de contreforts, etc.
- Façade de verre avec montants en pierre.
- Renaissance avec croisillons en pierre dans une fenêtre que l'on fait aussi grande.
- On veut vivre dans le confort et l'intimité.

I.1.1. La civilisation Egyptienne:

Les égyptiens anciens représentaient déjà des fenêtres dans leurs premières fresques. Le temple légendaire de Karnak construit par les Pharaons Seti I et Ramsès II en comportait lui-même. Généralement, elles ne consistaient qu'en des ouvertures pratiquées dans les murs, recouvertes à l'occasion par des peaux, des rideaux ou des pièces de nattes (Simon et Hauglustaine, 2002).



Figure 1.3 : Le temple de Karnak

(Source : Institut papyrologie et égyptologie Lille)

Les fenêtres des maisons du nouvel empire sont petites et généralement peu nombreuses (Obenga, 1995), la forme de ces fenêtres est rectangulaire. L'appui et le linteau sont bien apparents, le grillage en pierre a des jours verticaux taillés dans une dalle peu épaisse.

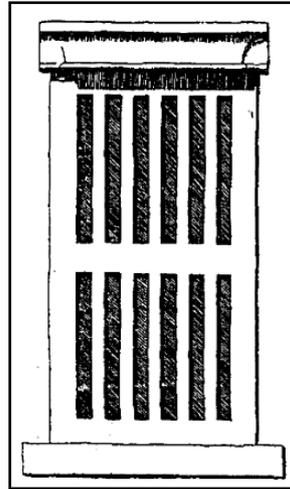


Figure 1.4 : Grille de fenêtre en pierre
(Source : Obenga, 1995)

I.1.2.La Grèce ancienne:

Elle offre, moins encore peut-être que l'Égypte, des exemples de fenêtres éclairant, soit l'intérieur des temples et des édifices publics, soit l'intérieur des maisons: cependant un bas-relief antique montre une fenêtre plus large que haute, sur le côté d'un temple; des fenêtres, ouvertes à même le mur et sans chambranle, se voient aux portes de Messène, et la cella de Pandrose, dans l'Erechthéion d'Athènes (Acropole), sorte de corridor étroit longeant le côté occidental du corps principal de l'édifice, a conservé, dans les entrecolonnements de sa façade, trois fenêtres destinées à donner du jour dans cette partie du monument (Obenga, 1995). Nous reproduisons (figure 1.5) l'ensemble d'une de ces fenêtres ainsi que le détail de la moulures en formant le chambranle, fenêtre et chambranle qui remontent à la reconstruction de l'Erechthéion après les guerres médiques, c.-à-d. à la plus belle époque de l'art grec.

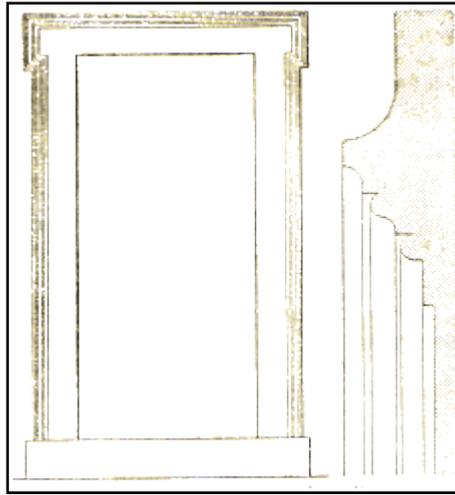


Figure 1.5 : Élévation de la fenêtre de la cella de Pandrose à l'Erechthéion d'Athènes, et coupe de la moulure du chambranle.

(Source: Viollet-le-Duc, 1854)

I.1.3.La civilisation Romaine:

Quoique les Romains ne se servent pas beaucoup plus que les Grecs de fenêtres pour éclairer leurs temples et leurs maisons, nous connaissons un certain nombre de types de fenêtres romaines, types bien différents dans leurs dispositions et leur décoration, suivant la destination des édifices dont les ruines nous les ont conservés.

C'est ainsi que les fenêtres du temple de la Fortune, à Praeneste (Italie) (figure 1.6), avec leurs crossettes qui élargissent le chambranle à la hauteur de l'appui et du linteau et avec leurs fines consoles portant une corniche de couronnement, offrent un bel exemple emprunté au style gréco-romain, tandis que dans les grands amphithéâtres, le Colisée de Rome ou l'amphithéâtre de Pola (Istrie), les fenêtres sont de simples baies, carrées ou rectangulaires, ménagées dans la construction de l'étage supérieur et dépourvues de chambranles saillants (Viollet-le-Duc, 1854).

En revanche, les salles de réunion des vastes ensembles d'édifices constituant les thermes des empereurs étaient éclairées par de larges arcades remplies par des claustra, et dans les maisons de Pompéi, qui n'avaient que rarement des fenêtres ouvrant sur la voie publique, ces fenêtres, peu importantes, souvent plus larges que hautes, étaient percées à même la décoration du mur, et on peut en outre constater

que, dans la maison dite du Poète tragique, qui a six fenêtres à rez-de-chaussée, les appuis de ces fenêtres sont plus élevés au-dessus du sol des pièces que ne le seraient à notre époque, avec les règlements de voisinage, les appuis de jours de souffrance; car ces appuis de fenêtres de Pompéi sont à plus de 2m au-dessus du sol (Obenga, 1995).



Figure 1.6 : Élévation de la fenêtre du temple de la Fortune, à Praeneste (Italie).

(Source: Viollet-le-Duc, 1854)

C'est encore à Pompéi, dans une salle intérieure de la maison dite de Plinius Rufus, que l'on voit un chambranle de fenêtre avec crosettes encadrant une surface de mur rectangulaire creusée en biseau et dont une toute petite partie seulement est percée de part en part afin de former une meurtrière, tant dans les climats chauds et dans les maisons romaines antiques les fenêtres jouaient un rôle différent de celui qu'elles remplissent dans les climats plus souvent froids et dans les maisons modernes du Nord de l'Europe (Viollet-le-Duc, 1854).

Les Romains imposèrent aux peuples qu'ils avaient conquis leur architecture, et, au moyen des légionnaires cantonnés aux extrémités de l'Empire, ils firent adopter dans toute la partie du monde soumise à leur domination leurs types et leurs procédés de construction : cependant il est intéressant de mentionner ici la seule représentation connue d'une petite fenêtre, bien simple, de forme rectangulaire, percée à même la clôture de bois d'une hutte circulaire gauloise, fenêtre qui se voit dans le bas-relief

romain, encadré dans le piédestal de la statue de Melpomène au musée du Louvre et représentant un Gaulois défendant sa maison contre un légionnaire romain au temps de la conquête de la Gaule par Jules César (Obenga, 1995).

I.1.4.Moyen Age:

L'architecture du moyen âge étant peut-être de toutes les architectures connues celle qui se soumet le plus exactement aux besoins, aux convenances, aux dispositions des programmes, il n'en est pas qui présente une plus grande variété de fenêtres, particulièrement au moment où cette architecture abandonne les traditions romanes. En effet, une fenêtre est faite pour donner du jour et de l'air à l'intérieur d'une salle, d'une chambre; si le vaisseau est grand, il est naturel que la fenêtre soit grande; s'il ne s'agit que d'éclairer et d'aérer une cellule, on comprend que la fenêtre soit petite.

Dans une église où l'on se réunit pour adorer la Divinité, on n'a pas besoin de voir ce qui se passe au dehors; mais dans une salle affectée à un service civil, il faut pouvoir au contraire regarder par les fenêtres; pour regarder par les fenêtres il faut les ouvrir facilement. Voilà donc des données générales qui doivent nécessairement établir une différence dans les formes des fenêtres appartenant à des édifices religieux et civils (Viollet-le-Duc, 1854).

Pendant les premiers siècles du moyen âge le verre devrait être une matière assez rare pour qu'on évitât de l'employer. Bien que les Romains connussent le verre, ils ne le fabriquaient pas en grandes pièces; c'était évidemment un objet de luxe, et dans les habitations vulgaires il est probable qu'on s'en passait, ou du moins qu'on ne l'employait qu'avec parcimonie.

Dans les édifices publics, les fenêtres étaient de grandes baies cintrées percées sous les voûtes à travers les murs de remplissage; dans les habitations, les fenêtres n'étaient que des ouvertures assez étroites, rectangulaires, pour pouvoir recevoir des châssis de bois sur lesquels on posait du papier huilé, des canevas ou des morceaux de verre enchâssés dans un treillis de bois ou de métal. Rarement dans les édifices publics les fenêtres étaient vitrées; ou bien elles étaient assez étroites pour empêcher le vent de s'engouffrer dans les intérieurs; ou, si elles étaient larges, on les garnissait de réseaux de pierre, de métal ou de bois destinés à tamiser l'air venant de l'extérieur. Beaucoup

d'églises et de salles romanes, jusqu'au XIIe siècle, possédaient des fenêtres sans aucune fermeture ou claire-voie. La forme de ces fenêtres est indiquée dans la figure 1.6.

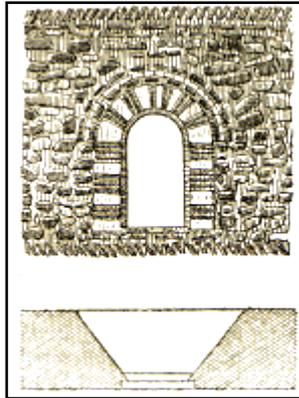


Figure 1.7 : Plan et élévation d'une fenêtre de l'église de Savenières (France). (Source: dictionnaire raisonné d'architecture)

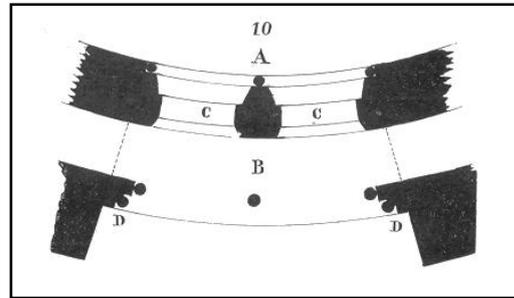


Figure 1.8 : Plan d'une fenêtre des transepts circulaires de la cathédrale de Noyon. (Source: dictionnaire raisonné d'architecture)

I.1.5.L'architecture vernaculaire (cas du M'Zab):

Les fenêtres ne sont que des fentes du genre meurtrier. Elles n'ont aucun souci de composition en façade ; leur disposition obéissant au besoin du regard depuis l'intérieur. Pour les mozabites, les fenêtres favorisent principalement la ventilation et la vision.

Au M'Zab, les ouvertures sont conçus en fonction du besoin de lumière, en effet la réalisation d'un vide ou un trou est la chose la plus délicat techniquement.

L'espace central est couvert par *un chebek*, petite ouverture carrée dans le plafond n'excédant pas 1 m², permettant de contrôler l'entrée de l'air et de la lumière.

Une ouverture dans le ciel en fonction des conditions ambiantes.

D'autre part, les ouvertures sur l'extérieur sont réduites tant pour protéger l'intimité que pour se protéger du soleil. L'intimité étant considérée comme un facteur prépondérant dans l'architecture vernaculaire a influencé de pré la forme, la taille, et l'usage des ouvertures (Ravereau, 1981).



Figure 1.9 : Le chebek dans la maison mozabite
(Source: Auteur, 2011)

La lumière pénètre dans la maison à travers des ouvertures qui découpent des zones d'ombre et de lumière précises, l'orientation des maisons étant sensiblement la même pour toutes, cette pénétration de la lumière s'établit partout selon le même mode. Au rez-de-chaussée, la partie Sud/Sud-est de la maison ne reçoit jamais directement la lumière. A. Ravereau nous confirme: « ces constructions ne sont pas faites pour être vues », c'est un espace qui doit être perçu à travers le corps en mouvement (Bousquet,1986).

I.1.6. Du V^{ème} siècle au XIX^{ème} siècle:

L'invention du verre a fait évoluer les choses à un autre niveau en fournissant aux fenêtres une fermeture complète permettant dans le même temps de laisser passer la lumière.

Le verre était soufflé sur une surface pour en faire un verre plat. Cette technique ne sera supplantée que 6 siècles plus tard. Elle laissa sa place au “manchon” (verre soufflé en forme de cylindre).

A la fin de la révolution française sera mis au point un nouvel impôt foncier dont chaque propriétaire est redevable auprès de l'état. Le calcul de cet impôt pose bien

des difficultés. Il ne s'avère, en effet, guère possible au regard des us et coutumes, de pénétrer à l'intérieur d'une propriété privée. Dans un premier temps, il sera établi un impôt calculé au prorata du nombre des portes et fenêtres visibles uniquement de la rue ; puis, dans un deuxième temps, les portes et les fenêtres sur cour seront prises en compte. Au bout de quelques décennies, cet impôt va finir par tomber en désuétude.

Il faut cependant constater combien celui-ci a fortement marqué la composition des façades des maisons parisiennes. L'intérêt de tout propriétaire est de diminuer le nombre des baies. Aussi doit-il augmenter la hauteur des étages, élargir les trumeaux quitte à les agrémenter de niches et de sculptures, et surtout agrandir considérablement les fenêtres. Ainsi, les ouvertures du rez-de-chaussée seront réunies à celles en demi-cercle en l'entresol, afin de constituer une seule et même baie (Sergent F., 1829).

De plus, les deux premiers étages sont d'avantage taxés que les étages supérieurs ; il en résulte une modification profonde des proportions et de la hiérarchie des fenêtres. Souvent, la nouvelle façade valoir deux étages identiques au-dessus du soubassement et deux ou trois niveaux identiques dans les étages supérieurs (figure 1.10).

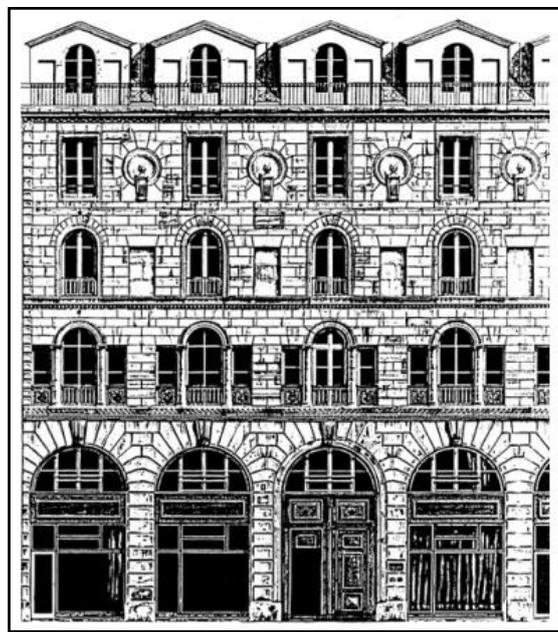


Figure 1.10 : Une façade soumise à l'impôt sur les portes et les fenêtres.
(Source: Bresler, 2002)

• **Au X^{ème} siècle:**

Probablement en raison des rigueurs du climat, la production du verre pour fenêtre devenait assez élevée dans le Nord de l'Europe.

La recherche de la lumière s'est traduite dans l'architecture en général et plus particulièrement dans le Gothique et le Modern Style (Simon et Hauglustaine, 2002).

• **Au XVI^{ème} :** Des menuiseries de plus en plus rares, à préserver.

• **Au XVII^{ème} :** Le développement du verre et le souci de mieux éclairer inaugurent la réalisation de grandes baies. Le meneau central disparaît et les fenêtres ouvrant « à la française» remplacent les châssis.

La fenêtre ouvrant à la française ou autrement dit « la fenêtre à crémone » a remplacé d'avantage l'ancienne à l'espagnolette. La crémone trouve son origine dans les différents modes de fermeture à bascule, prévus pour les portes et portes cochères. Le principe est de faire glisser verticalement des tiges hautes et basses à l'intérieur d'encoches. Chabat (Bresler, 2002) nous en donne une définition bien précise : « Appareil de fermeture pour croisée, remplaçant aujourd'hui l'espagnolette. C'est un double verrou mû par une poignée à bascule en forme de bouton. Toute crémone dite à double mouvement se compose d'une tige ou boîtier sur lequel est monté le bouton ; d'un ou plusieurs coulisseaux de deux chapiteaux et de deux gâches. »



Figure 1.11 : Fenêtre ouvrant à la française.
(Source: www.mondialfenetres.fr)

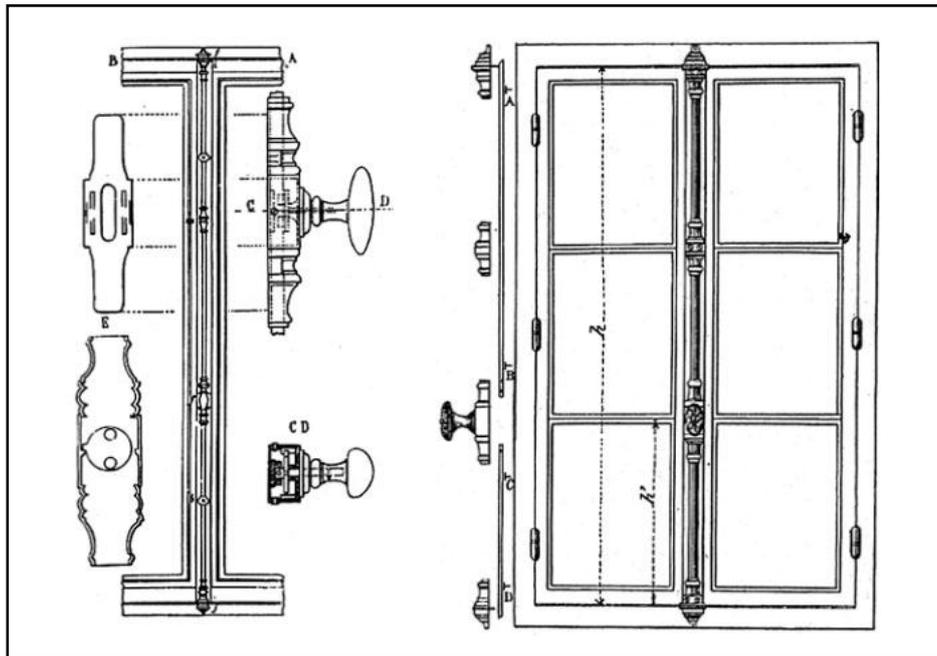


Figure 1.12 : La fenêtre à crémone.
(Source: Henri Bresler, 2002)

Ce type d'ouverture est le plus utilisé ici en Algérie jusqu'au aujourd'hui. Il était importé avec la colonisation française et fut très vite réponsus.

- **Fenêtre fin XVII^{ème}** : Les vitraux de petits modules ont été remplacés par de plus grands carreaux rectangulaires fabriqués par les premières manufactures de verre (Saint Gobain).

- **Fenêtre fin du XVIII^{ème}** : Les carreaux s'agrandissent. A l'axe les deux vantaux se réunissent par une ligne brisée puis par une doucine et enfin avec un mouton et une gueule de loup.

Au cours de la seconde moitié du XVIII^{ème} siècle, la technique du verre coulé supplantant le verre soufflé a permis de développer des feuilles (vitrages) de plus grandes dimensions.

Après la première guerre mondiale, le procédé Foucault (étirage mécanique) permet de réaliser des coulées en continu (Simon et Hauglustaine, 2002).

• **Fenêtre du XIX^{ème} siècle :**

Le verre s'affine et la fenêtre s'agrandit avec la suppression des petits bois. L'étanchéité se perfectionne avec l'apparition de la redingote qui évite le pourrissement de la pièce d'appui (Simon et Hauglustaine, 2002).

Ce n'est qu'en 1959 que le système « float glass » offrait enfin du verre dont les faces étaient planes et parallèles et ce, sans opérations de doucissage ou de polissage.



Figure 1.13 : Float Glass, J.K. international

(Source: www.esuppliersindia.com)

Le début du XXe siècle a vu un certain nombre d'avancées dans la production de vitres. Deux méthodes pour la production de plaques en continu ont été inventées en Belgique durant la période de la Première Guerre mondiale. Celle des bandes de verre fondu en tirage continu qui provenaient des réservoirs.

I.1.7. De la fenêtre au pan de verre dans l'œuvre de Le Corbusier :

Le Corbusier (1929) a fait une longue recherche sur l'harmonie, les proportions, le moduler... "*Une fenêtre ne peut être belle que par ses proportions justes et une utilité*".

• **La Maison-Savoie à Poissy:**

Ce qui est pour la première fois permis, c'est le contact de l'homme avec la nature, la poésie des arbres et des champs. C'était affirmé que la fenêtre en longueur éclaire mieux que les fenêtres en hauteur. Apportant la lumière et permettant aux occupants

de promener le regard sur le dehors, sans restriction. Permet un confort de la maison. Permet la caractérisation de la façade (Colquhoun, 1985). Du dedans, on voit de l'herbe et des arbres autant qu'on en veut. Le verre permet la clôture des pièces sans arrêter le regard. Ainsi que le contrôle du soleil: protéger par brise-soleil et loggia. En été le soleil est situé haut dans le ciel aux heures les plus chaudes et ses rayons tombent obliquement sur le plan de la façade. Le pan de verre est entièrement à l'ombre si les avancées du brise-soleil sont convenablement calculées. En hiver, au contraire, les rayons frappent la façade presque perpendiculairement et pénètrent sans obstacle.

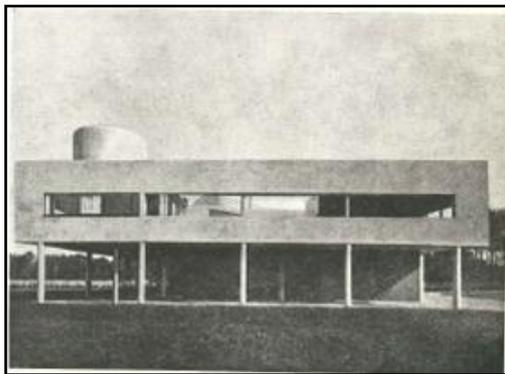


Figure 1.14: Villa Savoie à Poissy de le Corbusier. (Source: Colquhoun, 1985)

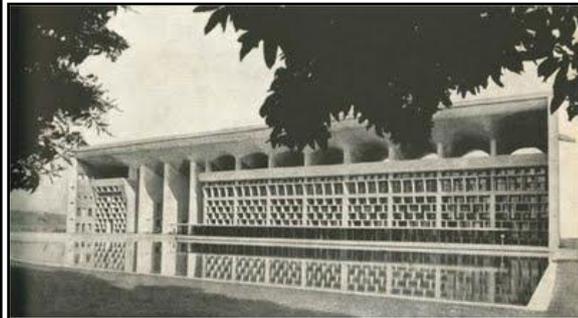


Figure 1.15: Chandigarh conçu par le Corbusier. (Source: Colquhoun, 1985)

• La maison des Coopératives de Moscou:

Elle comporte un double pan de verre avec un espace d'air de 40cm qui permet le nettoyage des faces internes et le déroulement d'un store de toile entre les deux vitres pour obscurcir ou atténuer l'ensoleillement.

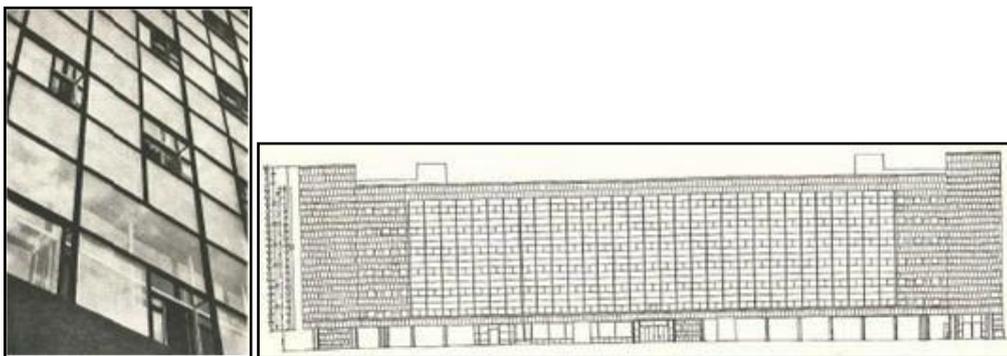


Figure 1.16et 1.17: La maison des coopératives de Moscou par le Corbusier. (Source: Colquhoun, 1985)

La longue fenêtre en bande permet de longs espaces, et grâce à l'acier et au béton armé, la façade peut devenir complètement libre, non portante et crée donc également des espaces sur double hauteur complètement vitrés.

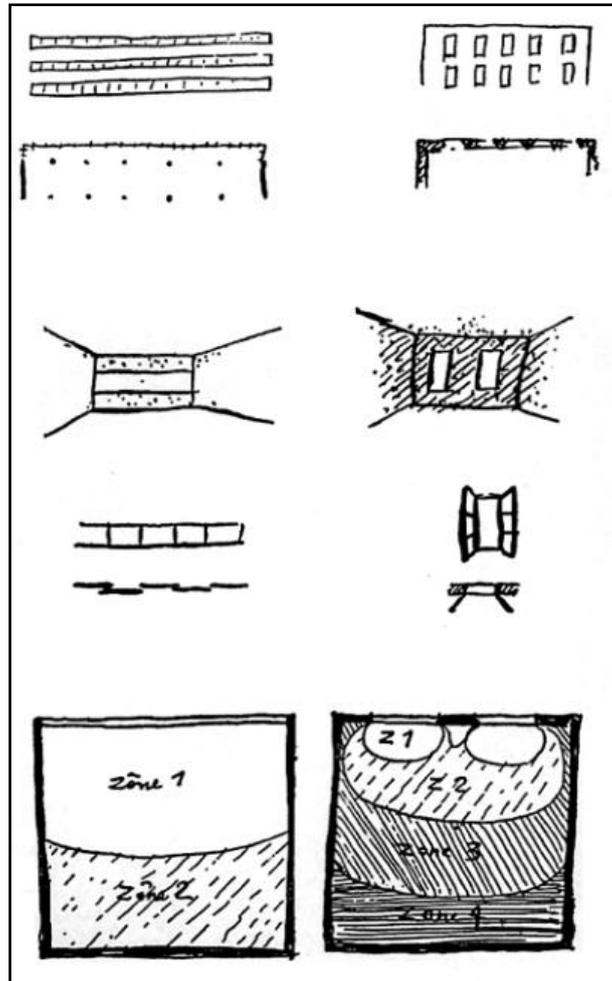
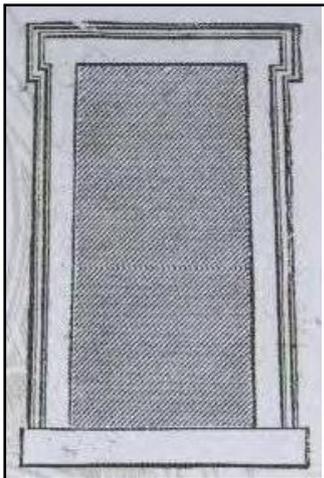
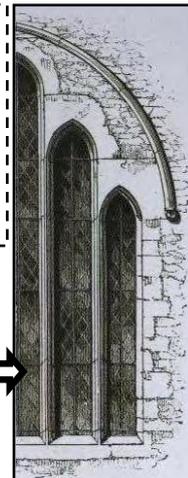


Figure 1.18 : Croquis de Le Corbusier, fenêtre en longueur ou fenêtre en verticale.
 (Source : *Le Corbusier, 1929*)

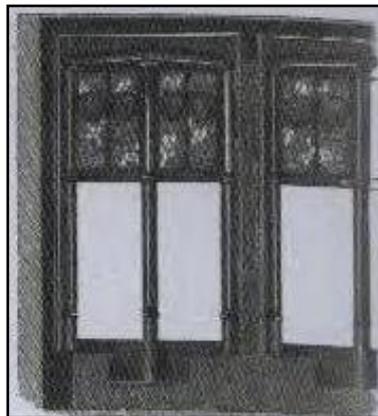


Représentation en grisé: dans le dessin d'architecture et les gravures du XVIII^e s, les ouvertures de fenêtres sont le plus souvent représentées sous la forme d'un espace vide en grisé, sans indications sur le châssis.

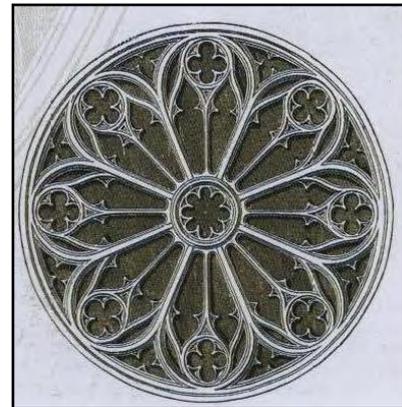
Fenêtre en lancette: fenêtre élevée et étroite à sommet en arc, typique des architectures gothique ou byzantine. Ces fenêtres sont souvent géminées ou par



Fenêtre en doucine: Avec son sommet en pointe, l'arc en doucine provient de l'architecture islamique. Utilisé dans le gothique, il revint à la mode au XVIII^e s. comme élément décoratif évoquant l'Orient.

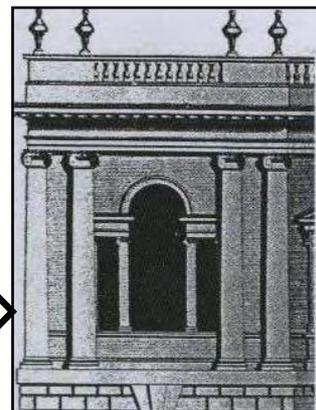


La résille de plomb: la taille du verre des fenêtres en vitrail dépend de la résistance des lamelles de plomb qui maintiennent le vitrage en place. A partir du XVII^e s, on utilisa surtout des panneaux rectangulaires.



Fenêtre circulaire: les fenêtres en rosace sont des créations élaborées qui visent à évoquer les pétales d'une fleur ou les rayons d'une roue.

Fenêtre à vénitienne: cette fenêtre est très tripartite. Le sommet de sa partie centrale est cintré, celui des parties latérales, plus étroites, en plate-bande. Elle est aussi nommée serlienne ou à la palladienne à la mémoire de Serlio et Palladio. les architectes qui la firent connaître.



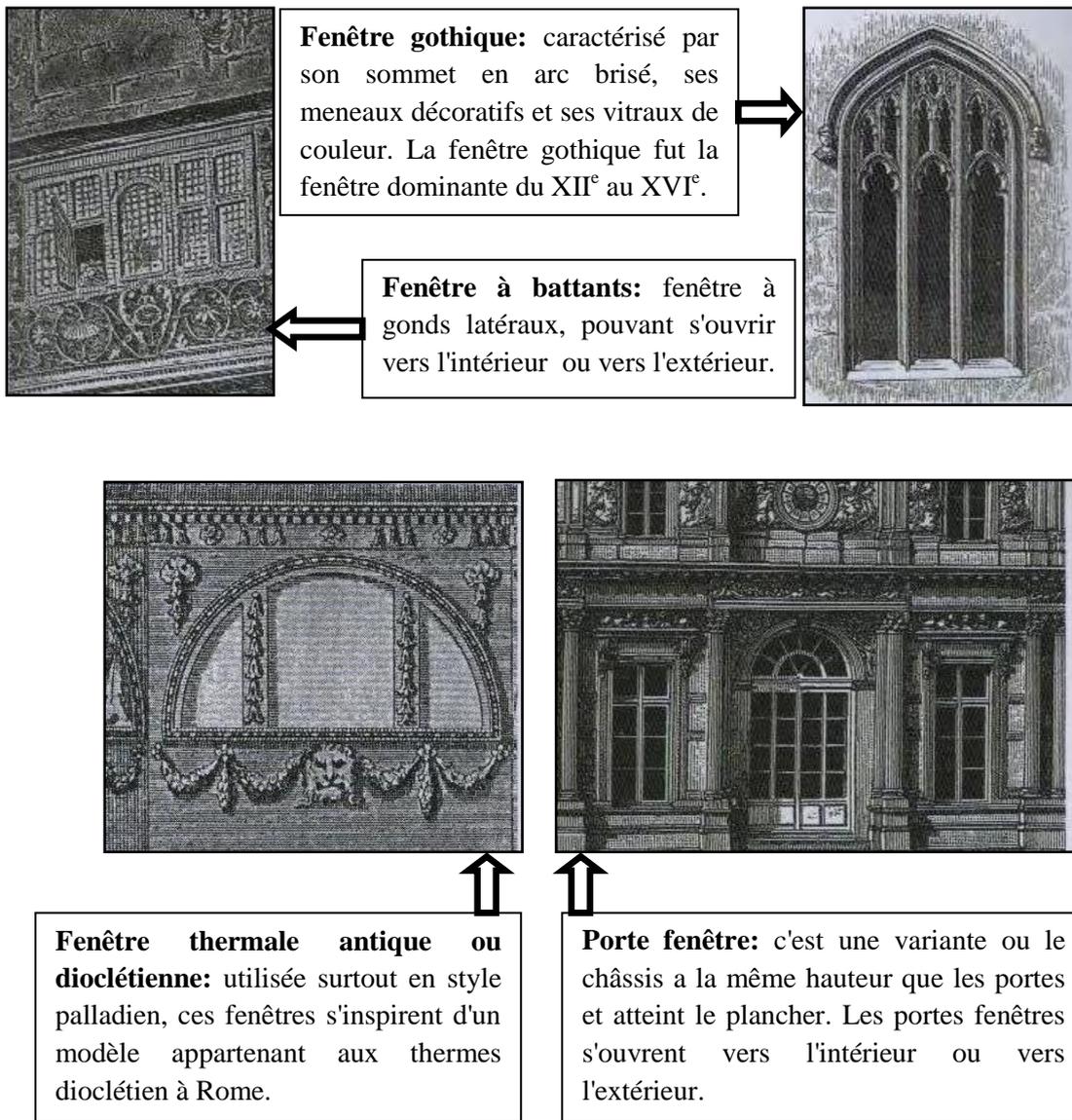


Figure 1.19 : la fenêtre à travers les styles architecturaux.
(Source: Dessain et Tolra, 2003)

I.2. Symbolisme de la baie:

L'architecture devrait être comprise en termes de formes signifiants (symboliques). L'histoire de l'architecture décrit le développement et l'utilisation des systèmes symboliques architecturaux, elle fait ainsi partie de l'histoire de la culture (Serre, 2013). La fenêtre étant l'un des paradigmes du langage architectural, n'échappe pas de cette logique du symbolisme.

Si nous pouvons revenir un peu à la littérature, nous trouverons que le premier document qui fait référence au symbolisme de la fenêtre est trouvé en Egypte. En fait l'architecture égyptienne peut considérer comme le premier système symbolique architecturalement intégré de l'histoire de l'humanité, cette civilisation qui considère le soleil et la lumière comme le symbole du dieu ou bien le dieu lui-même. Dans le même sens nous trouvons aussi les remarquables « *Stonehenge* » un merveilleux exemple sur le rôle très important accordé au soleil dans les civilisations antiques autant qu'élément supranaturel (Tabet Aouel, 1989).



Figure 1.20 : les Stonehenge.

(Source : <http://en.wikipedia.org/wiki/Stonehenge>)

Ainsi, la baie représente l'élément sacré qui permet de transformer l'obscurité en une lumière divine, un symbole apparaît bien métaphysique mais qui est lié fortement à sa fonction.

La forme de la baie peut être une traduction symbolique à valeur essentielle. Autre exemple parfait du symbole de la baie est bien l'ouverture dans le dôme du panthéon

(Rome) qui symbolise l'œil. Il arrive que la fenêtre devienne l'œil comme chez Magritte ou Ledoux, ou l'on est irradié d'en haut par un sinistre regard cyclopéen, image négative. Au panthéon, la fenêtre se manifeste sous sa forme la plus oppressante et la plus agressive: l'œil est bombardé par une lumière d'un poids intolérable (Tabet Aouel, 1989). Mais pour regarder par une fenêtre avec plaisir et satisfaction, l'œil doit être protégé. L'embrasure et le soffite en surplomb sur l'extérieur du bâtiment devraient jouer pour la fenêtre le rôle de la paupière et des sourcils pour l'œil.



Figure 1.21 : la lumière à travers le dôme du panthéon.
(Source : internet)

De plus en plus, la fascination pour la lumière naturelle augmente, l'importance relative accordée aux ouvertures augmente aussi. Selon Patrick Reyntiens (1990), Le mystère de la communication entre monde extérieur et monde intérieur se retrouve en architecture. Cette interaction du dedans et du dehors est à la fois effectuée et symbolisée par la fenêtre.

Le sens de la lumière et du regard s'inverse: la baie s'ouvre sur l'extérieur, sur les sciences et la connaissance, sur l'univers. La lumière, qui y pénètre, a perdu son caractère divin. Elle symbolise une pensée, qui cherche à maîtriser la nature par la raison et qui se prête et au combat contre l'irrationnel.

La forme de la baie peut être une traduction symbolique à valeur essentielle culturelle constituant sa fonction primordiale parfois. Les fenêtres hautes d'église chrétiennes signifient l'élévation, le sublime et les rosaces le rayonnement de Dieu.



Figure 1.22 : les fenêtres hautes de l'église chrétiennes.
(Source : fr.wikipedia.org)

Ces ouvertures à double rôle ont toujours été sources d'inspiration et de métaphores depuis les commencements de l'architecture et des beaux arts.

La baie a eu une importance qui est aussi relatée dans la littérature et la peinture. En effet un premier coup d'œil sur la littérature des années soixante dix et quatre vingt dix nous a permis d'avoir une vision générale sur l'évolution de l'intérêt de cet composant. Chez Antoine Spire « *Du point de vue de l'architecte, point de vue optique, la fenêtre est d'abord source de lumière, mais du point de vue de celui qui est derrière la fenêtre, du point de vue du regard, la fenêtre est lieu d'observation, trou pour l'œil* ». Pour Alberti (1435) « *nos fenêtres ressemblent à des tableaux. Ce sont des machines à voir, des trouées dans l'espace qui donnent quelque chose à voir là où on ne voyait rien* ». Ainsi pour Catherine Kintzler « *Une fenêtre c'est, un trou fait exprès dans un mur, qui crée à la fois un dedans et un dehors, d'où je peux voir le monde parce que je peux me retirer derrière. Quand je me mets à la fenêtre, je reconstitue le regard moderne et, avec lui, la subjectivité* » (Wajcman, 2004).

Tandis que pour Charles Baudelaire, celui qui regarde du dehors à travers une fenêtre ouverte, ne voit jamais autant de choses que celui qui regarde une fenêtre fermée. Il ne y'a pas d'objet plus profond, plus mystérieux, plus fécond, plus ténébreux, plus éblouissant qu'une fenêtre éclairée d'une chandelle. Ce qu'on peut voir au soleil est toujours moins intéressant que ce qui se passe derrière une vitre. Dans ce trou noir ou

lumineux vit la vie, rêve la vie, souffre la vie (Valette, 1997). Cette vision purement philosophique qui s'appuie sur un seul critère (la vue sur l'extérieur ou bien la lumière naturelle) ne donne pas une solution au caractère complexe de la baie.



Figure 1.23 : Jeune femme dessinant une fleur.
(Source : Drölling, 1821)

La fenêtre joue un rôle essentiel dans la vie quotidienne, tant individuelle que sociale : elle est source de luminosité, de visibilité, de communication, en même temps que frontière entre deux espaces mitoyens souvent antithétiques.

La fenêtre constitue donc un motif de prédilection dans l'imaginaire des artistes : elle participe indéniablement de la construction d'un espace esthétique, poétique et symbolique ; elle ouvre la voie vers un jeu infini de possibles dialectiques :

« Au fond, la fenêtre apparaît comme ce motif éminemment plastique qui permet à l'envi de modifier le décor au sein duquel évoluent les personnages et où se déroule l'action. Agissant à la fois sur la hauteur, la largeur et la profondeur, il introduit dans le traitement des lieux une série d'oppositions dynamiques » (Valette, 1997)

La fenêtre marque une séparation radicale entre deux espaces antithétiques, organisés autour des pôles silence/bruit, solitude/foule, intériorité/extériorité, immobilisme/agitation, chaleur/froid...

Que la fenêtre soit ouverte ou entrouverte, et l'espace privé perd de son étanchéité, laissant échapper des informations censées rester secrètes. Ce qui appartient à l'intimité investit alors l'espace public jusqu'à se répandre sous les formes du commérage ou de la rumeur. Réciproquement, ce qui relève du domaine public peut interférer avec le privé, le marquer de son empreinte. La fenêtre témoigne ainsi de la réversibilité des espaces (Louise, 2014).



Figure 1.24 : Fenêtres tableau Paris.

(Source : www.maisonsdumonde.com)

Parce qu'elle joue simultanément ou alternativement sur le caché et le montré, la fenêtre stimule l'activité imaginant : comme par défi, elle incite à deviner ou à combler par le recours à la fiction l'incomplétude de la vision. Voilages, tentures, stores, volets entrouverts, reflets, carreaux translucides ou opaques, clairs-obscur ou pénombres : autant d'éléments susceptibles de venir altérer, abuser ou masquer la vue, et donc à laisser place à la fabulation.

Aussi la fenêtre favorise-t-elle la création poétique, en ce qu'elle joue sur la gamme des états d'âme et en ce qu'elle invite à métamorphoser le réel.

Parmi les différents symboles courants que reflète la baie on a :

- La baie dans les bâtiments religieux, symbole de la lumière divine intériorisée, pénétrant dans l'espace sacré- se transpose en une ouverture de palais, lieu du pouvoir temporel.
- La liberté que donne le verre peut consister à ouvrir une fenêtre.
- La transparence, la clarté...etc.

Conclusion:

Viollet-le-Duc est sans doute l'un des rares historiens de l'architecture médiévale à avoir pris en compte, en même temps que leur forme extérieure, la structure constructive et l'architecture intérieure des fenêtres et à en avoir donné des descriptions complètes. Ainsi, la fenêtre représente un élément primordial influençant grandement la qualité d'un intérieur et de l'espace urbain, ainsi que les interactions sociales.

En effet, plus que les autres organes de l'habitation, les fenêtres semblent avoir assumé une multiple fonctionnalité tout en étant porteuses de multiples niveaux de significations. La difficulté s'accroît encore dès lors que, dépassant le stade formel, on aborde la désignation de la fonction (Séraphin, 1998).

Les fenêtres, au fil du temps, n'ont cessé d'alimenter non seulement la théorie et l'histoire de l'architecture, mais également les arts en général, en devenant, notamment en peinture, un motif maintes fois décliné de la Renaissance à nos jours. Cette fascination s'explique, entre autres, dans la capacité de ces dernières à mettre en communication deux univers, cette notion de seuil évoquant alors une certaine poésie. Bruno Reichlin (2008) décrit la fenêtre en tant que *«frontière inspirante entre deux espaces antithétiques, l'endroit où l'on se trouve et le lieu de la nostalgie.»*

Walter Nobel (2007) décrit la tâche ardue qu'ont les fenêtres, se devant de relier deux mondes, mais surtout deux échelles : *«Plus encore que tout autre composant constructif, la fenêtre d'une maison est en même temps un élément de deux mondes, celui du dehors comme celui du dedans, de la ville et de l'intérieur, de public et du privé. Elle n'est donc pas seulement constructivement compliquée, mais elle doit aussi répondre à deux échelles totalement différentes, remplir nos critères fonctionnels et esthétiques de l'intérieur comme de l'extérieur, tout en évitant d'offenser nos yeux.»*

En effet, alors qu'elle est essentielle pour l'intérieur du logement, la fenêtre est également la clé fondamentale permettant de donner son expression à une maison. En étant l'unité qui définit une façade, elle réunit tous les problèmes de composition, proportion et perception (Zurbuchen, 2013).

CHAPITRE N° 2

CARACTERISATIONS FORMELLES DE LA BAIE

CHAPITRE N°02:

Caractérisations formelles de la baie

“On mesure qu’il ne s’agit plus d’usages, ni de traditions, ni de procédés constructifs, ni d’adaptations à des besoins utilitaires.”

Le Corbusier

Introduction:

Dans le bâtiment, les baies constituent un élément de composition architecturale tout à fait essentiel. En effet, les fenêtres revêtent une importance centrale pour la façade. De part leur forme et leur disposition dans le mur en font la carte de visite d’un bâtiment (Krippner et Musso, 2008).

La menuiserie qui ferme la baie est la membrane sensible entre le dedans et le dehors. Partie intégrante de la composition et de l’ordonnance de la façade, elle obéit à la fois aux fonctions d’éclairément, d’aération et de protection. C’est un élément important de l’expression architecturale au même titre que les bandeaux, moulures, corniches... ; elle appartient à l’histoire du bâtiment.

Mais aujourd’hui, avec le changement des techniques et l’apparition des matériaux modernes, le remplacement systématique des fenêtres anciennes se généralise dans un souci de normalisation inadapté au bâti ancien et dommageable pour le patrimoine traditionnel.

Le deuxième chapitre présente l’anatomie d’une fenêtre typique ainsi qu’une description des principales composantes, il aborde en premier lieu les éléments constructifs concernant l’aspect général de la fenêtre. En deuxième lieu, on évoquera l’un des plus importants éléments de la baie à savoir les protections solaires.

II.1. Les éléments constituant la baie:

II.1.1. Eléments constructifs:

1) Linteau:

L'élément formant le bord supérieur d'une baie, il enjambe la baie et transmet les charges aux sections de mur latérales. La forme de linteau la plus simple est la poutre sollicitée en flexion. La largeur maximale que l'on pourra donner à une fenêtre dépendra des propriétés des matériaux dont est fait le linteau et de la flèche admissible.

2) Dispositif pare-soleil:

Selon l'orientation du bâtiment et la conception des murs extérieurs, un dispositif par soleil devra être soit intégré au linteau, soit appliqué extérieurement.

3) Allège:

La partie inférieure d'une baie peut prendre la forme d'une allège qu'elles soient maçonnées ou composées de vitrages fixes, les allèges devront être suffisamment hautes pour prévenir les chutes.

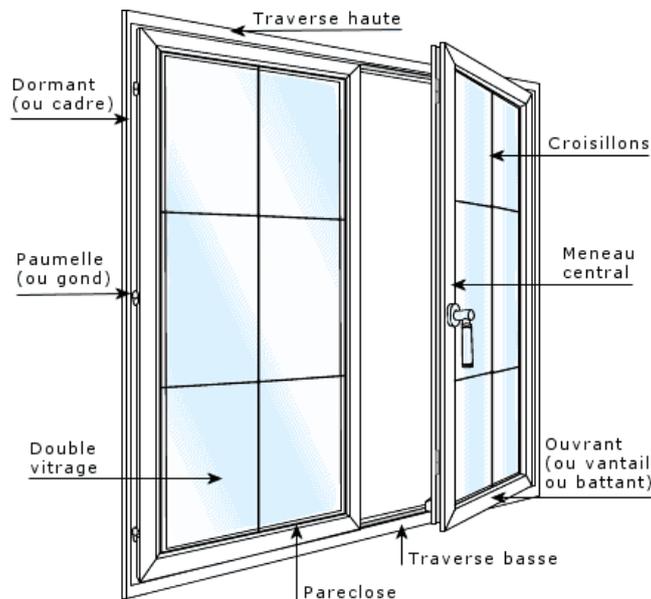


Figure 2.1: Les éléments constituant la baie.

(Source : Auteur)

II.1.2. Les protections solaires:

Les possibilités d'utilisation des protections solaires sont multiples. Le choix optimal du type d'une de ces protections dépend donc des besoins de l'utilisateur.

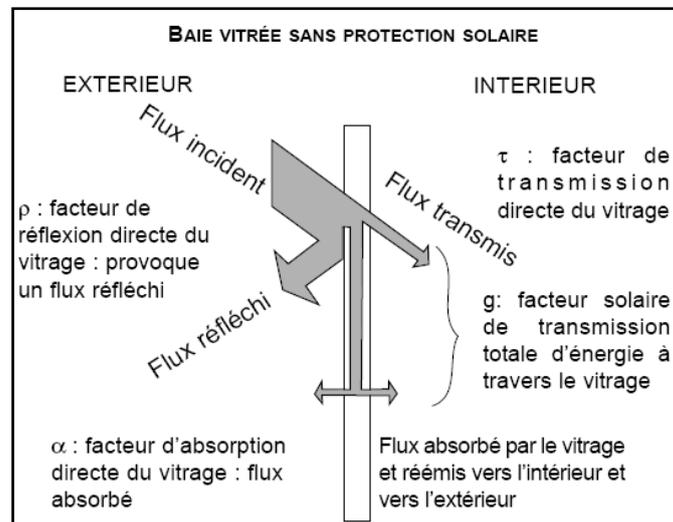


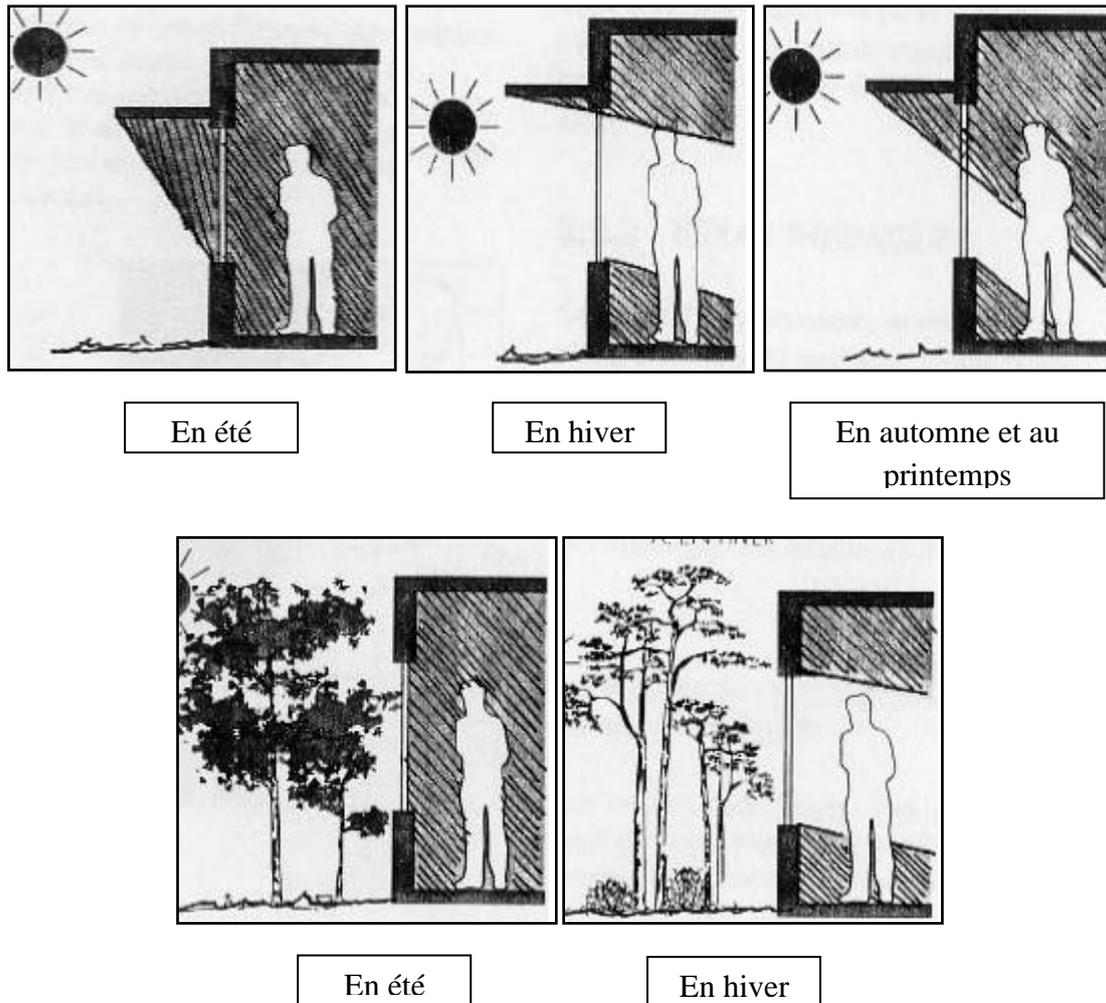
Figure 2.2: les performances énergétiques de la fenêtre.
(Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

1) Les objectifs:

Les fonctions des protections solaires sont de limiter l'ensoleillement et les surchauffes des locaux, de gérer la lumière pour limiter l'éblouissement mais aussi de diminuer les déperditions thermiques de la fenêtre.

L'ombrage des éléments vitrés peut se faire grâce à des éléments architecturaux fixes en façade ou grâce à des protections solaires qui se caractérisent par leur position dans la baie (protections intérieures, extérieures ou intégrées au vitrage multiple) ou par leur degré évolutif (protections fixes, mobiles ou environnementales).

L'ombrage est fonction de la position du soleil et des protections. Il est donc plus aisé d'ombrer une fenêtre orientée au sud que d'ombrer des fenêtres orientées à l'est ou à l'ouest (Simon et Hauglustaine, 2002).



Figures 2.3: principes et efficacité des protections solaires.
 (Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

- **limiter les surchauffes:**

En effet, c'est surtout du côté Ouest que le rayonnement solaire à travers les vitrages peut entraîner, par effet de serre, des surchauffes inconfortables pour les utilisateurs. De même, si la température ambiante à l'intérieur du local est supportable, le rayonnement chaud du vitrage et le rayonnement direct du soleil peuvent être sources d'inconfort pour les occupants (Simon et Hauglustaine, 2002).

Il est donc important de combattre les surchauffes au moyen de protections judicieuses.

- **Diminuer les déperditions thermiques:**

En plus de certains avantages tels la limitation de la pénétration de l'air et de l'eau, les protections solaires modifient le comportement global de la transmission d'énergie thermique à travers la baie de fenêtre.

- **Gérer la lumière:**

Selon la position du soleil et de la baie de fenêtre, l'intensité lumineuse peut également être source d'inconfort.

Les problèmes d'éblouissement peuvent être très importants quand :

- le soleil est bas sur l'horizon (matin, soirée et hiver) ;
- dans le cas des locaux orientés au nord, le ciel est trop lumineux.

2) Le positionnement des protections solaires:

- **Les protections extérieures :**

Elles sont beaucoup plus performantes d'un point de vue thermique que les protections intérieures. En effet, de par sa position, la protection solaire absorbe, réfléchit (et transmet dans certain cas) le rayonnement solaire incident.

Lorsque cette protection solaire se trouve du côté extérieur du vitrage, elle arrête les rayons incidents et l'échauffement de la protection n'a que peu d'influence sur le climat intérieur (Manuel Sauter, 2013).

Ces protections extérieures doivent être spécialement étudiées car elles sont soumises aux perturbations atmosphériques et diverses telles que le vandalisme et la pollution.

- **Les protections intérieures :**

Elles sont efficaces pour assurer un confort visuel contre l'éblouissement mais ne présentent que des performances thermiques médiocres.

En effet, contrairement aux protections extérieures, les rayons solaires sont interceptés lorsqu'ils ont déjà pénétré dans le bâtiment.

L'efficacité de la protection solaire intérieure est donc limitée car le rayonnement solaire n'est intercepté qu'une fois qu'il est entré dans le bâtiment et seule une certaine proportion de rayons est réfléchiée et effectivement transmise vers l'extérieur.

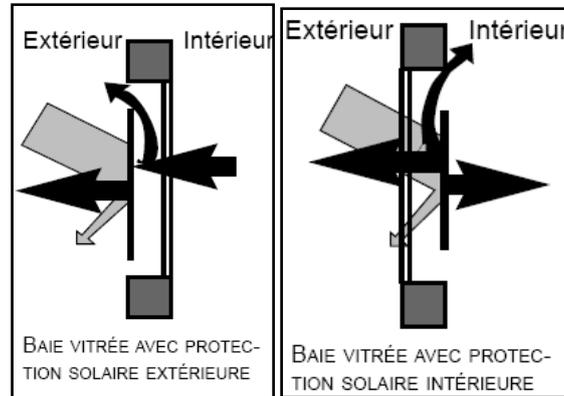


Figure 2.4: le positionnement des protections.
(Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

- **Les protections intégrées :**

Ce sont les protections dont l'élément occultant est disposé entre les feuilles de verre d'un vitrage multiple.

Les performances thermiques et visuelles sont généralement meilleures que celles des protections solaires intérieures mais moins bonnes que celles des protections solaires extérieures (Simon et Hauglustaine, 2002).

3) Les caractéristiques:

Les protections solaires sont caractérisées par le facteur solaire et par la transmission lumineuse. La valeur de ce facteur solaire absolu varie en fonction du type de protection solaire, du type de vitrage et de la mise en œuvre. Pour être efficace, une protection solaire doit stopper 80 à 85 % de l'énergie solaire : cela signifie que le facteur solaire doit donc être compris entre 0,20 et 0,15.

4) Description des principales protections solaires:

- Les éléments architecturaux :

Ce sont des éléments fixes extérieurs intégrés dans la structure du bâtiment. Les balcons, les terrasses, etc. sont autant d'éléments repris dans cette catégorie. Ils doivent, par définition, être prévus dès la conception (Siret, 2002).

- Les brise-soleil :

Ce sont des éléments extérieurs rapportés au bâtiment : soit des éléments architecturaux lourds, soit des éléments un peu plus légers fixés à l'extérieur.

- Les stores vénitiens (ou écrans solaires à lamelles) :

Ce sont des protections mobiles verticales ou horizontales extérieures, intérieures ou même intégrées au vitrage multiple. Ces protections sont composées de lamelles en aluminium ou en bois, inclinables par un système de câbles, de chaînes ou de baguette. L'inclinaison des lamelles permet de conserver un éclairage naturel du local en se protégeant plus ou moins du rayonnement direct du soleil (Simon et Hauglustaine, 2002).

- Les stores enroulables (ou volets roulants) :

Ils constituent des protections mobiles, complètement extérieures ou intérieures, amovibles et sont composés d'une toile (ou d'un jeu de lamelles) qui se déploie devant (protection extérieure) ou derrière (protection intérieure) la fenêtre. Quelle que soit la position de la protection, le mécanisme est similaire. Ces stores enroulables peuvent être de différents types. Ils sont "simples", plissés (simple ou à double paroi) ou avec une structure alvéolaire (Simon et Hauglustaine, 2002).

- Les tentes solaires ou marquises :

Ce sont des toiles extérieures enroulables déployées obliquement ou à l'horizontale. Elles offrent une protection tout à fait variable en fonction des besoins. L'inconvénient majeur est que ce type de protection mobile est sensible au vent et aux intempéries.

- Les stores à projection ou volets projetés à l'italienne :

Placé à l'extérieur, ce système mobile combine des protections enroulables verticales et des protections horizontales, ce qui permet de conserver un certain apport d'éclairage naturel.

- Les stores enroulables réfléchissants :

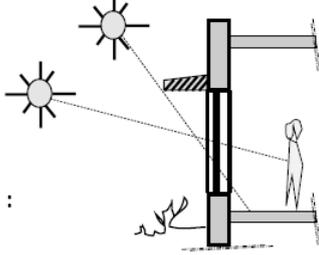
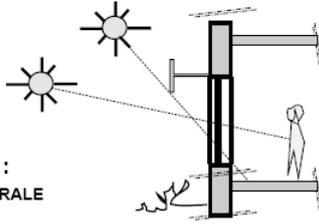
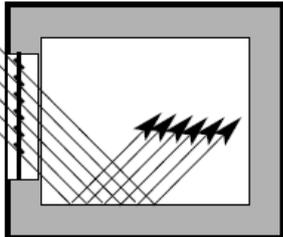
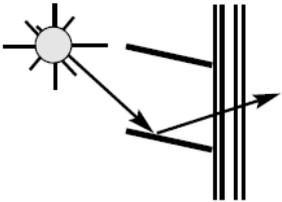
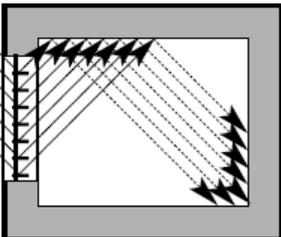
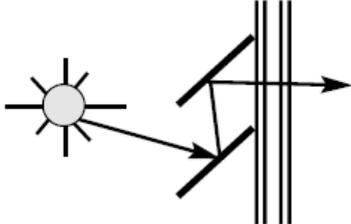
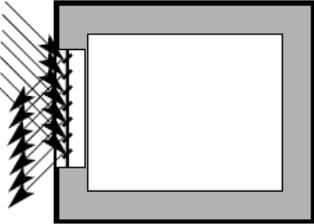
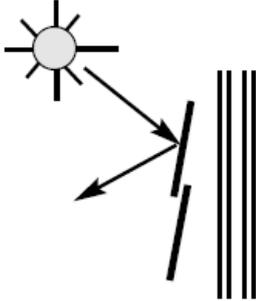
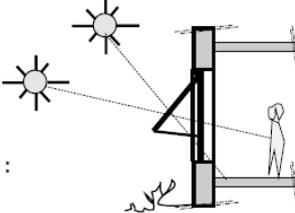
Ce sont des stores similaires aux stores enroulables classiques mais ils sont composés d'une toile réfléchissante qui, habituellement, se déroule entre les feuilles de verre d'un vitrage multiple. Cette lame d'air doit avoir au minimum 12 mm d'épaisseur.

- Les protections solaires intégrées au vitrage :

Ces protections solaires sont intégrées entre les feuilles de verre d'un vitrage multiple.

Leurs propriétés sont analogues à celles obtenues par des systèmes de protections solaires homologues placés à l'intérieur ou à l'extérieur. Un avantage est l'entretien car ce type de protection n'est pas concerné par les salissures (Simon et Hauglustaine, 2002).

Tableau 2.1: les principales protections solaires (Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

Brise-soleil	Avancée architecturale
<p>SCHÉMA DE PRINCIPE : BRISE-SOLEIL</p> 	<p>SCHÉMA DE PRINCIPE : AVANCÉE ARCHITECTURALE</p> 
Stores vénitiens ou stores à lamelles horizontales	
<p>Lamelles en position ouverte</p> 	
<p>Lamelles en position horizontale</p> 	
<p>Lamelles en position verticale ou perpendiculaire aux rayons du soleil</p> 	
Store à l'italienne	
<p>SCHÉMA DE PRINCIPE : STORE À L'ITALIENNE</p> 	

TYPES DE PROTECTION	Efficacité contre les surchauffes	Efficacité contre l'éblouissement	Apport en éclairage naturel	Pouvoir d'isolation thermique	Résistance aux contraintes mécaniques	Modularité par rapport aux besoins	Ventilation intensive	Placement en rénovation	Intimité des occupants "privacy"
PROTECTIONS EXTERIEURES	Brise-soleil	++	++	--	++	+/-	++	+/-	--
	Stores vénitiens	++	++	--	+	++	++	+	+
	Stores enroulables	++	++	+/-	-	++	+/-	++	++
	Éléments architecturaux	++	++	++	--	++	++	--	--
	Stores projetés à l'italienne	++	++	+	-	--	++	++	=
PROTECTIONS INTERIEURES	Stores enroulables plissés en tissu	-	++	+/-	+	++	-	++	++
	Stores enroulables plissés réfléchissants	+	++	-	+/-	++	-	++	++
	Stores vénitiens à lamelles verticales	--	++	+/-	--	+	-	++	+
	Films	-- à ++	-- à ++	+/-	-- à ++	++	++	++	- à ++
	Stores vénitiens	++	++	+	+	++	++	++	+
PROTECTIONS INTÉGRÉES AU VITRAGE	++	++	-	-	++	++	++	--	++

-- Très mauvais - Mauvais +/- Moyen + Bon ++ Très bon

Tableau 2.2: Les performances des principales protections solaires. (Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

II.1.3. Le vitrage:

Les verres existent dans la nature. Ils se sont formés lors du refroidissement brusque de lave fondue (obsidienne) ou par impact de météorites (tectites), mais ce sont principalement des matériaux artificiels.

Les verres inorganiques sont, pour 95 % de la production industrielle, des verres constitués de silicates (verres d'oxyde) (Baltus et hauglustaine, 2003).

1) Les différents types de vitrage:

- Verre coulé traité de sécurité sérigraphie : feuille de verre coulé (armé ou non armé) obtenue par laminage à chaud entre deux rouleaux, avec ou sans impression de dessins sur une des faces.
- Verre armé : verre dans lequel on a incorporé, lors de la phase de fabrication, un treillis métallique destiné à maintenir les morceaux de verre en place en cas de bris mais ne participant pas à la résistance mécanique.
- Verre profilé : verre recuit obtenu par coulée continue suivie d'un laminage et d'un processus de formage (souvent en forme de U). Des fils métalliques peuvent y être incorporés lors de la fabrication pour en faire du verre profilé armé. Ce verre peut être assemblé à l'aide de mastic (silicone) et ce, de différentes façons (Baltus et hauglustaine, 2003).

Le verre profilé peut être utilisé en double paroi uniquement dans le cas de bâtiments à faible teneur en humidité. Il s'applique en paroi tant intérieure qu'extérieure, mais pas à un endroit où un vitrage de sécurité est requis (toiture, risque de chute,...). Les performances thermiques ne sont pas très bonnes (Simon et Hauglustaine, 2002).

- Verre moulé : verre translucide moulé soit sous forme de dalles décoratives, soit sous formes de briques (c'est-à-dire corps en verre, étanches à l'air, généralement composés d'au moins deux éléments soudés les uns aux autres).
- Verre soufflé : produit par un ancien procédé artisanal (le soufflage) qui permet d'obtenir une large gamme de couleurs (Adams et Cobelver, 1999).

2) Les exigences vis-à-vis des produits verriers:

Les produits verriers sont supposés répondre à 6 exigences essentielles (Baltus et hauglustaine, 2003), à savoir :

- la résistance mécanique et la stabilité aux actions externes telles que le vent et, dans certains cas, le risque de “casse thermique” ;
- la sécurité en cas d’incendie ;
- l’hygiène, la santé et l’environnement : les produits verriers n’émettent aucune substance polluante susceptible de provoquer des effets néfastes sur la santé et sur l’environnement
- la sécurité d’utilisation là où il pourrait présenter un risque pour la sécurité des personnes, le verre peut avoir des caractéristiques telles qu’il évite les chutes par effacement de la protection (garde-corps) ou les blessures par contact d’arêtes vives et coupantes ;
- la protection contre le bruit ;
- l’économie d’énergie et l’isolation thermique.

3) Les performances du vitrage:

- **La transmission de chaleur:**

La transmission de chaleur entre les deux faces du verre se fait :

- uniquement par conduction s’il s’agit d’un simple vitrage opaque ;
- par conduction et rayonnement s’il s’agit d’un simple vitrage transparent ;
- par conduction et rayonnement dans le verre, par conduction dans l’espaceur et par conduction, rayonnement et convection dans la lame d’air ou de gaz s’il s’agit d’un double vitrage.

L’utilité du vitrage multiple est de limiter les pertes de chaleur par conduction dans le verre en séparant les feuilles de verre par une (des) lame (s) de gaz.

La conductivité thermique λ du verre vaut 1 W/mK. Il ne s’agit donc pas d’un matériau isolant puisque sont considérés comme tels les matériaux dont la conductivité thermique est inférieure à 0,065 W/mK.

Pour minimiser les déperditions d’énergie et donc obtenir une isolation thermique maximale, il faut que le coefficient de transmission U du vitrage ait une valeur aussi faible que possible (Simon et Hauglustaine, 2002).

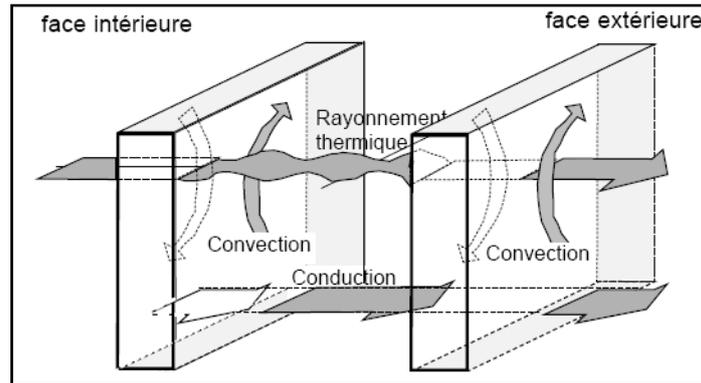


Figure 2.5: Modes de transmission de chaleur à travers un vitrage lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure.
(Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

Le rôle de la fenêtre et de sa situation par rapport à l'environnement intérieur et extérieur est incontestable dans la transmission lumineuse.

Le choix de certains vitrages dans un but de contrôle de l'énergie solaire peut influencer la transmission lumineuse et, parfois, l'esthétique d'un bâtiment.

Choisir des verres absorbants, c'est-à-dire des verres teintés dans la masse, conduit, selon l'épaisseur, à diminuer le facteur solaire g . Celui-ci ne pourra valoir que 0,4 dans le cas le plus défavorable et sera, au maximum de 0,8 dans le cas le moins défavorable. De plus, ce type de vitrage est sujet au phénomène de casse thermique, car il s'échauffe plus que les verres classiques (Adams et Cobelver, 1999).

Choisir des verres réfléchissants peut entraîner, par réflexion du soleil sur les vitrages, un éblouissement certain. L'avantage des façades entièrement vitrées par ce type de verre est de réfléchir le paysage (Simon et Hauglustaine, 2002).

Il faut également prendre en compte les problèmes de réflexion de l'image, de déformation et de coloration de l'environnement.

- **Les performances physico-mecaniques:**

Quel que soit le type de vitrage, il doit pouvoir résister aux agressions extérieures et intérieures.

En effet, il doit au minimum résister à son propre poids, aux sollicitations du climat (pluie, vent, etc.).

Ce matériau étant élastique, il pourra se dilater mais il ne présente jamais de déformation permanente. Cependant, puisqu'il est fragile, lorsqu'il sera soumis à une flexion trop forte, il cassera sans présenter de signes précurseurs.

Il pourra en outre résister à la traction (module de Young ou module d'élasticité longitudinal) et subir une contraction latérale due à un allongement (Baltus et Hauglustaine, 2003).

II.1.3.1. Le châssis:

Le rôle du châssis de fenêtre est de maintenir le vitrage en place et de permettre l'ouverture, l'entretien et la ventilation intensive.

La structure du châssis reprend le poids des éléments constituant la fenêtre, les charges climatiques et d'entretien, ainsi que de certains accessoires (protections solaires, décorations...) et les reporte sur les murs, auxquels le châssis doit être correctement ancré pour reprendre les efforts de pression et de succion du vent.

Il ne suffit pas que les cadres aient la résistance nécessaire pour constituer un support efficace pour les vitres, il faut encore que le poids de celles-ci soit reporté aux endroits judicieusement choisis afin d'éviter la déformation excessive des cadres ouvrants et des traverses fixes (Simon et Hauglustaine, 2002).

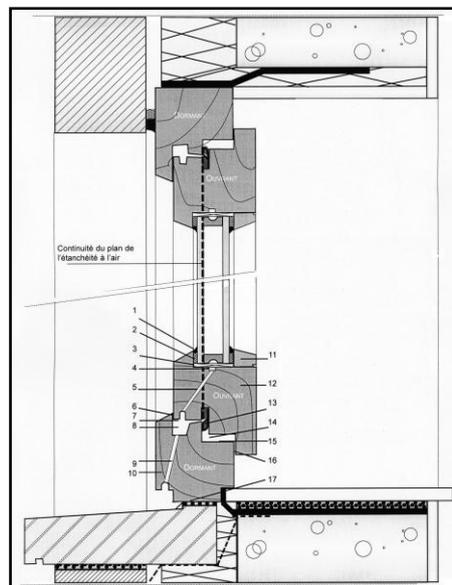


Figure 2.6: Schéma de principe d'un châssis en bois.
(Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

1) Les différentes parties d'un châssis:

- **Le dormant:**

C'est l'élément constitutif de base d'un châssis et c'est la partie du châssis fixée au gros-œuvre. S'il n'y a pas d'ouvrant (châssis appelé fixe), il comprendra la feuillure et la parclose de fixation du vitrage.

- **L'ouvrant:**

C'est la partie mobile du châssis. Il comporte toujours la feuillure et des joints d'étanchéité à l'air. Dans le cas d'un ouvrant, le dormant comporte des profilés créant avec ceux de l'ouvrant des barrières à l'eau, à l'air et des chambres de décompression. Des logements pour les quincailleries y sont également prévus.

Il existe de nombreux types d'ouvrants (Simon et Hauglustaine, 2002).

- **La double barrière d'étanchéité:**

Ce principe est appliqué sur la majorité des châssis de menuiserie extérieure et ce, quel que soit le matériau de base.

Cette appellation est donnée par la conception même du châssis. En effet, la barrière à l'air et la barrière à l'eau sont physiquement dissociées l'une de l'autre. Ceci a pour conséquence d'offrir un avantage considérable : la protection de la barrière d'étanchéité à l'air contre les sollicitations climatiques (Bertrand, 2008).

- **Principe**

Les barrières d'étanchéité à la pluie et au vent ne peuvent, à aucun endroit du périmètre ni verticalement, ni horizontalement, présenter de déviation ni de décalage.

Toute discontinuité, même très légère, peut être source de pénétration d'eau et/ou d'air.

Elle doit être :

- continue et se situer de préférence dans un même plan ;
- parfaitement étanche. En effet, tout défaut (toute fuite) compromet directement l'efficacité de la barrière à l'eau, mais aussi le contrôle de la ventilation et l'isolation acoustique.

2) Les différents types de châssis:

Les châssis de fenêtre sont fabriqués en différents matériaux tels que le bois, le PVC (chlorure de polyvinyle), l'aluminium, des matériaux composites.

Les différentes parties d'un châssis et leurs rôles respectifs seront abordés dans les parties concernant chacun des matériaux utilisés pour la conception d'un châssis (Simon et Hauglustaine, 2002).

3) Les fermetures, charnières et types d'ouvrants:

La forme, le type de fenêtre, ses divisions et leur position vont influencer le comportement et la résistance structurelle aux intempéries. De plus, le coefficient de transmission thermique U en est modifié.

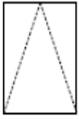
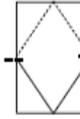
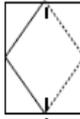
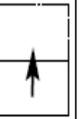
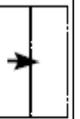
Par exemple, si on choisit le même vitrage et le même type de châssis, une fenêtre fixe ou une fenêtre à deux vantaux ouvrants vers l'intérieur n'ont pas le même coefficient U_{fen} car les proportions de châssis et de vitrage sont différentes.

- En théorie, ces valeurs devraient entrer en ligne de compte pour le calcul du U_{fen} .
- En pratique, le calcul du U_{fen} est basé sur une moyenne acceptable (Bertrand, 2008).

- **Comparaison des performances Éco-énergétiques des types d'ouvrants:**

- fixes : les plus éco énergétiques car réduction des fuites et courants d'air ;
- pivotantes (à battants / à axe vertical) : en comparaison avec les autres types d'ouvrants, offrent la meilleure étanchéité à l'air ;
- basculantes : doivent être pourvues d'un coupe-froid efficace ; elles réduisent les infiltrations d'air ;
- à guillotine (à 1 ou 2 vantaux) : pas très efficace d'un point de vue énergétique;
- coulissantes : les moins éco-énergétiques de toutes.

Tableau 2.3: tableau comparatif des performances Éco-énergétiques des types d'ouvrants. (Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

TYPES D'OUVRANTS (vu de l'extérieur)		PROPRIETES	AVANTAGES / INCONVENIENTS										
			Eclairage	Quincaillerie	Entretien	Sécurité	Etanchéité à l'eau	Etanchéité à l'air	Encombrement vers l'intérieur	Aventilation intensive	Limites		
PIVOT A AXE VERTICAL		vantail ouvrant vers l'intérieur	BON	CHOIX SIMPLE	BON	BON	BON	BON	BON	BON	IMPORTANT	NECESSITE UN CALAGE	LIMITE EN LARGEUR
		vantail ouvrant vers l'extérieur	BON	NECESSITE UN CALAGE	DIFFICILE	MAUVAIS	EXCELLENT	EXCELLENT	MAUVAIS	NON	NON	NECESSITE UN CALAGE	LIMITE EN LARGEUR
		vantail ouvrant vers l'intérieur en partie gauche et vers l'extérieur en partie droite	BON	COUTEUX	BON car s'ouvre à 180°	MAUVAIS	DIFFICILE	DIFFICILE	DIFFICILE	MOYEN	MOYEN	NECESSITE UN CALAGE	LIMITE POUR L'OUVERTURE
PIVOT A AXE HORIZONTAL		vantail ouvrant vers l'intérieur en partie haute et vers l'extérieur en partie basse	BON	COUTEUX	BON car s'ouvre à 180°	MAUVAIS	BON	BON	DIFFICILE	DIFFICILE	MOYEN	NECESSITE UN CALAGE	LIMITE POUR L'OUVERTURE
		vantail ouvrant principalement vers l'extérieur	BON	COUTEUX	DIFFICILE	MAUVAIS	BON	BON	DIFFICILE	DIFFICILE	FAIBLE	NECESSITE UN CALAGE	LIMITE POUR L'OUVERTURE
		2 types d'ouvertures vers l'intérieur	BON	UN PBU + COUTEUX	BON	BON	BON	BON	BON	BON	IMPORTANT A FAIBLE	BON	LIMITE POUR L'OUVERTURE
COULISSANTE		vantail ouvrant vers l'intérieur	BON	SIMPLE	BON si s'ouvre à 180°	BON	BON	BON	BON	FAIBLE	FAIBLE	BON	LIMITE EN HAUTEUR
		par translation horizontale	BON	CHOIX : coul., levant-coul., déb.-coul., base coul.	DIFFICILE	BON	BON	BON	BON	BON	NON	BON	h / l < 2,5
		par translation verticale	BON	CHOIX	DIFFICILE	MAUVAIS	MOYEN	DIFFICILE	NON	NON	NON	NECESSITE UN CALAGE	entre autres POIDS, SECURITE

Conclusion:

Les fenêtres sont insérées habituellement dans l'enveloppe des bâtiments. Bon nombre de concepteurs de bâtiments sont sensibilisés à l'importance des fenêtres par rapport à la performance de l'environnement bâti. Pour déterminer les performances souhaitées d'une fenêtre, le concepteur doit pouvoir préciser les éléments de constitution d'une baie.

Les fenêtres ont un rôle essentiel dans l'architecture, ce qui se voit par la profusion des styles. Au fil du temps, la structure des fenêtres vitrées a toutefois été liée à la technique de la fabrication du verre. Les fenêtres anciennes avaient des panneaux de verre qui tenaient par une résille de plomb. Elles furent remplacées au XVIIe siècle par des fenêtres à cadre en bois le châssis. A partir de 1840, grâce à l'invention du verre à vitre plat (plus mince, meilleur marché et en plus grandes dimensions (*Dessain et Tolra, 2003*)).

La recherche dans le domaine des fenêtres a permis de nombreux progrès tels que :

- l'amélioration des performances énergétiques en période hivernale ;
- le contrôle des gains solaires ;
- l'optimisation de l'éclairage naturel, pour limiter l'utilisation de l'éclairage artificiel et contrôler la transmission de lumière afin d'éviter les phénomènes d'éblouissement et les reflets ;
- la mise au point de façades à fonctions multiples : la combinaison de fonctions dans les murs-rideaux s'est de plus en plus imposée ces dernières années ;
- l'amélioration de la qualité des châssis tant du point de vue des matériaux que des profilés ;
- l'évolution positive des produits de resserrage en périphérie.

Selon le Corbusier (1929) : « *L'architecture, c'est des planchers éclairés. Je le démontre par cette suite de petits dessins exprimant, à travers les âges, l'histoire de l'architecture par celle de la fenêtre. Le but, c'est de porter des planchers sur des murs qu'on perce de fenêtres pour éclairer l'intérieur* ».

CHAPITRE N°3

CARACTERISATIONS FONCTIONELLES

DE LA BAIE

CHAPITRE N°03:

Caractérisations fonctionnelles de la baie

" L'architecture peut faire vraiment du mal, peut rendre la vie quotidienne bête et ennuyeuse, mais il est aussi possible de rendre l'espace heureux"

Christian de Portzamparc

Introduction:

Dans un contexte de recherche d'efficacité énergétique toujours plus grande, les baies font l'objet de toutes les attentions. Isolation thermique, transmission de lumière à l'intérieur des bâtiments, apport énergétique... : les performances qui sont attendues peuvent parfois paraître antagonistes.

Pas facile, en effet, de proposer une conception optimale tout en assurant une bonne maîtrise des différents paramètres. Difficile également d'optimiser les apports énergétiques et lumineux lorsque l'on augmente la surface et l'épaisseur des vitrages d'une fenêtre.

Mais avant d'entamer la relation entre l'architecture de la baie et les différents paramètres et critères qui puissent influencer le processus général de conception, nous sommes obligés de déceler ces différents paramètres avec les interactions entre eux, et c'est ce que ce chapitre est consacré à étudier.

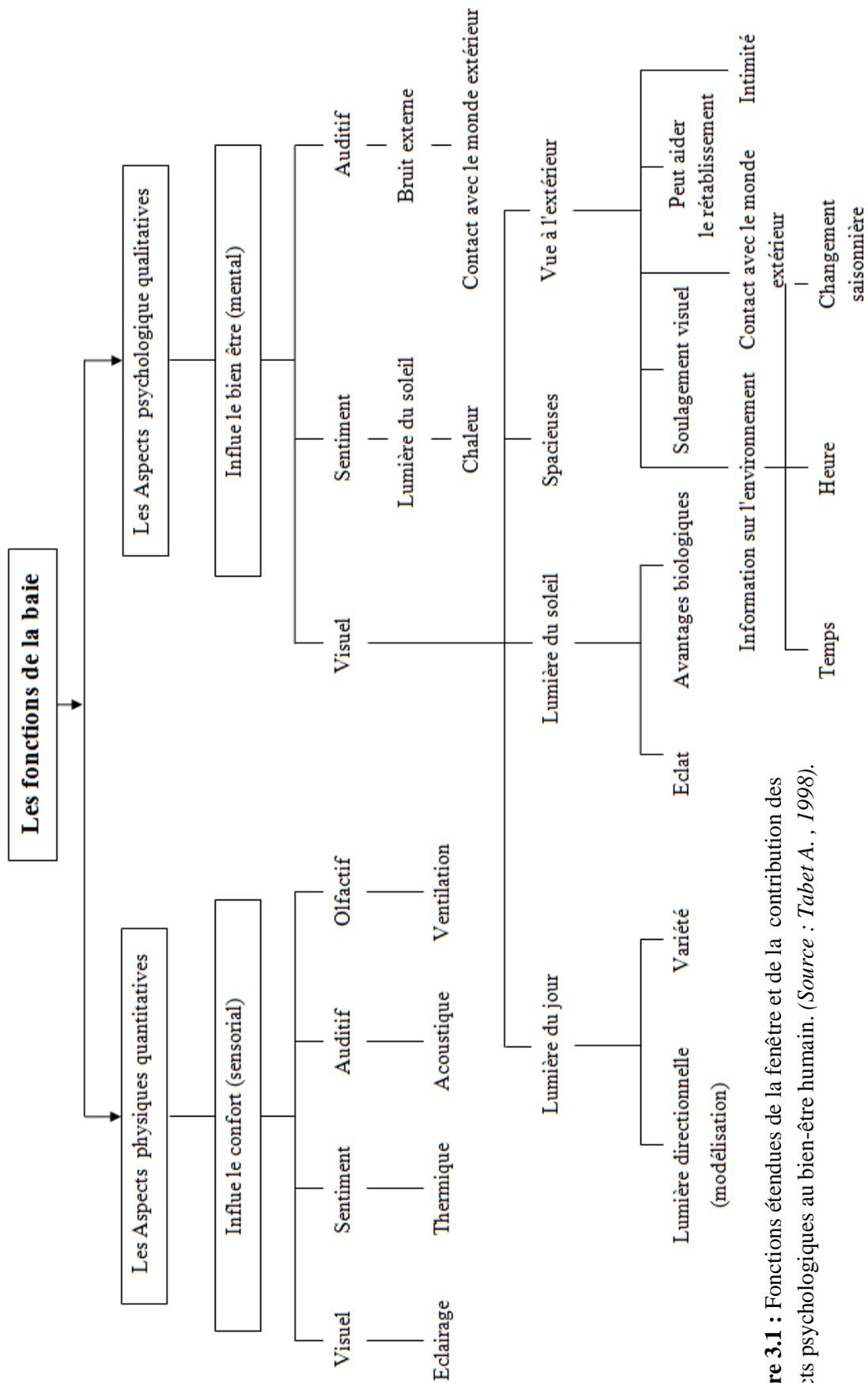


Figure 3.1 : Fonctions étendues de la fenêtre et de la contribution des aspects psychologiques au bien-être humain. (Source : Tabet A., 1998).

III.1. Les Fonctions de la baie:

La fenêtre est un des composants du bâtiment les plus complexes et coûteux en raison du grand nombre de rôles contradictoires qu'elle doit jouer:

- éclairage/occultation,
- vue dehors/recherche d'intimité,
- pénétration du soleil/protection solaire,
- étanchéité/ventilation...

En plus des qualités techniques nécessaires pour assurer le confort thermique et visuel, la fenêtre doit définir l'organisation de l'espace intérieur et situer l'entrée de la lumière du jour (Tabet A., 1989).

Il a toujours été difficile de répondre à toutes ces demandes et certaines priorités dominent la conception traditionnelle des fenêtres. Ainsi, les meilleurs exemples montrent une liaison entre:

- Les dimensions et l'orientation;
- Le climat et les systèmes de protection contre les déperditions thermiques ou les apports solaires.

Ces différentes fonctions se déclinent selon trois dimensions à savoir:

III.2. Les paramètres de la baie:

III.2.1. Les Paramètres environnementaux:

1) La lumière naturelle:

La lumière naturelle (Mudri, 2002) reçue à l'intérieur d'un bâtiment est la résultante de la combinaison : des rayons solaires directs, la lumière diffuse du ciel lumière et la lumière réfléchiée par les façades et de l'environnement. Le schéma (Figure 3.2) montre les trois composantes de la lumière à l'intérieur d'un local.

En terme de lumière naturelle, le soleil peut être considéré comme une source ponctuelle pour un observateur situé sur la surface terrestre, malgré sa grande dimension physique. Le ciel quant à lui, est une source lumineuse étendue.

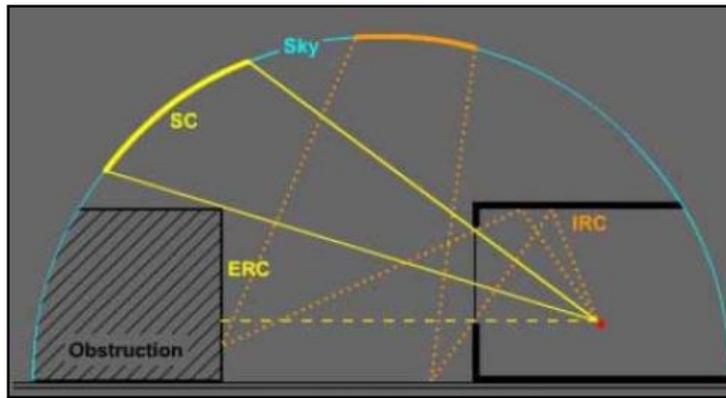


Figure 3.2: les composantes de la lumière naturelle pénétrante pour un espace intérieur (*Source: Mudri, 2002*)

Il existe deux catégories d'unités de mesure pour déterminer les différentes caractéristiques de la lumière: radiométriques et photométriques.

Les grandeurs radiométriques ou énergétiques permettent de décrire les caractéristiques physiques des radiations (longueur d'onde, vitesse, fréquence...).

Les grandeurs photométriques sont utilisées pour déterminer les caractéristiques des rayonnements lumineux en relation avec la sensation visuelle qu'ils provoquent à savoir: l'éclairement, le flux lumineux, luminance...

- **Type d'éclairage naturel:**

Le type d'éclairage naturel est défini par la position des prises de jour qui le procurent 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.

- **L'éclairage zénithal:**

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.

D'après Terrier et Vandevyver, le recours à l'éclairage zénithal est indispensable pour les constructions dont la hauteur sous plafond est supérieure à 4,50m.

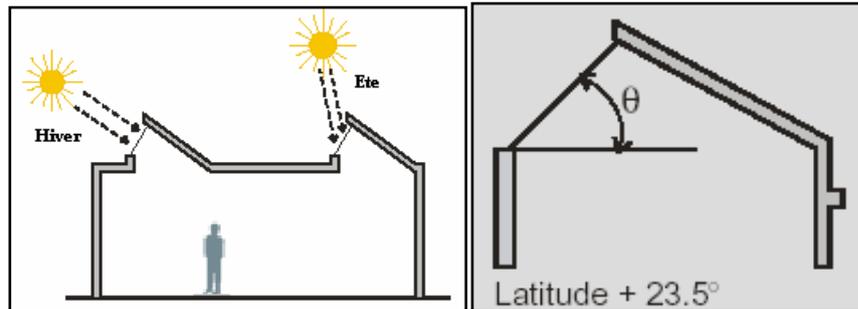


Figure 3.3: Inclinaison recommandée des tabatières.
(Source : Pasini et al, 2002)

L'éclairage zénithal est constitué d'ouvertures situées au niveau de la toiture du bâtiment, la distribution de la lumière peut être directe ou indirecte selon le type d'ouverture. Un shed, par exemple, nous permet d'avoir un éclairage indirect, tandis qu'une verrière donne une lumière directe. On distingue plusieurs types d'ouvertures zénithales qui peuvent qualifier différemment la lumière : Fenêtre de toit, verrière, fente zénithale, atrium, shed, lanterneaux, lumiduc, puits de lumière, voûte, dôme, coupole. « Une voûte, un dôme, sont un choix du caractère de la lumière » Louis Kahn (Ciriani, 1991).

L'éclairage zénithal direct

La lumière est introduite directement à l'intérieur de l'espace, ce genre d'éclairage est généralement constitué de verrière, une tabatière (skylights), de dôme, etc. ses inconvénients sont l'ensoleillement non contrôlé en été et les déperditions de chaleurs en hivers, c'est pour cela que ce genre d'éclairage direct est minutieusement accompagné de système de contrôle solaires surtout pour les tabatières, ou encore une étude de l'inclinaison des vitrage ainsi que leur orientation. Le problème de l'étanchéité ainsi que celui de nettoyage sont aussi importants pour la performance de ces ouvertures, en effet le nettoyage et l'entretien de ces ouvertures (dépôt de poussière) peut améliorer l'apport de lumière considérablement ou au contraire la réduire. Et ses avantages c'est qu'il est exposé à une grande partie du ciel visible, la luminance est ainsi la plus élevée et son éclairage intérieur est uniforme.

L'éclairage zénithal indirect

La lumière pénètre indirectement à l'intérieur des espaces, elle peut se faire par sheds (toiture en dents de scie), lanterneaux, puits de jour (patio, atrium...), light pipes, etc. Le principe est simple, l'ouverture dans ces toitures collecte la lumière naturelle et une autre surface opaque ou réfléchissante la fait introduit et la distribue à l'intérieur des espaces. Souvent ce système procure une lumière directionnelle et une limitation des apports solaires, la directivité de la lumière procure des non homogénéités de l'éclairage intérieur ainsi que des ombres portées (l'orientation des vitrage doit donc être étudié en conséquence), il est alors judicieux de varier les directions des ouvertures pour remédier à ces inconforts, ces situations d'inconfort sont plutôt signalées dans les sheds et les lanterneaux car pour les puits de lumière, les avantages sont largement plus importants que les inconvénients, l'intérieur des espaces éclairés se rapproche d'un éclairage latéral avec en moins les désagréments de l'ensoleillement (Passini et al , 2002).

L'éclairage zénithal rappelle la venue de la lumière divine de part sa source, il est souvent utilisé en architecture religieuse comme analogie à la lumière divine, la source zénithale est alors comparée à la source divine à la voûte divine. L'utilisation des coupoles ou des ouvertures zénithales en architecture religieuse n'a jamais été fortuite, souvent cette assimilation est à l'origine du choix de la coupole ou des dimensions de cette dernière, plus l'ouverture zénithale est petite plus l'effet directionnelle de la lumière est grand et plus l'effet des faisceaux lumineux rappelle la venue de la lumière (avec tous ses sens).

- *L'éclairage latéral :*

Il s'agit d'un éclairage fourni par une ou plusieurs ouvertures verticales disposées sur une même ou plusieurs façades 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.

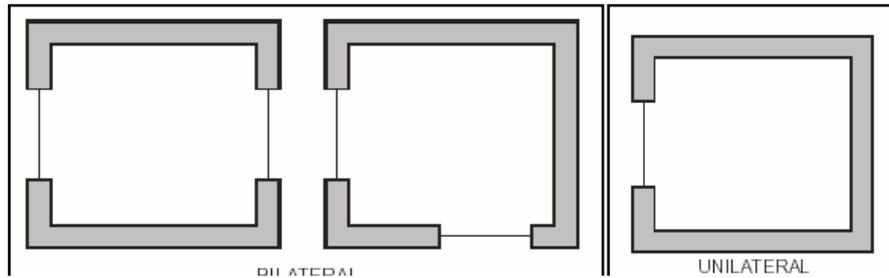


Figure 3.4: Dispositifs d'éclairage unilatéral et bilatéral.
(Source: Passini et al , 2002)

L'éclairage latéral est selon Deletre (2003) est l'un des moins performant du point de vue éclairage par la lumière du jour, en particulier dans le cas où il y a un masque extérieur, il est souvent utilisé dans les locaux de faible hauteur sous plafond.

En effet les fenêtres latérales ne voient qu'une partie de la voûte céleste, ainsi et partiellement couvert, ces ouvertures ont des performances lumineuses nettement plus faibles que les ouvertures horizontales. Ajouté à cela les ouvertures latérales permettent à la lumière de pénétrer latéralement dans les locaux, ce qui peut créer des situations de contre-jour ou d'éblouissement à proximité des fenêtres. En contre partie, ces fenêtres transmettent un maximum de rayons solaires en hiver, ce qui favorise l'utilisation des gains solaires (Vandenplas, 1994).



Figure 3.5 : Espaces éclairés latéralement.
(Source: Internet)

Selon l'étude de Cadiergues, 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.

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, on double pratiquement le facteur de lumière du jour : le gain est d'environ 67%.

- **Le facteur de lumière du jour:**

En éclairage naturel, (Liébard et De Herde, 2005) l'exigence d'éclairément peut être exprimée en valeur de "facteur de lumière du jour" (FLJ). Ce facteur est le rapport de l'éclairément naturel intérieur reçu en un point (généralement le plan de travail ou le niveau du sol) à l'éclairément extérieur simultané sur une surface horizontale, en site parfaitement dégagé, par ciel couvert. Il s'exprime en %.

Le facteur de la lumière du jour (FLJ) est la somme de trois composantes :

- La composante directe (SC= Sky component).
- La composante réfléchie externe (ERC= External Reflected component).
- La composante réfléchie interne (IRC=Internal Reflected component).

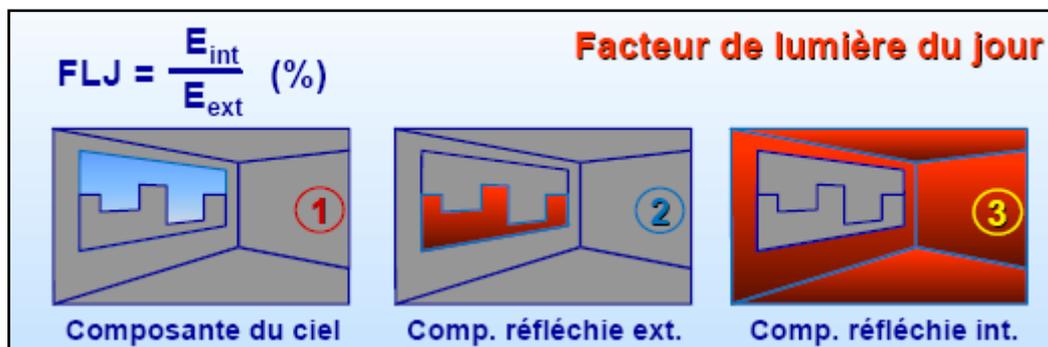


Figure 3.6: les trois composantes du facteur de lumière du jour.

(Source: Liébard et De Herde, 2005)

- **Les conditions du ciel:**

Etant donné la multitude des conditions météorologiques existantes, quatre types de ciels standards ont été établis pour les études d'éclairément. Pour chaque type de ciel correspondent des caractéristiques bien précises. (Velay-Dabat, 2004)

- **Ciel uniforme:**

Il s'agit du premier modèle utilisé dans les études d'éclairage naturel, il se caractérise par une luminance uniforme. Dans ce cas, la relation entre la luminance uniforme du ciel et l'éclairement d'une surface horizontale sans obstruction de quelque sorte que ce soit, sera :

$$E_h = \pi L \dots\dots\dots [1]$$

E_h : Eclairement du plan horizontal (lux)

L : Luminance moyenne du ciel (cd / m²) (bouvier ,1981)

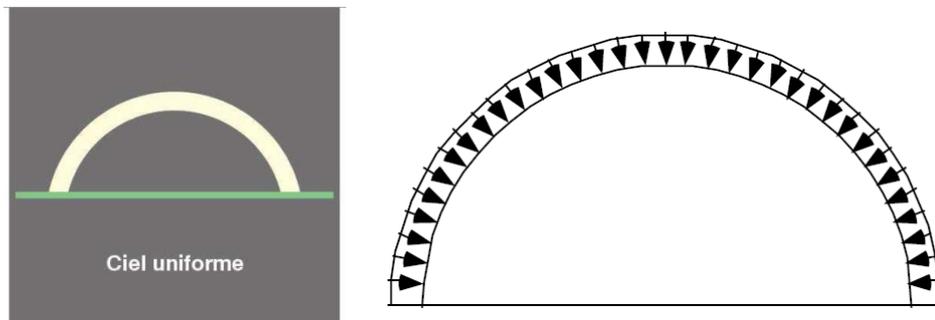


Figure 3.7: Ciel uniforme: les vectrices luminances sont égales

Equipe de recherche « Architecture et Climat » (Izard, 1994)

(Source : <http://www-climat.arch.ucl.ac.be>)

- **Ciel ouvert standard C.I.E :**

C'est le modèle de ciel couvert standard qui est le plus proche de la réalité. La luminance varie avec l'altitude et sa valeur au zénith est trois fois plus élevée qu'à l'horizon. Cette relation de définition de la luminance en fonction de la hauteur est connue sous le nom de formule de Moon & Spencer (Vandenplas, 1964)

Pour ce type de ciel la luminance en un point varie en fonction de sa position sur la voûte céleste, comme suit :

$$L = \frac{L_z(1 + 2 \sin \theta)}{3} \dots\dots\dots [2]$$

L_z : Luminance au zénith

θ : Hauteur de la zone du ciel. (Izard et Velay-Dabat ,2004)

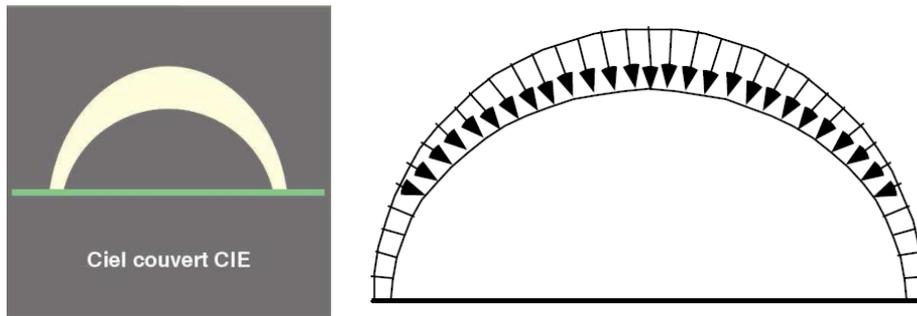


Figure 3.8 : Ciel CIE: les vectrices luminances sont de longueur différente du zénith à l'horizon (Izard, 1994)

- Ciel clair avec ou sans soleil:

Pour le modèle de ciel clair sans soleil la luminance varie en fonction des paramètres géométriques et de la position du soleil, mais n'intègre pas le rayonnement solaire direct, alors que pour le ciel clair avec soleil nous prenons en compte les rayonnements directs et diffus. Pour ce type de ciel (avec soleil) la répartition des luminances est axée sur la position du soleil dans le ciel où la valeur de luminances dépend en particulier de la hauteur apparente du soleil, la relation qui permet de calculer la luminance est comme suit :

$$\frac{L_P}{L_z} = \frac{(a + b^{-3K} + c \cos^2(K))(1 - e^{-d \sec(z)})}{(a + b e^{-3zs} + c \cos^2(zs))(1 - e^{-d})} \dots\dots\dots[3]$$

L_z : Luminance du ciel au zénith.

K: Angle en radian 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: Coefficients ajustables.

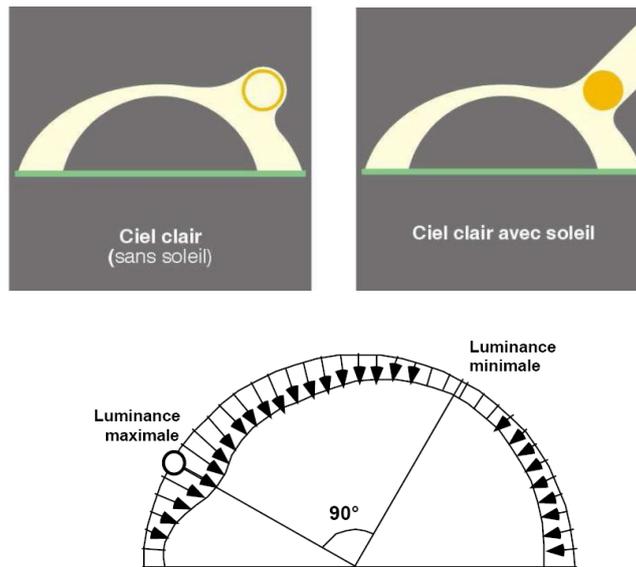


Figure 3.9 : Répartition des luminances par ciel serein en fonction de la position du soleil. (Source : Izard, 1994)

2) Paramètres thermiques:

La performance thermique est le critère de rendement des fenêtres le plus couramment utilisé après celui de la lumière et de la vision extérieure. Elle tient compte à la fois des caractéristiques de transmission thermique par la fenêtre et des températures de surface du vitrage (Simon et Hauglustaine, 2002). La transmission thermique comprend les pertes de chaleur de l'intérieur vers l'extérieur et l'apport thermique du rayonnement solaire. La formation de condensation et son effet sur la durabilité des fenêtres sont liés aux températures de surface. De ces deux aspects de la performance thermique dépend le confort thermique à l'intérieur du bâtiment.

- **Transmission thermique:**

La chaleur est transmise d'un point chaud vers un point plus froid par conduction, par convection et par rayonnement. Ces trois mécanismes du transfert de chaleur sont déterminants dans la performance des fenêtres. La Figure 3.10 illustre les mécanismes du transfert de chaleur par les fenêtres.

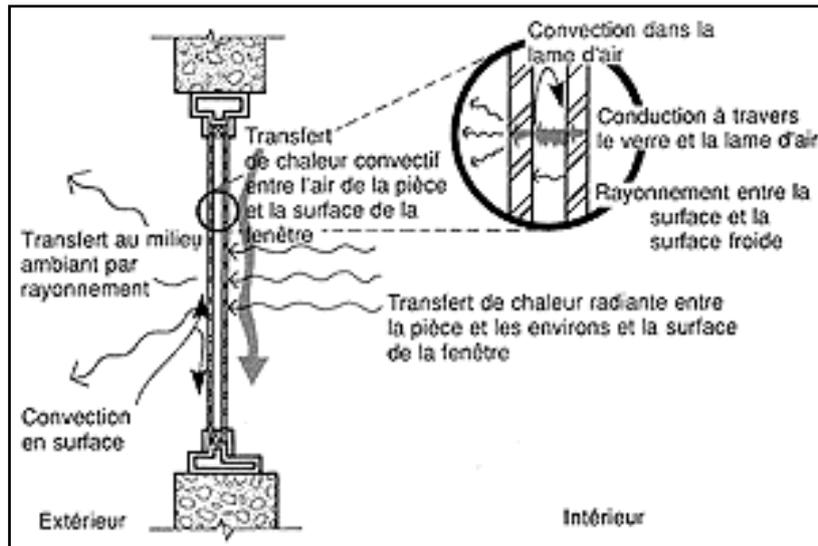


Figure 3.10: Mécanisme des pertes de chaleur par la fenêtre.
(Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

Le coefficient de transmission thermique ou coefficient K sert normalement à mesurer les caractéristiques de transmission thermique des fenêtres. La quantité de chaleur transmise par une fenêtre est directement proportionnelle au coefficient K de celle-ci. Le coefficient K ne tient pas compte du transfert de chaleur sous l'action des fuites d'air et du rayonnement solaire. La résistance thermique globale, réciproque du coefficient K, est la somme arithmétique de la résistance thermique de la fenêtre, comprenant le vitrage et le dormant, et de la résistance thermique des surfaces intérieure et extérieure (Charbonneau, 2004).

- **Confort thermique:**

Les conditions de confort thermique sont modifiées par la présence des grandes parois froides que sont les fenêtres en hiver. Celles-ci peuvent en effet être à l'origine de l'inconfort des occupants soit à cause de la chaleur rayonnante émise par les occupants vers la paroi froide, soit à cause des courants d'air froid émanant de la paroi. La pose de rideaux ou de teintures réduira les effets des parois rayonnantes froides. Dans la plupart des cas, cependant, l'installation de chauffage du bâtiment devrait être en mesure de supprimer ces facteurs d'inconfort (Givoni, 1978).

La chaleur due au rayonnement solaire direct peut également incommoder les occupants d'un local. La température dans une pièce dotée de grandes parois vitrées orientées vers le sud peut être agréable au mois de janvier et février mais

insupportable le reste de l'année, particulièrement au printemps et à l'automne. De façon semblable, les vitrages horizontaux orientés vers l'ouest amènent une surchauffe en été et par conséquent une augmentation significative de la charge calorifique. En fait, l'une ou l'autre de ces situations amènera une utilisation accrue de l'installation de conditionnement d'air et réduira le confort thermique des occupants (Cantin, R. et al, 2005).

- ***L'ensoleillement:***

L'ensoleillement, comme source d'énergie, est le facteur climatique dont il faut tirer parti car il compense partiellement les besoins en chauffage du bâtiment. Cependant, en hiver, il ne suffit généralement pas à couvrir l'ensemble des apports et, en été, il est trop important pour assurer le confort aux habitants en évitant les surchauffes.

Le rayonnement solaire (direct et diffus) réchauffe les parties opaques de l'enveloppe qui, par conduction (mais d'autant moins que l'isolation thermique de la paroi est importante), diffusent cette chaleur à l'intérieur du bâtiment.

Au travers des vitrages (fenêtres, lanterneaux, verrières), il constitue, par effet de serre, un apport de chaleur intéressant s'il est stocké dans les masses intérieures.

Le principe consiste à stocker, dans les parois lourdes, les apports solaires directs qui passent à travers les vitrages des fenêtres pendant les périodes de chauffe (Simon et Hauglustaine, 2002).

- Périodes de chauffe : les apports solaires directs à travers les vitres se stockeront principalement dans les parois lourdes frappées directement par les rayons. La diffusion à travers l'espace est aussi possible mais moins efficace.
- Périodes d'été : il est important de prévoir un ombrage des surfaces vitrées au sud (SE et SO) : soit par la végétation, par la forme du bâtiment, ou bien par une occultation idéalement extérieure.

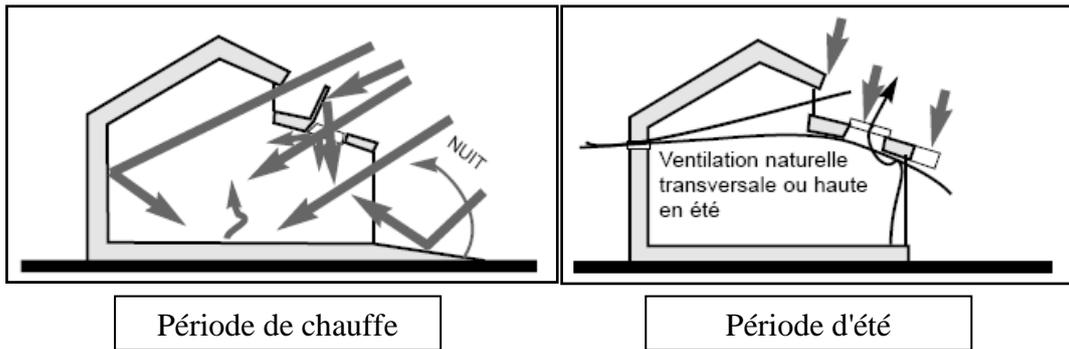


Figure 3.11: Principe générale des gains solaires.

(Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

- ***Le contrôle des apports solaires:***

Le contrôle des apports solaires est indispensable, car le rayonnement solaire peut produire des surchauffes qu'une régulation usuelle maîtrise mal. Ceci mène à dire qu'il est nécessaire de compléter les fenêtres par des éléments de protection tels que les volets, les stores...

L'excès des apports solaires peut provoquer la surchauffe des locaux et donc l'inconfort de ses occupants. Pour économiser de l'énergie dans le cas des logements, il est également conseillé de rechercher l'effet de serre aux périodes froides de l'année.

Par contre, cet effet de serre peut engendrer une hausse des coûts liés aux systèmes de conditionnement dans le cas des bâtiments du secteur tertiaire car le taux d'occupation y est élevé et les appareils électriques ainsi que l'éclairage artificiel provoquent déjà une augmentation de la température interne (Givoni, 1978).

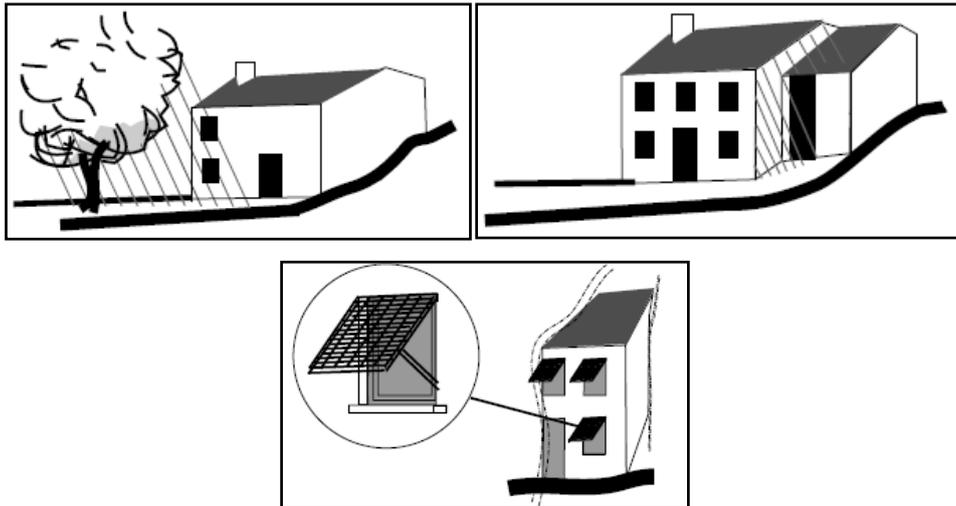


Figure 3.12: Quelques solutions pour le contrôle des apports solaires.
(Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

Le contrôle par l'architecture du bâtiment:

- La dimension des baies de fenêtres:

Les grandes baies, orientées vers le soleil, sont intéressantes pour récupérer les gains solaires mais il convient d'éviter les trop grandes surfaces vitrées, même lorsqu'elles sont orientées sud-est et sud-ouest car il peut y avoir des problèmes de surchauffe en été et d'inconfort thermique en hiver.

- La position des fenêtres:

Fenêtres inclinées (fenêtres de toit, coupoles, etc.)

Ces surfaces vitrées inclinées fournissent, pour une surface égale de vitrage, deux à trois fois plus de lumière naturelle que les ouvertures en surface verticale.

En été, les fenêtres inclinées captent plus d'énergie solaire. Il faut donc prévoir des protections pour empêcher une surchauffe et un système de ventilation approprié.

Dans les autres cas (en hiver et pendant la nuit), ces fenêtres inclinées subissent une grande perte thermique en raison du rayonnement infrarouge vers la voûte céleste.

Il est donc nécessaire de prévoir une bonne protection pour éviter le refroidissement excessif pendant ces périodes.

Fenêtres verticales

Par rapport à l'intérieur d'un local, plus la fenêtre sera haute, plus le fond de la pièce sera éclairé. Pour économiser l'énergie (moins d'éclairage artificiel), il est donc conseillé de situer le linteau le plus haut possible (Simon et Hauglustaine, 2002).

- La dimension des surfaces de vitrage:

L'architecture actuelle utilise des surfaces vitrées de plus en plus grandes, ce qui donne plus de transparence, d'ouverture et de prestige au bâtiment. Mais selon le type de châssis et selon ses divisions, la surface "transparente" sera plus ou moins importante.

- Le coefficient de transmission d'énergie ou facteur solaire du vitrage:

Le facteur solaire (ou facteur de transmission d'énergie totale) a une influence considérable sur les gains solaires. Plus le facteur solaire sera élevé, plus les gains solaires seront élevés.

3) Paramètres acoustiques:

La transmission du son par les fenêtres est régie par les mêmes principes physiques que la transmission du son par les murs, à savoir la masse et la rigidité de la fenêtre. Cependant, les mesures de limitation du bruit dépendent à la fois des propriétés du vitrage et des caractéristiques du châssis des fenêtres. Étant donné que le son est un phénomène aérien, l'étanchéité à l'air des fenêtres devra être un facteur déterminant dans les mesures destinées à limiter le bruit (CSTB, 2005).

L'isolation aux bruits aériens apportée par les fenêtres a généralement pour objectif principal d'isoler l'intérieur du bâtiment des bruits du trafic.

Les bruits d'impact sont principalement provoqués par les précipitations (grêle ou pluie), en particulier pour les vitrages inclinés.

Chaque bruit parasite a un niveau et une tonalité différents. Un trafic à circulation rapide n'a pas la même tonalité que le bruit grave d'un moteur d'autobus ou du trafic urbain plus lent.

Ce paramètre a un rôle considérable car il est beaucoup plus difficile, dans la pratique, de réaliser une isolation aux sons graves.

Le choix du vitrage doit donc s'effectuer en fonction du niveau sonore maximal intérieur acceptable, du type et du niveau de bruit selon la zone d'implantation.

Les fenêtres constituent en général un maillon faible dans l'isolation aux bruits aériens des façades et des toitures.

Leurs performances acoustiques dépendront :

- du type de vitrage ;
- de l'étanchéité acoustique entre ouvrant et dormant et entre menuiserie et façade ;
- du type de châssis, de leur montage et verrouillage ;
- des accessoires (grilles de ventilation, volets...) ;
- du type et de la qualité des raccords entre le vitrage, les grilles de ventilation, les panneaux opaques et la menuiserie, etc. ;
- de l'absorption et de l'amortissement aux bords du vitrage et du châssis ;
- de l'angle d'incidence du bruit ;
- Du type de bruit.

- ***L'indice d'affaiblissement Acoustique pondéré R_w :***

Une information plus abrégée est donnée par l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré R_w (indicateur à valeur unique) et les termes d'adaptation spectrale (C ; C_{tr}) qui adaptent la performance en fonction du bruit à l'émission.

Ainsi, pour faire un tri de performances acoustiques entre différents éléments, il faut connaître le type de source dont on désire s'isoler (Gamba, 2011).

- $R_w + C$ dans le cas où la source émet du bruit de moyennes et hautes fréquences comme, par exemple, celui du trafic routier rapide ;
- $R_w + C_{tr}$ lorsqu'il provient d'une source de bruit de basses fréquences comme, par exemple, celui du trafic urbain lent.

Pour atténuer une trop forte transmission directe des bruits extérieurs aériens, l'enveloppe doit offrir le plus de résistance possible au passage d'air.

Pour éviter la vibration de l'air intérieur sous l'effet des bruits extérieurs, deux systèmes peuvent être utilisés :

- une masse importante de l'enveloppe ;
- une enveloppe, constituée de parties de masses (de préférence différentes) non-solidarisées ou solidarises le moins possible (p.ex. par des attaches amortissant les vibrations), pouvant être complétée d'une matière absorbant les sons, interposée entre ses deux parties (CNERIB, 2004).

- ***Le vitrage et l'isolation acoustique:***

- Le simple vitrage:

Les performances acoustiques obtenues en laboratoire augmentent généralement avec l'épaisseur du verre :

- pour les bruits de basse fréquence ($R_w + C_{tr}$) : l'isolation acoustique aux bruits aériens oscille entre 30 dB (verre 4mm) et 37 dB (verre 19 mm) ;
- pour les autres bruits (moyenne et haute fréquence ($R_w + C$) : l'isolation acoustique atteint 31 dB et 39 dB (verre 4 et 19 mm) dépassant de 1 à 2 dB les valeurs $R_w + C_{tr}$.

- Le double vitrage :

Le double vitrage thermique standard présente une faible isolation acoustique dans le domaine des basses fréquences, car la fréquence de résonance du système masse-ressort-masse se situe autour de 200 Hz (domaine acoustique important).

Pour un double vitrage thermique standard :

- *Bruits de basse fréquence ($R_w + C_{tr}$)* : l'isolation acoustique aux bruits aériens oscille entre 26 dB et 34 dB.
- *Bruits de moins basse fréquence ($R_w + C$)* : l'isolation acoustique atteint 31 dB (DV 4-12-4) et 37 dB (DV10- 15-6) dépassant de 1 à 3 dB les valeurs $R_w + C_{tr}$.

Le vitrage simple lourd présente des performances supérieures dans les basses fréquences (trafic de ville) ; le vitrage double est meilleur dans les moyennes fréquences et les fréquences aiguës (trafic rapide).

- Le double vitrage avec gaz spécial présente une bonne isolation acoustique dans le domaine des fréquences moyennes et hautes. Par contre ce type de vitrage n'apporte aucun bénéfice supplémentaire et est même défavorable pour l'affaiblissement acoustique des bruits de basses fréquences (CNERIB, 2004).

- ***L'étanchéité:***

Sans une bonne étanchéité à l'air, les performances acoustiques chutent d'une façon remarquable. Cela implique un soin tout particulier à la conception et à la réalisation

des joints périphériques entre le châssis et le gros-œuvre et des joints internes au châssis proprement dit ainsi qu'à ses protections éventuelles (Gamba, 2011).

- ***Le type de châssis:***

Dans le choix du type de châssis (Simon et Hauglustaine, 2002), on peut établir certaines règles :

- éviter que la proportion entre surface du châssis et l'ouverture de la baie soit supérieure à 30% ;

- pour des châssis en bois :

- si des isolations acoustiques au-delà de $R_w = 35$ dB sont demandées, il faut prévoir des châssis en bois d'une épaisseur minimale supérieure à 75 mm ou possédant un certificat de laboratoire attestant de ses performances acoustiques ;

- si des isolations au-delà de $R_w = 42$ dB sont demandées, il faut faire tester les châssis en laboratoire ;

- pour les châssis en PVC : si des isolations au-delà de $R_w = 35$ dB sont demandées, il faut renforcer les châssis au moyen de profils métalliques.

4) La ventilation:

Pour une bonne gestion de l'énergie et pour assurer la qualité de confort et de vie, il faut maîtriser la ventilation.

La ventilation naturelle est provoquée par une différence de température ou de pression entre les façades d'un bâtiment. Elle permet d'évacuer des locaux les apports de chaleur interne et les apports solaires.

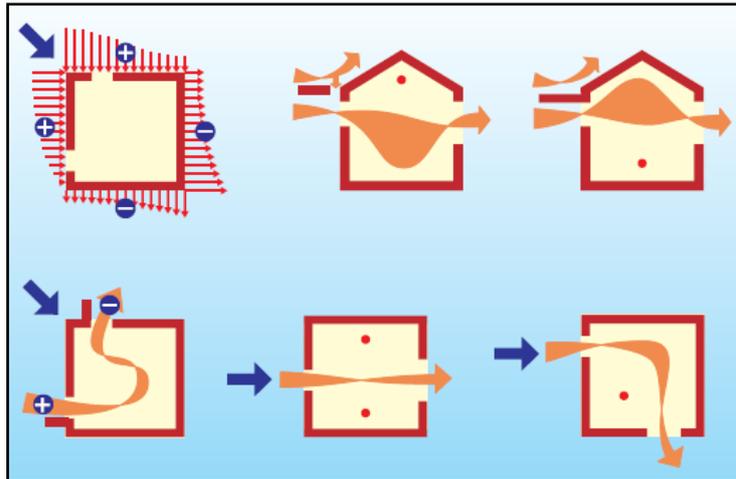


Figure 3.13: Systèmes de ventilation naturelle.
(Source: Liébard et De Herde, 2005)

Les conclusions ne peuvent pas être tirées en termes de perception de la fenêtre comme fournisseur d'air, mais il est possible que dans un climat chaud et humide les fenêtres puissent être principalement perçues comme un fournisseur d'air frais et des moyens du refroidissement. La recherche comparative dans différentes régions climatiques peut indiquer une emphase et une hiérarchie différentes des fonctions et des préférences de fenêtre (Liébard et De Herde, 2005).

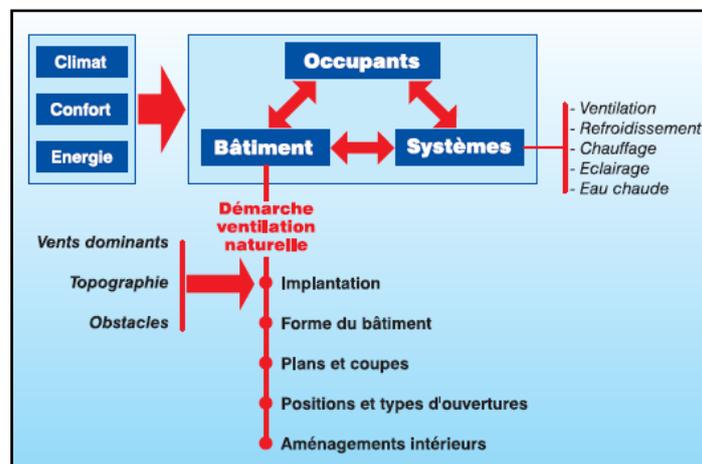


Figure 3.14: Proposition d'une démarche de ventilation naturelle.
(Source: Liébard et De Herde, 2005)

Dés la conception, il est primordial de minimiser les cloisons pouvant entraver l'écoulement du vent. L'utilisation d'un puits central avec ouverture en toiture assure une ventilation efficace par effet de cheminée. Les ouvertures en hauteur diminuent la rencontre d'obstacles à l'air s'écoulant des fenêtres vers le puits centrale.

La capacité d'une paroi verticale à être traversée par les écoulements d'air se caractérise par sa porosité. La porosité de la surface augmente avec les possibilités d'infiltration d'air.

En climats désertique et méditerranéen, les façades de l'habitat sont traditionnellement peu poreuses. En climat désertique, il faut pouvoir se protéger de l'air trop chaud, source d'inconfort, mais également des poussières et du sable qu'il peut transporter. En climat méditerranéen, un compromis est nécessaire entre la ventilation en période estivale et la protection contre les infiltrations de l'air froid en période hivernale (Liébard et De Herde, 2005).

$$\text{Porosité} = \frac{\text{Surface des ouvertures à}}{\text{Surface totale}} \dots\dots\dots [4]$$

5) L'influence des éléments climatiques:

Tout comme l'enveloppe, la fenêtre agit à la fois comme une peau respirant et comme une barrière ou un filtre.

- *L'eau et le vent:*

Malgré l'action du vent, l'eau sous sa forme de liquide libre doit être arrêtée totalement par l'enveloppe et donc par le vitrage mais aussi par les autres constituants de la baie, à savoir les châssis, les joints et les compléments.

Le vitrage arrête naturellement l'eau mais les autres constituants de la baie demandent une attention particulière lors de la conception et de la mise en œuvre des éléments.

L'enveloppe doit être conçue comme un régulateur et non comme une barrière à l'air. En effet, le renouvellement périodique de l'air de l'ambiance intérieure est indispensable, mais doit être contrôlé.

Dès lors, il faut être attentif aux flux d'air qui résulteraient d'une ventilation mal contrôlée car une vitesse trop importante de l'air dans un local perturbe le confort thermique de l'occupant (Simon et Hauglustaine, 2002).

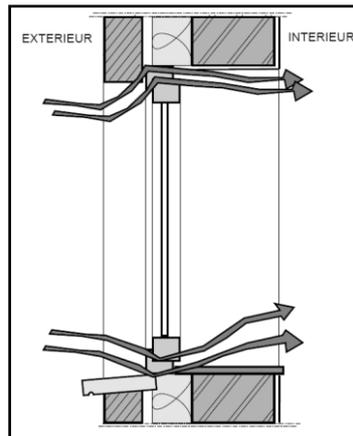


Figure 3.15: les différentes infiltrations de la fenêtre.

(Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

Les échanges d'air indésirables se font principalement par les joints, autour des fenêtres et des portes, aux raccords entre les châssis et les parois et, bien entendu, lors de l'ouverture des portes et des fenêtres.

La pénétration contrôlée de l'air extérieur au travers des parois influence également la température de l'air ambiant, la température des parois, ainsi que le contrôle du taux de renouvellement d'air.

Les nouvelles techniques permettent une bonne étanchéité de la menuiserie et, enfin, de maîtriser les renouvellements d'air et d'augmenter sensiblement le confort.

Le niveau de performance d'étanchéité à l'eau et à l'air, sous une pression donnée, est lié au contexte et à la hauteur par rapport au sol.

- **La neige:**

La neige représente une charge dont il faut tenir compte dans le calcul de la structure portante des verrières mais aussi des parties translucides de celles-ci.

L'accumulation, même partielle, de neige sur des surfaces vitrées (principalement en toiture) peut provoquer des "chocs thermiques" et donc l'éclatement des feuilles de verre.

- **La vapeur d'eau:**

En conditions hivernales, la température et l'humidité de l'air sont plus élevées dans le bâtiment qu'à l'extérieur. Le bâtiment est donc comme un réservoir de chaleur et de vapeur d'eau, qui tendent à s'échapper vers l'extérieur au travers des parois extérieures.

III.2.2. Paramètres architecturaux:

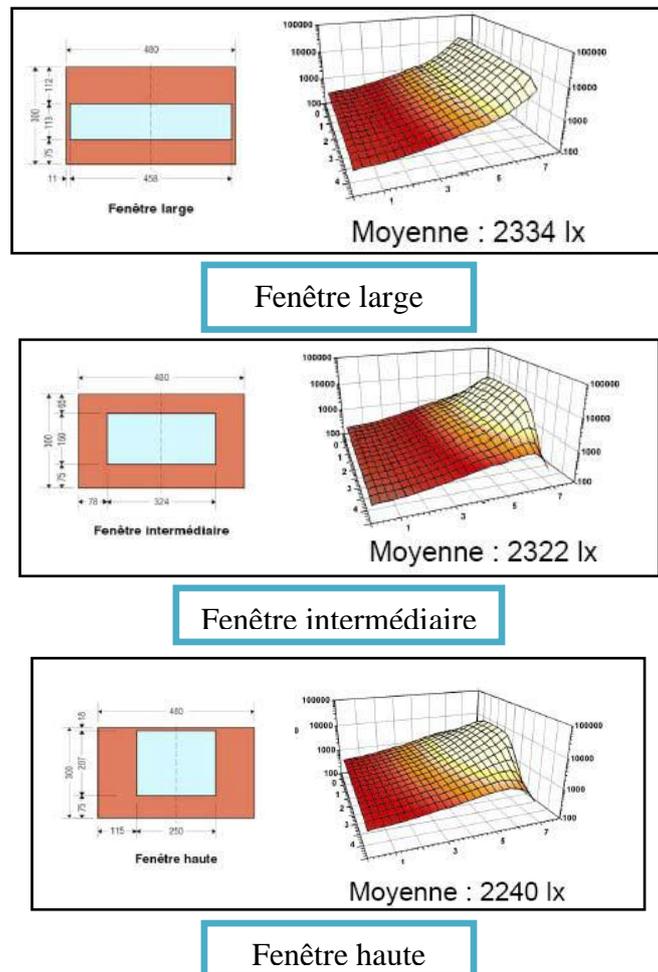
1) La forme des ouvertures:

La forme de la fenêtre ne cesse de se développer pour des raisons d'utilité. Les formes et dimensions des fenêtres ont leur histoire (Von Miess, 1993).

Dans la hutte primitive, un orifice minimal réunit passage, vue, lumière et aération en un seul élément. De rares ouvertures modestes sont parfois ajoutées.

Bien plus tard, le battant vitré offre à l'usager la commodité du choix entre ouverture et fermeture sans être plongé dans l'obscurité.

Dés lors, la forme de la fenêtre est dans une certaine mesure dépendante de l'économie de moyens constructifs pour parvenir à contrôler la lumière et le climat intérieurs.

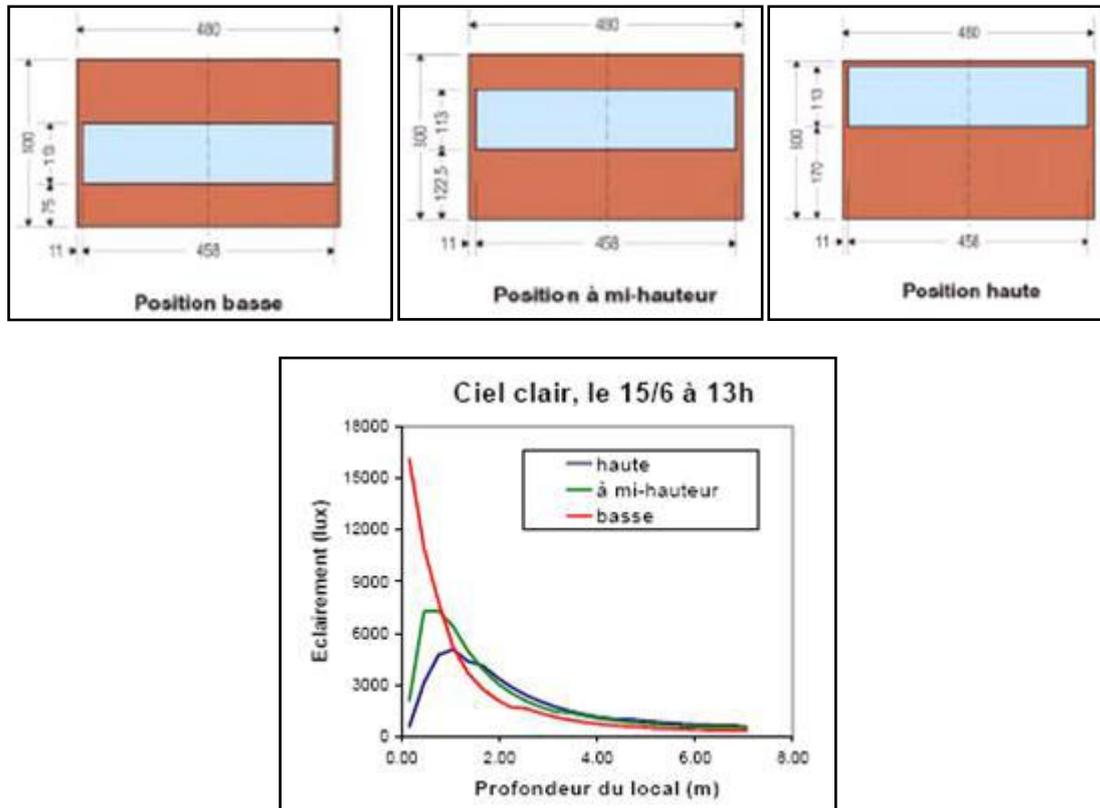


Figures 3.16: l'éclairage d'un espace relatif aux proportions dimensionnelle d'une même surface vitrée.

(Source : Sigrid et De. Herde, 2001)

2) La position de l'ouverture:

L'emplacement de l'ouverture dans la façade exerce une grande influence sur la pénétration de la lumière dans le local. Plus la fenêtre est élevée, mieux le fond du local est éclairé (Mouffok, 2008).



Figures 3.17: l'éclaircissement d'un espace en relation avec la hauteur de la fenêtre (Source : Sigrid et De. Herde, 2001)

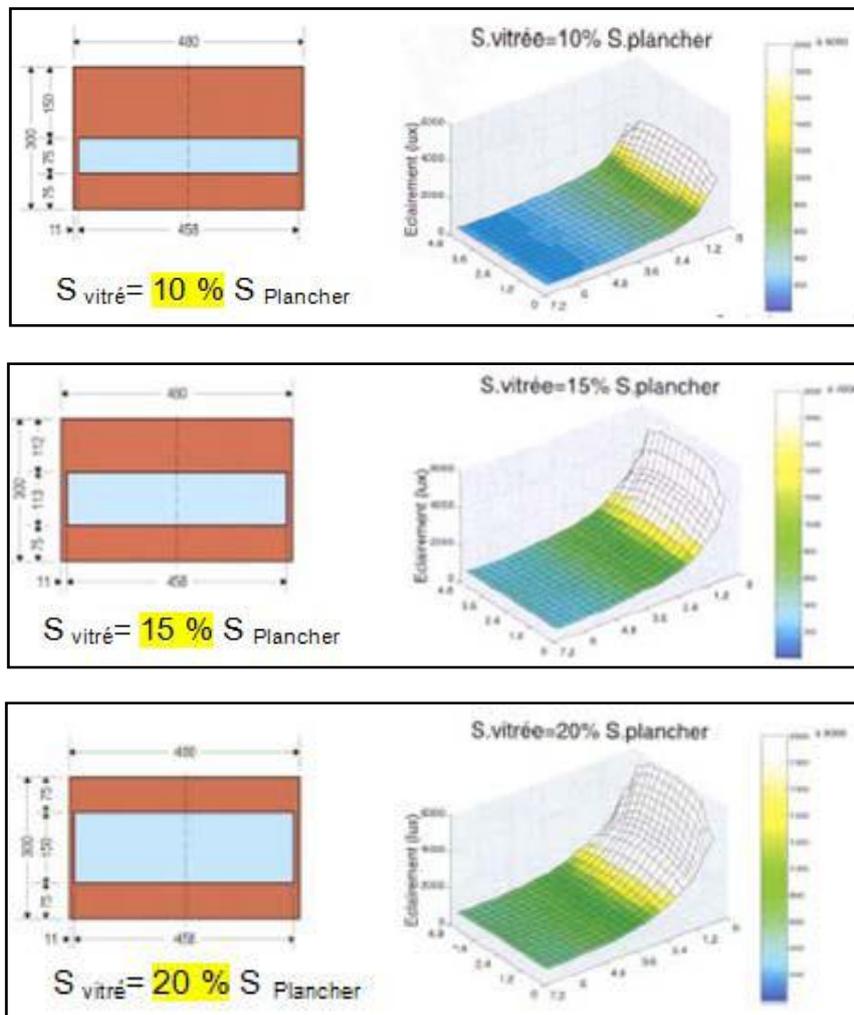
3) Les dimensions des ouvertures:

La taille des ouvertures d'un bâtiment est un élément déterminant dans la conception architecturale de la baie.

Pour un vitrage ordinaire, les surfaces des fenêtres doivent être inférieures de 40- 55% pour éviter la génération du phénomène de l'éblouissement.

Pour le rapport fenêtre/mur en cas d'utilisation d'un vitrage ordinaire (Mouffok, 2008), Christofferson a constaté que les rapports très supérieurs à 25 % réduisent considérablement l'énergie nette pour des bâtiments. Mais que les rapports des fenêtres/mur autour de 25% ont permis à la lumière du jour d'être transmise en

maintenant le potentiel pour des économies d'énergie globale plus grande dû a des charges d'éclairage réduite.



Figures 3.18: l'éclairage d'un espace relatif selon la taille de la fenêtre
(Source : Sigrid et De. Herde, 2001)

III.2.3. Paramètres psychosociaux:

1) Le confort visuel:

Il est important de signaler qu'il n'existe pas une définition ou des paramètres précis dans lesquels on pourra synthétiser et définir le concept de confort visuel. Les influences socioculturelles, environnementales, historiques, physiologiques psychique,...etc. ferme la porte à toute exhaustivité et objectivité de cette notion (Tabet A., 1989).

L'environnement visuel confortable est celui qui nous permet de voir les objets nettement, avec leurs volumes et leurs couleurs exactes sans éblouissement. Le confort visuel est ainsi une combinaison de plusieurs paramètres physique (et psychiques qui ne seront pas traités dans ce chapitre), l'éclairage, la luminance, le contraste, le spectre lumineux, l'éblouissement, la nature de l'activité, ...etc.

Il en découle un certain nombre de principes et/ou règles importantes pour l'architecture qui sont :

- Niveau d'éclairage correspondant à la tâche visuelle ;
- Rapports de luminance équilibrée présents dans le local ;
- Absence d'éblouissement ;
- Rendu des couleurs correct ;
- Absence d'ombres gênantes ;
- Mise en valeur du relief des objets ;
- Relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur ;
- Teinte de lumière agréable,...etc.

Utilisée à bon escient, la lumière naturelle a des effets positifs, physiologiquement et psychologiquement, et est recommandée par le code du Travail.

- ***L'éblouissement:***

L'éblouissement résulte d'une luminosité trop intense de surfaces placées dans la direction de la vision, il y a deux types d'éblouissement, l'éblouissement direct et l'éblouissement indirect. L'éblouissement direct est produit directement par la source lumineuse dans le champ visuel, quant à l'éblouissement indirect il provient d'une réflexion de source lumineuse sur une surface brillante, il peut être par réflexion ou par effet de voile. Le premier est une réflexion directe sur une surface lisse ou brillante le deuxième quant à lui détermine différence de contraste entre la tâche visuelle et l'environnement. Dans tous les cas une situation d'inconfort est ressentie (Simon et Hauglustaine, 2002).

D'après Direction Générale des Technologies, de la Recherche et de l'Énergie Ministère de la Région wallonne, 2006, en éclairage naturel, les sources principales d'éblouissement sont :

- La vision directe du soleil ou du ciel au travers des fenêtres ;
- La réflexion du soleil ou du ciel sur les bâtiments voisins ;
- Un contraste de luminance excessif entre une fenêtre et le mur dans lequel elle s'inscrit ;
- Un contraste de luminance excessive entre une fenêtre et son châssis ;
- Une surface de luminance trop élevée par rapport aux surfaces voisines.

Il est à signaler que l'œil humain est conçu pour la lumière du jour et que toute lumière artificielle doit au maximum se rapprocher du spectre de cette dernière pour permettre une exactitude des couleurs et des nuances (Tabet A., 1989).

- ***Absence d'ombres gênantes:***

Pour garantir un confort visuel, il est recommandé que la source lumineuse ne soit pas obstruée ou gênée par un obstacle qui risque de créer des ombres gênantes sur l'espace de travail et diminuer ainsi le contraste (Simon et Hauglustaine, 2002).

- ***La mise en valeur du relief réel des objets:***

La perception des reliefs d'une tâche visuelle est facilitée par les contrastes de luminances et les couleurs entre ces détails et l'arrière plan. Ainsi, un contraste suffisant devrait être appliqué pour favoriser cette perception du relief des objets.

- ***Une relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur :***

Ce point permet de dégager deux concepts, le premier permet d'assurer une relation visuelle avec l'extérieur ce qui renvoi vers une harmonie entre ces deux mondes, de laisser pénétrer l'extérieur à l'intérieur et d'étendre l'intérieur vers l'extérieur et créer des vues panoramiques agréables, ce qui équilibre le psychique de l'homme et l'on ne se sent plus dans un intérieur clos mais plutôt ni intérieurs ni extérieur. Et du point de vue physiologique, la communication visuelle lointaine est nécessaire pour le repos de l'œil après une vue rapproché (Tabet A., 1989).

- ***Une teinte de lumière agréable :***

Ce point aussi concerne la lumière artificielle puisque la teinte de la lumière naturelle est l'idéal pour l'œil humain. Elle doit donc assurer le confort de l'ambiance lumineuse et se rapprocher au maximum de celle de la lumière naturelle.

La teinte de la lumière, sa direction, l'absence d'ombres gênantes, les vues panoramiques vers l'extérieur, la mise en rapport du relief des objets, un rendu des couleurs correctes, l'absence d'éblouissement, l'équilibre de la luminance et un niveau d'éclairage satisfaisant sont autant d'éléments qui augmentent la sensation de confort visuel à l'intérieur de la bâtisse, maîtriser ces paramètres en combinaison avec ceux relatifs au climat au type de ciel,...etc. conduit vers la maîtrise du confort visuel (Mouffok, 2008).

2) La vue à l'extérieur:

On pense qu'une vue à l'extérieur est une bonne (centre de repos visuel), qui permet à l'œil de se refocaliser aux scènes éloignées contrairement au travail étroit typique trouvé dans les bureaux (Manning, 1965). Les raisons récurrentes d'un désir des fenêtres dans un environnement sans fenêtres étaient :

- Capacité de savoir le temps et l'heure du jour
- Sentiment d'être en contact avec le monde extérieur
- Evitant le sentiment d'être enfermé, d'isolement et claustrophobe.

Le manque de ces aspects a composé la plupart des plaintes aux espaces sans fenêtres. De plus, il devrait mentionner qu'une vue dehors n'est pas facilement remplaçable par des moyens artificiels de même que le point de droit pour l'éclairage ou la ventilation. Il y a de preuve importante de la littérature passée en revue qui "*bien qu'une vue dehors est généralement considérée comme souhaitable, dans quelques situations restreintes et monotones, ce devient presque une nécessité*" (Collins, 1975).

Cependant, le seul argument pour affirmer qu'un espace n'est rendu vivable que lorsqu'il est percé d'au moins une fenêtre. En effet, cette dernière n'a pas uniquement des propriétés hygiéniques: elle permet également de voir dehors. La fenêtre en tant que lien entre l'intérieur et l'extérieur est fondamentale (Zurbuchen, 2013).

«Ce n'est pas une habitude romantique qui pousse l'homme à s'accrocher à la fenêtre. C'est de son besoin de liberté que naît son lien à la fenêtre. C'est ainsi qu'il se défend contre l'enfermement dans un espace dépourvu d'ouverture.» (Bollnow, 2011)

La fenêtre offre la liberté à l'œil de s'échapper. Voir l'extérieur permet de se repérer, non seulement de manière temporelle, mais également de mettre son intérieur en relation avec l'environnement et ainsi de lui donner une orientation (dehors/dedans, avant/arrière, etc.). De plus, la fenêtre donne l'occasion de s'informer sur ce qui nous entoure: on est protégé, mais pas coupé du monde (Zurbuchen, 2013). L'acte de regarder dehors évoque également une certaine poésie de la contemplation en tant que rêverie:

«La fenêtre est la porte pour les yeux et fait de la pièce, avec les quatre murs qui lui sont propres, une boîte à regarder, une camera obscura. La curiosité et le plaisir d'observer font de la fenêtre sur rue un lieu d'attention, où l'on s'attarde volontiers et qui est lié à la contemplation et à la rêverie diurne. [...] La fenêtre sur le monde extérieur rend les hommes rêveurs, méditatifs.» (Neumeyer, 2007).

Un certain nombre d'études ont réaffirmé son importance par une évaluation directe de la perception des personnes de la vue. La propriété visuelle de l'ouverture peut-elle être dissociée de sa fonction lumineuse? Les architectes Bruno Taut et Walter Gropius préconisent tous deux dans les années 1920, de différencier les fenêtres dédiées à la vue et les ouvertures sanitaires apportant lumière et aération dans un intérieur (Zurbuchen, 2013).

Ces résultats renforcent la suggestion de Markus que les occupants sont plus sensibles aux aspects environnementaux qui sont insuffisamment rencontrés. Par conséquent, il a conclu qu'alors qu'une bonne vue peut ne pas être d'importance primordiale, une absence complète de vue serait considérablement détestée. Cependant, le confort visuel ne semble pas être la seule raison qui pousserait à décomposer les propriétés visuelles et sanitaires d'une ouverture: *«Loos m'affirmait un jour: un homme cultivé ne regarde pas par la fenêtre; sa fenêtre est en verre dépoli; elle n'est là que pour donner de la lumière, non pas pour laisser passer le regard.»* Le Corbusier rapporte ici une déclaration d'Adolf Loos qui explique le traitement si particulier que ce

dernier donne aux fenêtres des différentes maisons qu'il a construites (Le Corbusier, 1925).

Bien qu'énuméré le bout parmi les facteurs environnementaux, la question de la vue est d'importance particulière. La vue dehors de la fenêtre est notre contact avec monde extérieur ; elle fournit les informations, que pour des raisons déjà mentionnées, nous permet d'éprouver l'heure, change dans le temps, la lumière du soleil et les saisons.

À un niveau, une vue satisfait au besoin physiologique de l'adaptation et de la réadaptation de l'œil de distancer, fournissant un centre de repos visuel. Pour cette raison n'importe quelle vue est meilleure qu'aucune vue, tandis que clairement quelques vues seront meilleures que d'autres. À un niveau différent l'importance d'une vue a été identifiée dans la recherche pour prouver qu'un patient dans l'hôpital récupérera plus rapidement où une fenêtre avec une vue est disponible (Tabet, 1989).

Le contenu d'une vue est clairement d'importance, et c'est l'information qu'il fournit ce qui déterminera son succès. Une vue dehors à un mur blanc peut être meilleure que rien à mais une vue dehors ouvrir la campagne, ou un jardin sera un ordre différent d'expérience.

La qualité de la vue extérieure dépendra des environnements du bâtiment, et la taille auquel il est expérimentée, mais elle est d'importance celle là où une vue est disponible il devrait être exploitée. Il y aura des exemples dans de grands complexes de bâtiment où des vues internes d'une part de l'intérieur à l'autre peuvent être eues ; celles-ci fourniront les centres de repos visuels pour répondre à l'exigence physiologique, mais à moins qu'il y ait des vues aux secteurs de jour qu'ils manqueront des agréments du changement, à la variété et à la modélisation qui informent la scène normale dehors (Tabet, 1989).

L'architecte devrait prendre en compte la question de la vue en prévoyant son bâtiment, et en prévoyant l'endroit et le détail des fenêtres. Certaines des fenêtres les plus fines étaient ceux du XVIIIème siècle en Grande-Bretagne où l'amélioration du détail de la barre de glaçage s'est assuré que le jour a été capturé par la barre, menée autour de lui, n'empêchant pas la vue. C'est aujourd'hui moins nécessaire puisque la taille du verre disponible est comme de permettre des vastes zones de glaçage transparent, sans le besoin d'obstruction horizontale.

3) L'intimité:

La question de la vue-dehors est nécessairement associée à la vue à l'intérieur en soulevant la question de l'intimité, qui dans certaines circonstances peut être considérée pour être d'importance. Pendant le jour ce ne sera généralement pas un problème, car le niveau de l'extérieur de jour sera plus grand que celui en dedans, empêché vue-dans mais la nuit la situation sera renversée, et il peut être nécessaire de recourir à une certaine forme d'abat-jour ou de rideau, qui peuvent avoir l'effet souhaitable de s'assurer que la fenêtre n'est pas vue comme trou noir de l'intérieur la nuit.

La densité urbaine rend la baie vitrée problématique: en effet, si la fenêtre s'agrandit au point de dévoiler le logement du sol au plafond, qu'en est-il de la préservation de son intimité? Le mur transparent devient une vitrine qui dévoile, particulièrement la nuit, la vie privée à la rue. Or, le logement est par essence intime: l'habitant doit s'y sentir en sécurité et à l'abri des intrusions visuelles pour être à l'aise (Zurbuchen, 2013).

Collins (1975) cite l'effet potentiel de la conception de fenêtre sur le sentiment de l'intimité : comme une vue expansible peut ramener le sentiment de l'intimité à un niveau inacceptable et un compromis d'une fenêtre et d'une vue réduites serait préféré. L'endroit dans un bâtiment comme dans le niveau du sol peut également surmonter le désir de la vue.

Markus et Gray (1973) ont rendu compte de quelques désirs contradictoires des résidents des logements, en Ecosse, entre l'intimité des voisins de soulèvement et le contact avec d'autres personnes. Cependant, la fourniture de trop d'intimité a donné le sentiment de l'isolement.

Un aperçu effectué dans un contexte culturel différent (Algérie), rapports sur des plaintes des WC de l'intimité visuelle de 50% des 105 résidents des lotissements (Tabet, 1989). Les réactions les plus négatives étaient des résidents qui faisaient face à un bâtiment étroit, ainsi à donner sur probablement souvent.

En dépit de la pertinence de cette matière il y a peu de recherche en termes de conception de fenêtre et intimité visuelle. Des variables liées à l'ouverture et

probables à l'influence la perception de l'intimité telle que la taille de fenêtre, l'endroit, le nombre d'ouverture, l'opacité du matériel, la commande en ombrageant des dispositifs, et la nature de la vue à l'extérieur doivent être systématiquement étudiées encore.

Le logement renferme diverses activités liées au quotidien qui ne nécessitent pas toutes le même degré d'intimité. Il est ainsi possible de jouer, grâce aux fenêtres, avec ces nuances de privacité. En plus de la taille de l'ouverture, sa position dans l'épaisseur du mur permet une lecture immédiate du statut de la pièce (Zurbuchen, 2013). Assurément, le souci avec l'intimité visuelle implique la considération d'un certain nombre de variables près de conception de fenêtre. Il serait nécessaire de différencier entre la nature des activités, le type de vue (étroit, éloigné) et la fréquence de l'occurrence de l'intrusion visuelle. La considération de la disposition, de l'orientation et de la distance de bâtiment de planification entre les bâtiments peut être comme importante. Il y a également la possibilité que les gens de différents milieux sociaux culturels et peuvent avoir différentes espérances et attitudes à l'intimité.



Figures 3.19: A la recherche d'intimité.
(Source : Zurbuchen, 2013)

Conclusion :

L'enveloppe extérieure exprime l'architecture d'un bâtiment et contribue à son intégration dans l'environnement. Les fenêtres et les parois vitrées en général, suivant leur typologie, sont des outils très importants de composition architecturale, et leur architectonique constitue un gage de qualité architecturale. De plus, le rôle de la fenêtre et de sa situation par rapport à l'environnement intérieur et extérieur est incontestable dans la transmission lumineuse et dans la gestion de l'énergie.

Il y a plusieurs critères pour la conception de la fenêtre. De même que le cas dans la plupart des décisions un concepteur de bâtiment dit faire. La conception d'une fenêtre est un problème et, en conséquence, un minimum d'optimisation comme des spécifications de performances optimales pour chaque fonction de la fenêtre doivent être placées pour que le problème devienne soluble. Selon Markus Thomas (1967) Chaque aspect des spécifications devrait être quantifiable même si la quantité doit être un certain coût ou toute autre évaluation des jugements de valeur.

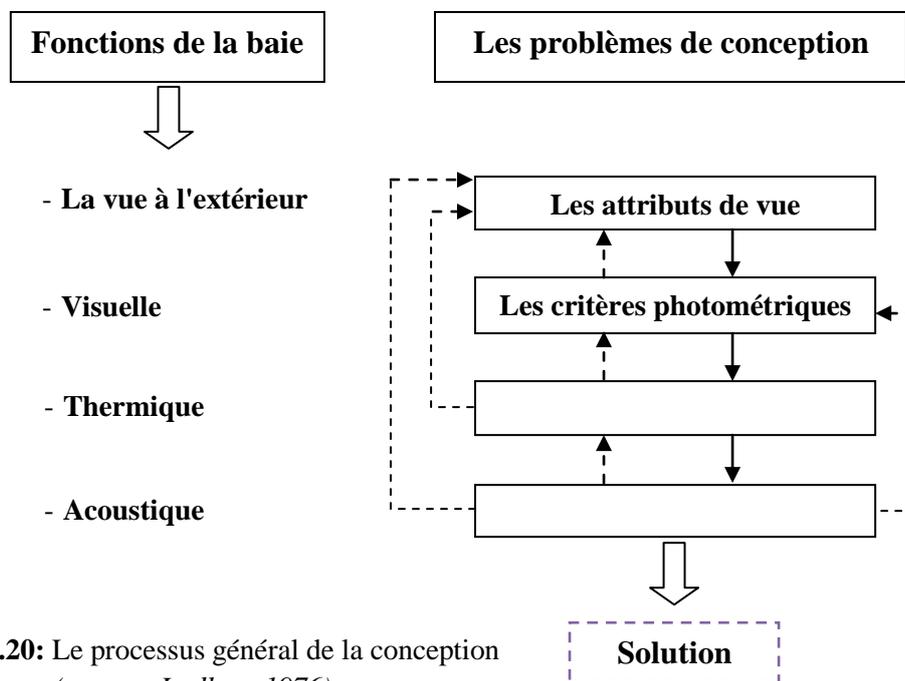


Figure 3.20: Le processus général de la conception
(source: Ludlow, 1976)

Une fois les divers critères à inclure dans le processus de conception ont été déterminés, il est nécessaire maintenant de choisir l'approche de base qui assurerait l'incorporation de la diverse conception de fenêtre.

CHAPITRE N°4

**LA CONCEPTION DE LA BAIE ET L'APPROCHE
MULTICRITERES**

CHAPITRE N°04:

La conception de la baie et l'approche multicritère

" La conception d'un édifice est portée par des choix, des intentions, des décisions que permet, ou auxquelles renvoie, l'idée"

Philippe Boudon

Introduction:

Au cours des premières étapes de la conception architecturale, il est difficile d'analyser quantitativement ou qualitativement les diverses alternatives du projet d'étude. Néanmoins, c'est pendant ces phases initiales de la procédure de conception architecturale que les décisions importantes sont prises et qui vont influencer profondément le comportement des ouvertures en termes de confort environnemental.

Donc, il est important de rechercher une méthode qui puisse assister le concepteur dans le choix d'une solution architecturale permettant d'aboutir à une solution qui présente une bonne performance sur les critères de confort et de la consommation d'énergie. Ce chapitre présente une méthode d'aide à la décision pour la conception architecturale, pouvant être utilisée dans cette phase initiale de la conception de la baie. On présente les méthodes et les outils d'aide à la conception architecturale disponible, l'approche utilisée dans ce travail, et une description de la méthode d'analyse multicritère utilisée pour le rangement des solutions de projet.

IV.1. La conception architecturale de la baie:

On peut définir la conception comme « un processus dirigé vers un résultat qui n'existe pas encore », Un processus de conception en architecture et ingénierie est enclenché en réaction à un état de nécessité, afin de satisfaire des besoins aussi bien physiques que spirituels (dont l'esthétique, par exemple) et donc avec des requêtes fonctionnelles bien définies, ce qui introduit un ensemble très puissant de contraintes (Silvestri, 2009).



Figure 4.1: la conception architecturale.
(Source: <http://www.vivreplus-construction.fr>)

La conception architecturale doit répondre à des contraintes de départ plus ou moins précises. Les problèmes architecturaux sont des problèmes mal définis. Dès lors, l'architecte s'inscrit dans un processus de conception créative, à la recherche d'une solution optimale, en manipulant de larges connaissances issues de domaines différents, aussi bien dans des domaines techniques (nombreuses et diverses techniques du bâtiment) qu'artistiques, historiques ou socioculturels. La solution cherchée par le concepteur pendant n'est pas prédéterminée, il n'y a pas une solution unique mais au contraire un nombre infini de solutions possibles : le concepteur choisira celle qu'il considère la meilleure en relation aux contraintes données.

La phase de conception, c'est un lieu de liberté où l'architecte s'amuse à trouver des solutions. C'est le fondement même du travail de l'architecte. Alors que la conception n'est qu'une somme de contraintes, Boudon et al. écrivent : « *La modalité d'exercice de la contrainte en tant que nécessité incontournable est étrangère à l'espace de conception, par définition, puisqu'elle exclut la liberté de choix. Mais le traitement de la contrainte se situe à un autre niveau que la contrainte elle-même. La prise en considération d'une contrainte n'exclut pas, elle, des alternatives, donc des choix* » (Raynaud, 2004).

Le processus de conception peut être compris comme l'exploitation simultanée de plusieurs alternatives. Pour le cas spécifique des bâtiments, le processus de conception représente donc, la manière par laquelle le concepteur synthétise toutes les données dont il dispose, dans une solution architecturale optimale. La phase de la conception architecturale que l'on appelle généralement « avant-projet » constitue donc une étape fondamentale.

Pendant cette phase, les aspects généraux de la conception de la baie sont définis. Toutes les décisions ultérieures et les calculs relatifs au projet seront basés sur ces caractéristiques. Donc, il est de plus en plus difficile et onéreux de modifier le projet au fur et à mesure qu'il se développe. Des décisions prises dans ces étapes initiales auront un effet direct sur le bâtiment (Ellis, 2001).

Alors, l'approche la plus naturelle serait d'incorporer à l'avant-projet des procédures de calculs divers, calculs qui assisteraient les décisions et viendraient réduire les effets négatifs éventuels. Les incertitudes inhérentes au projet dans cette phase, ne permettent pas un calcul précis de ces comportements. D'ailleurs un calcul détaillé de la performance thermique des ouvertures à cette étape du projet n'aurait aucun sens, puisque l'objet étudié sera modifié d'innombrables fois. On sait cependant que les grandes lignes structurelles ou thermiques (orientation, forme, ...) sont déjà intégrées depuis le début de la conception. (Krause, 1998).

On peut vérifier que dans la phase initiale de conception (figure 4.2), en visant les questions du développement durable et d'efficacité énergétique, l'attention du concepteur doit être tournée vers les caractéristiques physiques du site et de l'enveloppe du bâtiment, aspects déjà bien définis (De Castro, 2005).

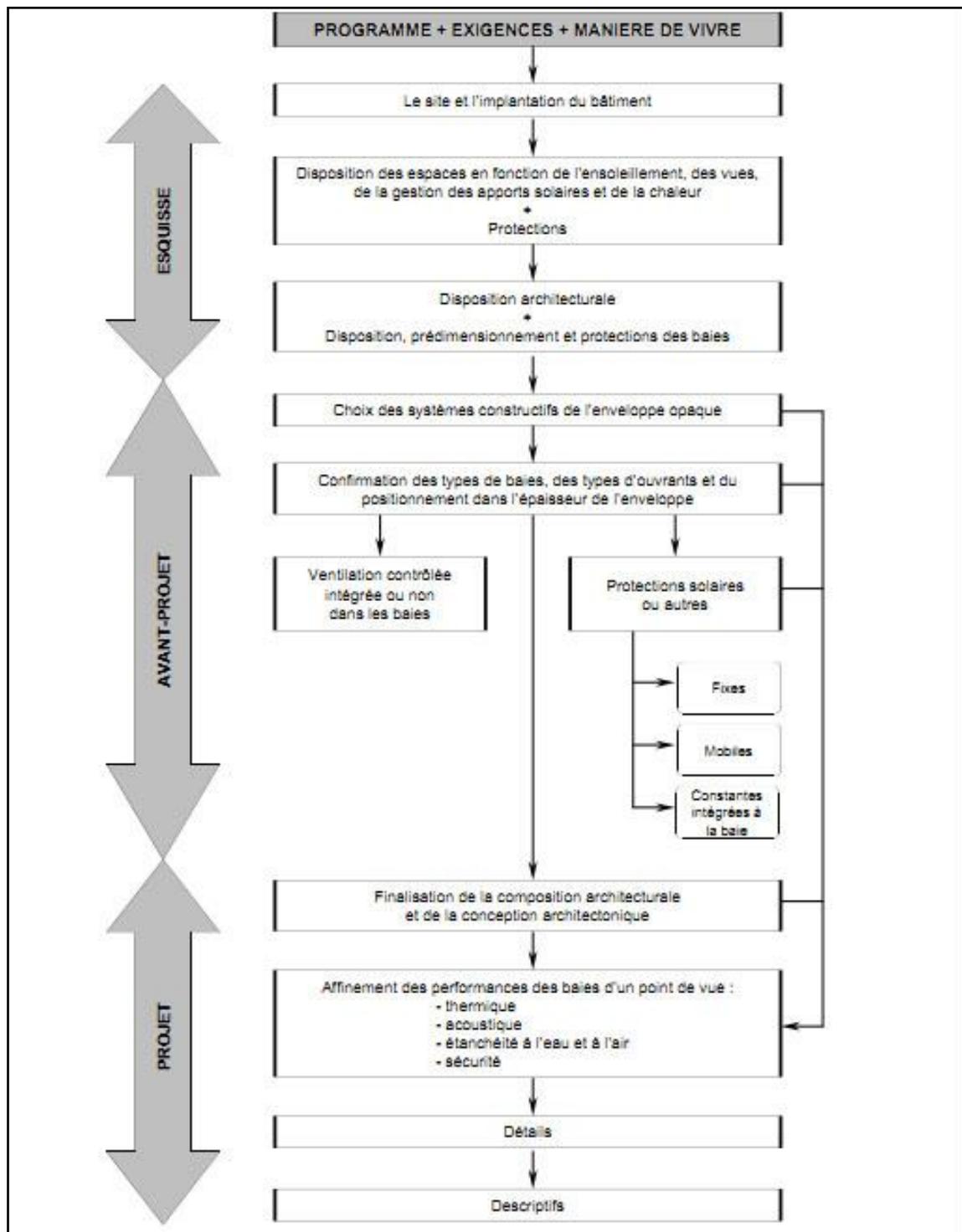


Figure 4.2: Organigramme décisionnel pour la conception de la baie.
(Source: Simon et Hauglustaine, 2002)

Pour notre étude, les conditions considérées pendant l'avant-projet, peuvent être énumérés :

1. la position géographique du terrain (altitude, latitude, longitude) ;
2. l'orientation du terrain et les interférences du site ;
3. la direction et vitesse des vents dominants. ;
4. les conditions climatiques ;
5. les matériels constructifs élémentaires.

Ces dimensions constantes sont fixées lors du commencement de la conception.

Pour des aspects généraux de la baie, disponibles dans cette étape on énumère :

1. la forme de la baie ;
2. l'orientation des ouvertures ;
3. le taux d'ouverture, le rapport entre le plein et le vide de la façade ;
4. le système de ventilation choisie;
5. les dispositifs intégrés sur la façade.

On considère ces aspects comme les variables pour notre étude, et on simule le comportement énergétique de la baie par rapport à ces variables.

Ce sont seulement ces paramètres avec lesquels on peut travailler dans la phase d'avant-projet et qui sont passibles d'être utilisés dans l'analyse des solutions de projet.

Le tableau 4.1 résume les différentes relations entre les critères du confort agissants sur la décision pour la conception architecturale d'une baie. Evidement, ceci peut et doit être fait en considérant plusieurs paramètres et plusieurs critères, ce qui rend la question bien plus complexe.

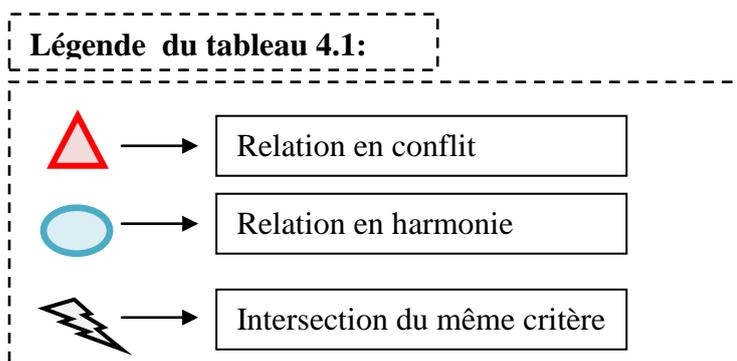


Tableau 4.1 : Matrice d'identification des conflits entre les paramètres. (Source : Auteur)

Critères	l'éclairage naturel		Le confort thermique		L'isolation phonique	La ventilation		Confort visuel	La vue à l'extérieur	La privacité
	GS	DT	E	H						
L'éclairage naturel										
Le confort thermique	Gains solaires									
	Déperditions thermique									
L'isolation phonique										
La ventilation	En été									
	En hiver									
Confort Visuel										
La vue à l'extérieur										
La privacité										

IV.2. Méthodes et outils d'aide à la conception de la baie:

Les calculs pour l'évaluation des comportements d'un bâtiment, même dans la phase d'avant-projet, peuvent être faits à travers une simulation numérique. En termes de classement des outils d'aide à la conception architecturale, on distingue trois types basiques (Depecker et al, 2000).

IV.2.1. Les règles expertes (savoir faire):

Les règles qui fondent la propriété intellectuelle de l'architecte. Ce sont l'ensemble des connaissances générales élaborées par des professionnels ou des chercheurs spécialisés, sur un sujet déterminé. Elles prennent la forme de règles formulées de manière simplifiée, comme des règles de choix ou des règles de tendance de comportements.

IV.2.2. Les codes simplifiés:

Ce sont des codes de calcul basés à partir de modèles physiques, mathématiques et numériques simplifiés, mais capables de fournir des résultats avec une précision satisfaisante pour la phase d'avant-projet. Se prêtent très bien pour des études de sensibilité et modification de solutions de projet, grâce à un processus de conception interactif (choix →évaluation →modification = nouveau choix), dû à la rapidité des calculs de performance et des interfaces simplifiées (De Castro, 2005).

IV.2.3. Les codes spécialisés:

Ce sont des codes de calcul basés à partir de modèles physiques, mathématiques et numériques sophistiqués et très précis, provenant de la recherche universitaire. Ils exigent une grande connaissance des phénomènes thermiques, lumineux ou de la dynamique des fluides pour être utilisés correctement.

Ils ne possèdent généralement pas une interface conviviale, et ils présentent une courbe d'apprentissage lente (De Castro, 2005).

IV.3. La Décision devant la Multiplicité des Critères :

H. Simon (1947) décrit les phases de la décision :

- recensement de toutes les actions possibles,
- détermination de l'ensemble des conséquences des actions,
- évaluation de toutes les conséquences des actions possibles

Dans l'étape d'avant-projet, l'objectif est de trouver des solutions satisfaisantes et efficaces pour le bâtiment. Vis-à-vis d'un certain nombre de variables importantes (surface des fenêtres, forme des pièces, hauteur de l'immeuble, etc.), le concepteur fixe des valeurs, et forme une combinaison qui ne représente qu'une seule parmi une infinité de possibilités. Néanmoins, plusieurs de ces « combinaisons » sont satisfaisantes aux yeux des concepteurs. Ils doivent alors décider entre plusieurs bonnes alternatives possibles de projet (De Castro, 2005).

Des problèmes de décision complexes de ce type impliquent des critères multiples et conflictuels qui ont besoin d'être combinés pour l'obtention d'une solution idéale. Augmenter la dimension des fenêtres par exemple, signifie non seulement utiliser plus de lumière naturelle dans les environnements, mais aussi augmenter la charge thermique à l'intérieur du bâtiment. D'autre part, ce n'est pas rare que les valeurs calculées pour quelques critères soient sujettes à des imprécisions, incertitudes et indéterminations. En outre, dans les applications réelles, il est toujours impossible de définir précisément les valeurs pour tous les critères (figure 4.2).

Pour ces raisons, des procédures basées sur analyse multicritère sont largement utilisées dans la sélection de solutions quand les variables du problème ne peuvent pas être dé-conceptualisées.

Devant un ensemble discret d'alternatives décrit par une série de critères, il y a quatre types différents d'analyse qui peuvent être utilisés pour l'aide à la décision :

- Identifier la meilleure alternative ou sélectionner un nombre limité de meilleures alternatives (problème de choix) ;

- Classer les alternatives selon des groupes homogènes prédéfinis (problème de sélection ou tri) ;
- Construire un «ranking» d'alternatives en allant des meilleures vers les moins bonnes (problème de rangement) ;
- Identifier les aspects principaux des alternatives et les décrire selon ces aspects (problème de description).

Pour le cas spécifique de décider parmi plusieurs alternatives de projet, il est prudent de considérer le problème de décision selon le type « rangement ». Ceci garanti que le résultat du processus décisionnel retiendra plus d'informations qu'un processus de choix, qui élimine toutes les autres alternatives. Donc, un problème de rangement peut être considéré comme une évolution du problème de choix, dont la direction favorable est une exploitation des informations avec plus des nuances (Maystre et al, 1994).

Attendu donc qu'il est attrayant de considérer le problème de décision rapporté à la conception des bâtiments comme étant un problème de rangement, on peut énumérer les étapes qui doivent être suivies pour rechercher le bon ranking des solutions de projet :

- Enumérer les solutions possibles ou à considérer ;
- Enumérer les critères à considérer ;
- Juger chacune des solutions par rapport à chacun des critères ;
- Agréger ces jugements pour désigner la solution qui présente globalement les meilleures évaluations.

La première étape : est la définition de l'ensemble des actions potentielles qui seront considérées dans la procédure de décision. Dans ce travail c'est l'ensemble de toutes les solutions possibles, désirées et imaginées par l'auteur du projet. Dans la réalité, la plupart du temps, le nombre de solutions architecturales est restreint par des facteurs comme des normes, la typologie, les références culturelles, etc.

La seconde étape : est le choix des critères qui doivent être considérés au long de la procédure de décision. Ces critères sont des expressions qualitatives ou quantitatives de points de vue, objectifs ou restrictions concernant le contexte réel, que permettent de juger des objets ou des événements. Pour que telles expressions puissent devenir des critères, elles doivent être utiles pour le problème considéré. Aux critères sont associés une échelle dans des valeurs ordinales ou cardinales.

Dans ce travail, on considérera six critères pour l'évaluation des solutions de projet :

- L'éclairage naturel, ou bien la quantité de lumière naturelle disponible dans les locaux;
- Le confort thermique;
- la vue à l'extérieur;
- La privacité;
- L'isolation phonique de l'espace;
- L'ensoleillement.

Donc, ces six critères seront utilisés pour définir les performances individuelles de chaque solution de projet défini dans la première étape du processus de décision. Ces critères ont été choisis pour deux raisons ; Initialement, parce que parmi eux on trouve les objectifs qui guident cette étude, c'est-à-dire, on est intéressé ici dans les performances mesurées par le logiciel de simulation. Une autre raison pour le choix de ces critères est que comme on l'a déjà vu, ils sont parmi les seuls qui peuvent être utilisés pendant la phase initiale de conception. Le modèle conceptuel de départ de la méthode d'approcher cette étude est bien l'expliquée dans la figure 4.3.

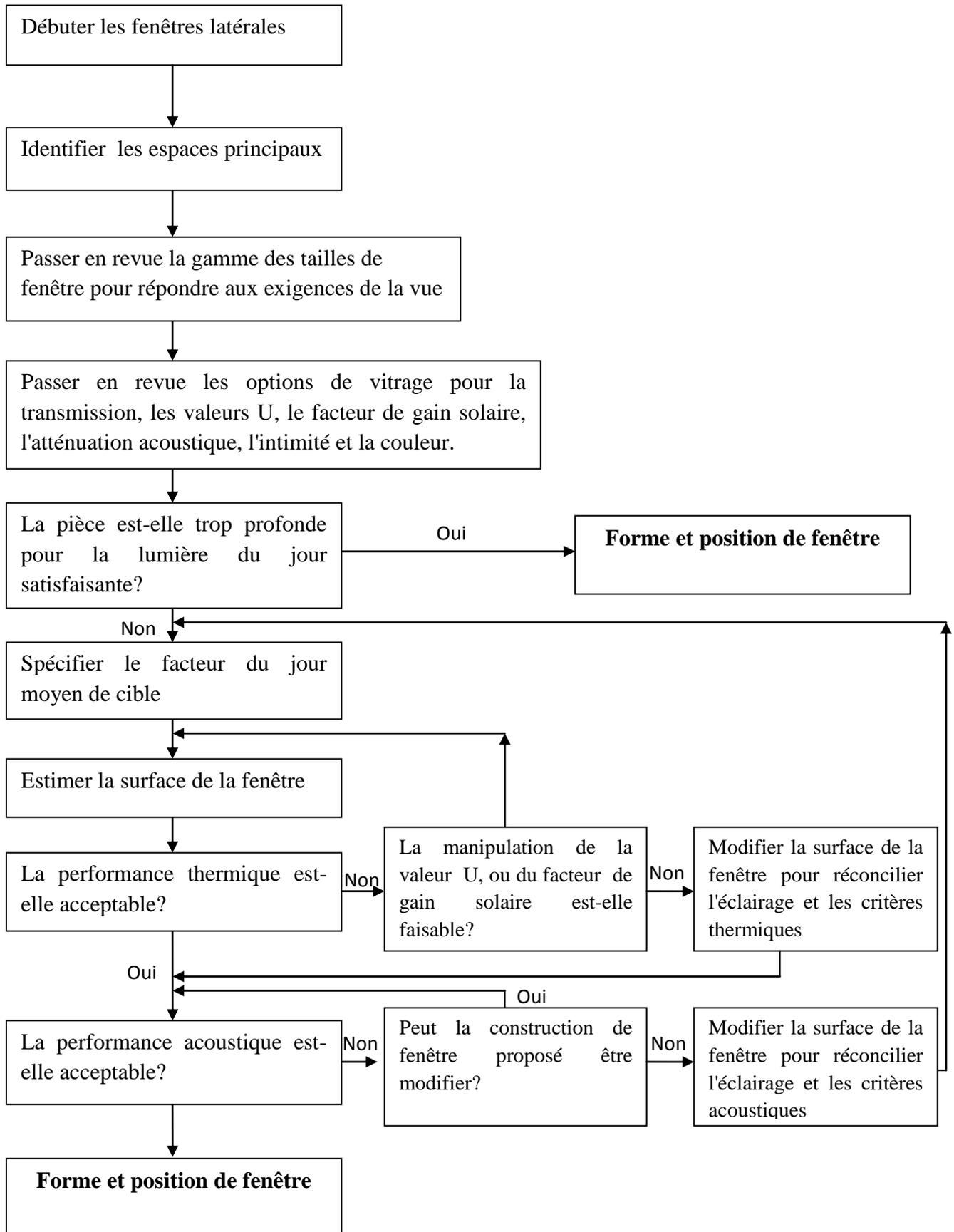


Figure 4.3: Organigramme de décision pour la conception de la fenêtre.
 (Source: CIBSE, 1987 cité par Kheira Tabet-Aoul dans sa thèse PHD)

IV.4. La Méthode ELECTRE III :

Plusieurs méthodes ont été développées pour procéder au rangement (ranking) de diverses alternatives selon un ordre de préférence. Une analyse bibliographique d'une grande partie de ces méthodes a été réalisée par Zopounidis et Doumpos (2002). Parmi celles-ci, on souligne la méthode développée par Roy (1977) appelée ELECTRE III.

En considérant un nombre n d'alternatives $a_i, i = 1, 2, \dots, n$, qui résument l'ensemble des solutions possibles pour le problème, $A = \{a_i\}$ et C_1, C_2, \dots, C_m , les m critères adoptés, chaque alternative a_i est caractérisée par un vecteur multi attribut $\{e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{im}\}$ qui représente l'évaluation de l'alternative face aux différents critères. La méthode ELECTRE III fonctionne avec une structure de modèle de préférence, selon lequel on compare les alternatives deux par deux, en obtenant: une Préférence forte ou faible par une des actions; une Indifférence entre les deux actions ou une Incomparabilité entre elles. Les situations de préférence ou l'indifférence sont caractérisées en fonction de seuils de préférence « p » et de seuils d'indifférence « q », spécifiés par l'analyste de la décision.

Le seuil de préférence indique la différence, absolue ou relative, à partir de laquelle une préférence stricte peut être établie entre deux évaluations. Le seuil d'indifférence indique la différence absolue ou relative à partir de laquelle aucune préférence ne peut être établie entre les alternatives, dû à l'imprécision des mesures ou des données. On introduit encore un seuil de veto « v » pour chaque critère « C ». Celui-ci permet de définir l'incomparabilité de l'alternative « B » par rapport à l'alternative « A », si « A » est meilleur que « B » pour tous les critères sauf un, et pour ce seul critère, « B » est meilleur que « A ». Le seuil « v » représente la différence à partir de laquelle on ignore la comparaison entre les deux alternatives.

L'importance individuelle des critères est établie en attribuant des poids aux critères. Avec toutes ces données, on assemble une matrice d'évaluations du type :

Tableau 4.2 : la matrice d'évaluation

(Source : auteur)

	C_1	C_2	C_3	.....	C_m
	P_1	P_2	P_3	.....	P_m
a_1	e_{11}	e_{12}	e_{13}	.....	e_{1m}
a_2	e_{21}	e_{22}	e_{23}	.....	e_{2m}
a_3	e_{31}	e_{32}	e_{33}	.....	e_{3m}
.....
a_n	e_{n1}	e_{n2}	e_{n3}	e_{ij}	e_{nm}

L'analyse de la matrice s'initie avec les comparaisons, en général deux à deux: comparaisons d'actions potentielles, par exemple, pour voir si l'une surclasse l'autre; ou encore comparaisons de classements d'actions, pour voir lequel est le plus en accord avec la donnée. Après quoi on essaye, dans une seconde phase, d'opérer une synthèse de ce que l'on a ainsi constaté. (Scharlig, 1985).

Les méthodes ELECTRE se basent sur la notion de relation de sur classement. Cette relation est une relation binaire définie sur l'ensemble des alternatives tel que: une alternative « A » surclasse une alternative « B » s'il est possible d'affirmer par l'agent décideur que « A » est au moins aussi bonne que « B ». Les arguments qui permettent cette affirmation, partent de deux essais auxquels est soumise l'hypothèse « A » surclasse « B ».

Initialement, un test de concordance établit qu'une majorité des critères favorisent «A». Et ensuite, un test de discordance qui établit qu'il n'y a pas une forte minorité des critères qui favorisent « B ».

Dans la pratique, en considérant $g(a_i)$ l'évaluation de l'action ou de l'alternative selon le critère « g », les relations de sur-classement sont déterminées conformément aux possibilités de relations de rangement entre deux actions quelconques « A » et « B ».

s'il y a une préférence forte de l'une par rapport à l'autre, une préférence faible, une indifférence ou une incomparabilité entre elles, calculées comme suit :

« A » est **fortement préférée** par rapport à « B » si $g(A)-g(B) > p$

« A » est **faiblement préférée** par rapport à « B » si $q < g(A)-g(B) \leq p$

« A » est **indifférente** par rapport à « B » si $|g(A)-g(B)| \leq q$

On peut ainsi, pour la paire « A, B » calculer un Indice de Concordance $c(A, B)$, qui donne le degré de confiance envers l'hypothèse A surclasse B et un Indice de discordance $d(A, B)$, qui mesure le degré de méfiance envers l'hypothèse A surclasse B . On établit alors deux matrices, une de concordance et l'autre de discordance, en comparant toutes les paires possibles d'alternatives « A, B ». En les combinant de façon adéquate, les deux matrices conduisent à une autre matrice, appelée de crédibilité, qui donne une mesure quantitative de la force de l'assertion A surclasse B , ou A est au minimum aussi bonne que B .

Le rangement des alternatives peut alors être déterminé, basé sur cette matrice de crédibilité. Le rangement des alternatives dans la méthode ELECTRE III est normalement réalisé à partir d'une procédure de distillation, où les alternatives sont placées selon leur qualification en allant de la meilleure vers la pire et ensuite de la pire vers la meilleure. Deux préordres Z_1 et Z_2 sont construits, respectivement par des processus de distillation descendante et ascendante. Finalement, le rangement final est obtenu en utilisant les résultats des deux préordres dérivés de la distillation des alternatives.

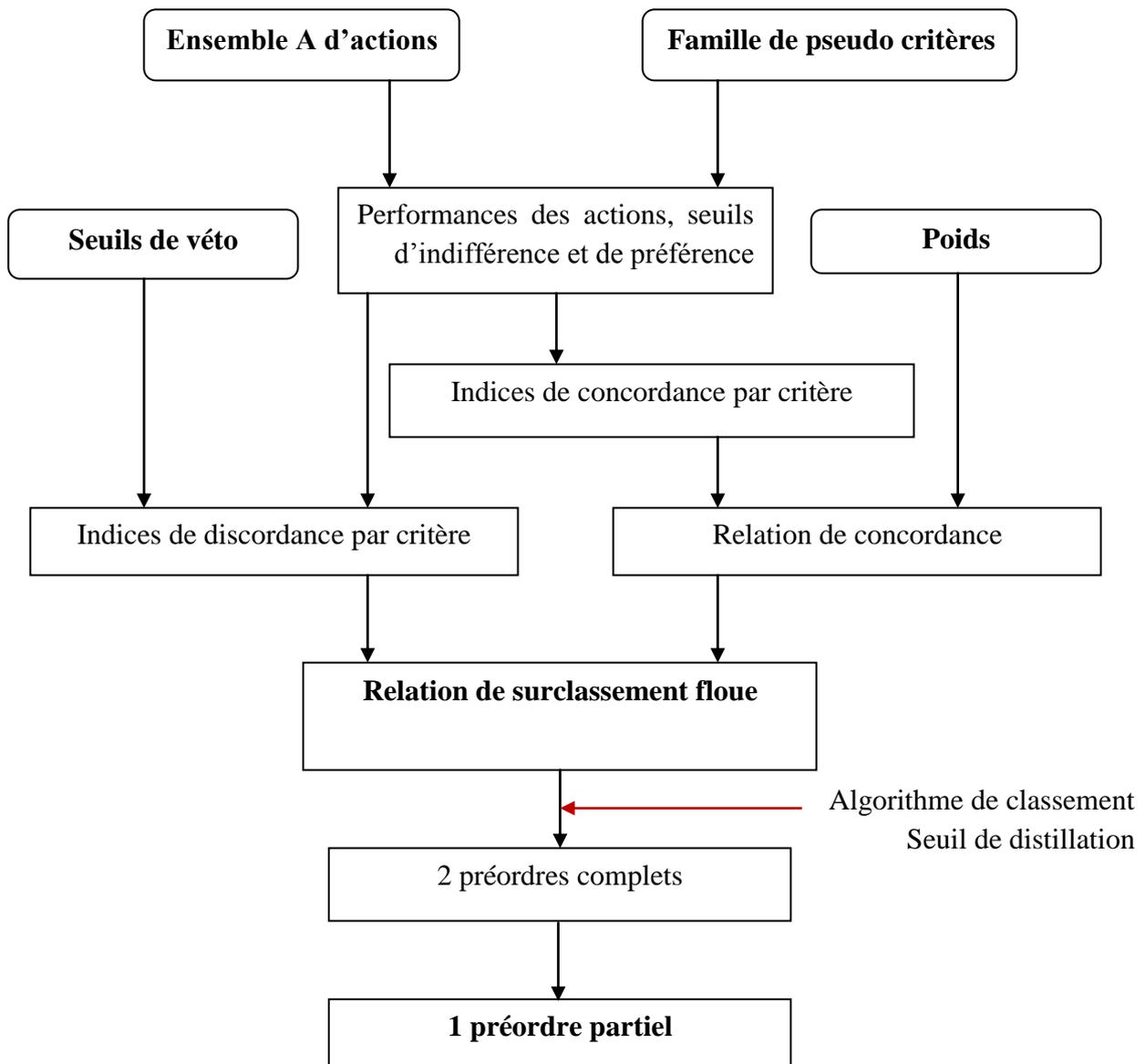


Figure 4.4 : Schéma générale de la méthode ELECTRE III
(Source : Vallee et Zielniewicz, 1994)

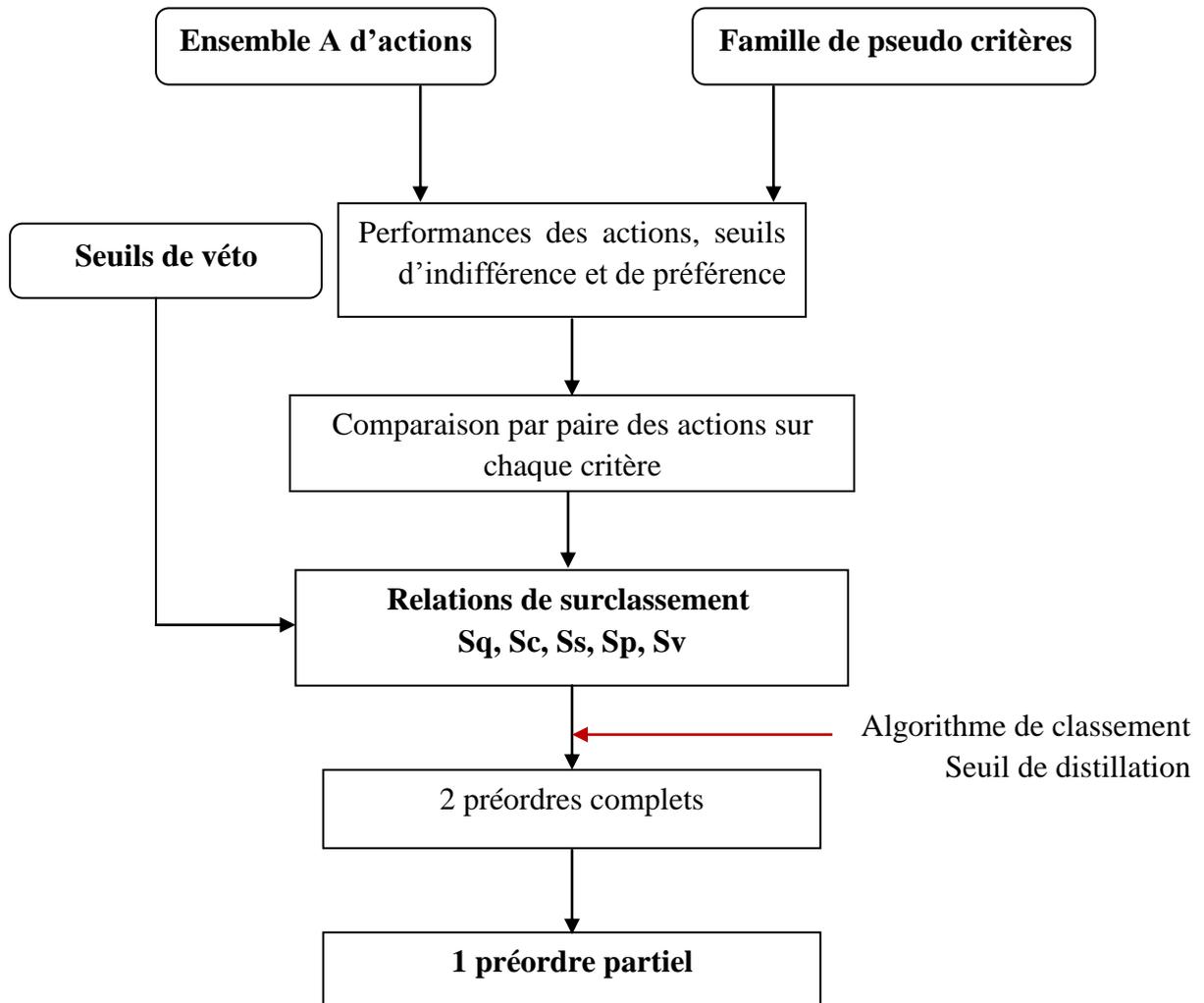


Figure 4.5 : Schéma générale de la méthode ELECTRE IV
(Source: Vallee et Zielniewicz, 1994)

Conclusion :

L'importance relative des baies définies lors de l'esquisse suivant les faces du bâtiment va influencer en partie le choix de la technologie de la structure portante, des dispositifs d'isolation thermique mais aussi de certaines des fonctions volumétriques ou de détails de protection solaire à intégrer dans les formes essentielles de l'enveloppe extérieure. Les outils de simulation du comportement des bâtiments (thermique, lumineux, ventilation, etc.) disponibles actuellement font généralement partie du troisième groupe (codes spécialisés), et ne sont pas employés couramment dans la pratique architecturale. Ceci est principalement dû à l'inadéquation de ces outils aux professionnels impliqués dans le processus de conception, principalement les architectes. Les difficultés d'utilisation de ces outils ont pour origine les raisons suivantes (Depecker et al, 2000) :

- Il y a un fossé culturel entre l'architecte et le chercheur-scientifique, dans les domaines de la physique et de la thermodynamique, dû principalement aux caractéristiques de la formation de l'un et l'autre, ce qui rend difficile la communication entre les deux champs de performance ;
- usuellement les architectes considèrent que des problèmes thermiques, lumineux ou de la ventilation, peuvent être résolus facilement par un arsenal technologique (climatisation, lumière artificielle, ventilation mécanique). Aussi, la dimension énergétique du projet n'est pas toujours considérée comme significative parmi les paramètres de la conception ;
- les outils informatiques existants possèdent un caractère extrêmement spécialisé, en exigeant des connaissances approfondies des phénomènes physiques et thermodynamiques impliqués, outre des interfaces complexes peu conviviales par rapport à la formation de l'architecte et même de l'ingénieur non-chercheur.
- Les outils informatiques existants exigent des temps relativement longs d'apprentissage, en décourageant son utilisation par des professionnels du secteur privé, où le temps disponible est généralement rare.

Dans ce contexte, on voit la nécessité du développement de méthode capables de repousser ces barrières afin d'être utilisés dans la pratique quotidienne de la

conception des bâtiments, en incorporant à cette pratique des dimensions énergétiques et liées au confort.

Compte tenu des difficultés énoncées précédemment pour l'utilisation des outils spécialisés, il est nécessaire de développer des outils basés soit sur des règles expertes soit sur des codes simplifiés (De Castro, 2005).

CHAPITRE N°5

**L'APPROCHE MULTICRITERES ET LA
METHODE ELECTRE III**

CHAPITRE N°05:

L'approche multicritères et la méthode ELECTRE III

“L'architecte, c'est formuler les problèmes avec clarté”

Le Corbusier

Introduction:

Ce chapitre a pour objectif de présenter la démarche généralement adoptée dans tout problème d'aide à la décision, de situer les méthodes ELECTRE et de les décrire brièvement. Le logiciel ELECTRE permet de classer un ensemble d'actions évaluées sur une famille de critères. Avant d'utiliser ce logiciel, il nous faut donc définir les critères utilisés ainsi que les seuils d'indifférence, de préférence et de veto.

. Tout au long de l'étude, des options concernant le cadrage de l'étude devront être prises. Ces options sont relatives à quatre niveaux :

-Niveau I : prendre des options sur ce que vont être les actions et choisir la problématique de départ.

-Niveau II : définir les critères et évaluer chaque action sur les critères.

-Niveau III : construire le tableau des performances (actions en ligne et critères en colonne). Pour la problématique P.δ, l'étude s'arrête à ce niveau.

-Niveau IV : traiter l'information qui a été rassemblée antérieurement, analysé en choisissant une approche opérationnelle.

V.1. Les problématiques:

Il existe quatre types de problématiques (Mousseau, 2006) :

- Problématique du choix - $P.\alpha$: l'objectif est d'obtenir un sous-ensemble d'actions aussi restreint que possible, en vue d'un choix final. Ce sous-ensemble contient les "meilleures" actions (optimum) ou, à défaut, des actions "satisfaisantes".

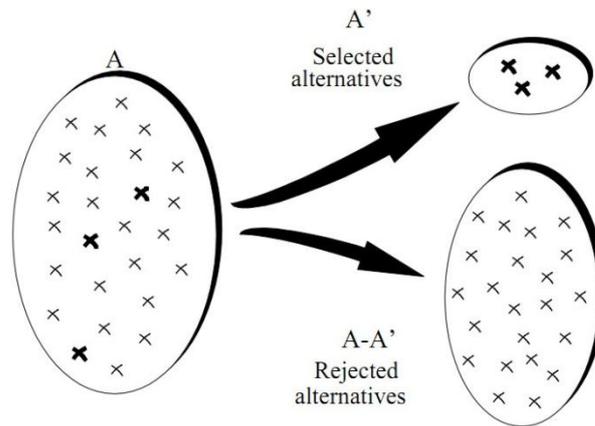


Figure 5.1: Problématique de choix.
(Source: Mousseau, 2006)

- Problématique du tri - $P.\beta$: on désire affecter chaque action dans une catégorie, les catégories étant définies a priori.

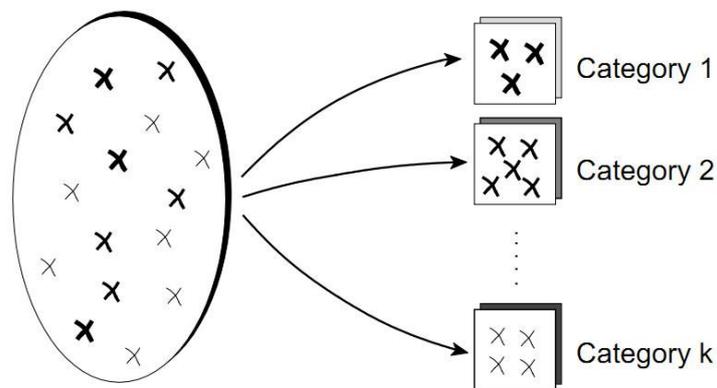


Figure 5.2: Problématique du tri.
(Source: Mousseau, 2006)

- Problématique du rangement - P. γ : il s'agit ici de positionner les actions les unes par rapport aux autres, d'établir un classement.

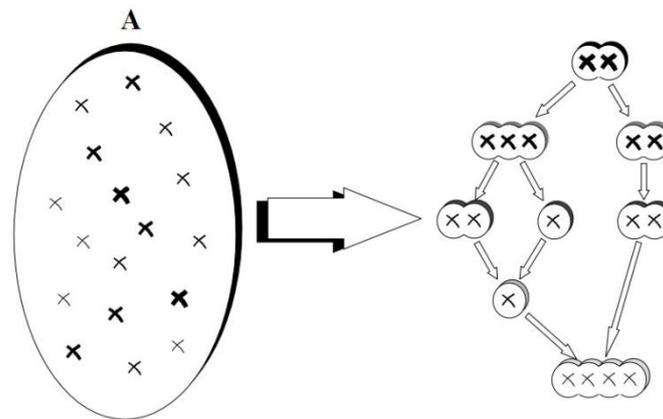


Figure 5.3: Problématique de rangement.
(Source: Mousseau, 2006)

- Problématique de la description - P. δ : le but est de décrire, dans un langage approprié, les actions et leurs conséquences. Cette problématique est contenue dans les trois autres problématiques.

Les méthodes ELECTRE III et IV permettent de résoudre des problématiques de type P. γ .

V.2. Les critères:

Le décideur doit définir un ensemble de critères $f = \{1, 2, \dots, m\}$ destinés à modéliser ses préférences. Chaque action est appréciée sur le critère j à partir de l'estimation des diverses conséquences qu'elle entraîne au point de vue de ce critère. L'évaluation de l'action a sur le critère j est notée $g_j(a)$ (Roy, 1978).

V.2.1. Sens des préférences:

Le sens de préférence sur un critère (fonctions-critère) peut être croissant ou décroissant. Un critère avec un sens de préférence croissant est un critère pour lequel la préférence est croissante avec les évaluations. Inversement, un critère avec un sens

de préférence décroissant sera un critère de type coût, pour lequel on préférera une faible valeur.

Dans tous les exemples qui vont suivre, nous utiliserons des critères avec un sens de préférence croissant (Mayag, 2011).

V.2.2. Le modèle du pseudo critère:

Il existe différents modèles de critères : vrai-critères, pseudo-critères, quasi-critères, pré-critères (Mousseau et Sugeno, 2001).

Soit deux actions a et b évaluées sur un critère j. L'évaluation de l'action a sur le critère j est notée $g_j(a)$, et celle de b est notée $g_j(b)$. Si le critère j est un vrai-critère, on a :

a Pj b $g_j(a) > g_j(b)$: a est strictement préférée à b sur le critère j.

a Ij b $g_j(a) = g_j(b)$: a est indifférente à b sur le critère j.

Mais ce modèle du vrai-critère ne permet pas de prendre en compte les imprécisions ou les incertitudes qui, dans beaucoup de problèmes réels, affectent les données sur lesquelles on se fonde pour évaluer chaque action.

Le modèle du pseudo-critère permet d'intégrer explicitement les éléments mal définis ou connus avec une marge d'imprécision en utilisant des seuils.

Les pseudo-critères font appel à deux fonctions seuils $q_j[g_j(a)]$ et $p_j[g_j(a)]$ respectivement appelées seuil d'indifférence et seuil de préférence. Ces seuils permettent de définir des relations d'indifférence (I), de préférence faible (Q) et de préférence stricte (P). On a ainsi, pour $g_j(b) > g_j(a)$:

- b Ij a $g_j(b) - g_j(a) \leq q_j[g_j(a)]$

- b Qj a $q_j[g_j(a)] < g_j(b) - g_j(a) \leq p_j[g_j(a)]$

- b Pj a $g_j(b) - g_j(a) > p_j[g_j(a)]$

V.3. Les seuils:

V.3.1. Seuil constant ou variable, seuil direct ou inverse :

La valeur d'un seuil peut être constante ou variable. Dans le premier cas, la valeur du seuil est la même quelle que soit la place de l'intervalle $[g_j(a), g_j(b)]$ sur l'échelle de valeurs; on parle alors de seuil constant (Mayag, 2011).

Dans le second cas, la valeur du seuil varie avec la position de l'intervalle et se calcule alors à l'aide d'une fonction (seuil variable). Le seuil peut alors se calculer soit à partir de la valeur de l'action la moins préférée (on définit ainsi ce qu'on appelle un seuil direct), soit à partir de l'évaluation de la meilleure action (on parle alors de seuil inverse).

De façon générale, les seuils sont calculés à l'aide d'une fonction affine. Prenons par exemple, sur un critère j , deux actions a et b telles que $g_j(b) > g_j(a)$

On aura :

$$\text{- seuil direct : } p = \alpha_j \cdot g_j(a) + \beta_j$$

$$\text{- seuil inverse : } p = \alpha_j \cdot g_j(b) + \beta_j$$

Dans tous les exemples vus précédemment, nous avons pris des seuils directs. Ce sera aussi le cas pour tous les exemples à venir.

En résumé, quatre cas sont possibles (Mousseau et al, 2001) :

- Cas 1 : soit un critère avec un sens de préférence croissant et des seuils directs;
- Cas 2 : soit un critère avec un sens de préférence décroissant et des seuils directs;
- Cas 3 : soit un critère avec un sens de préférence croissant et des seuils inverses;
- Cas 4 : soit un critère avec un sens de préférence décroissant et des seuils inverses.

Pour les cas 3 et 4, les seuils sont inverses. Le logiciel transforme automatiquement les seuils inverses en seuils directs. Cela permet, du point de vue informatique, de recourir au même algorithme de comparaison des actions par paires quel que soit le type de seuil. Ainsi, le cas 3 se ramène au cas 1, et le cas 4 au cas 2.

V.3.2. Différents types des seuils :

- seuil d'indifférence : c'est la plus grande valeur de $g_j(b) - g_j(a)$ probante d'une indifférence entre les deux actions sur le critère j . On note ce seuil q .
- seuil de préférence : c'est la plus petite valeur de $g_j(b) - g_j(a)$ probante d'une préférence stricte de l'action b sur l'action a . On note ce seuil p .
- seuil de veto : en plus des deux seuils précédents associés au concept de pseudo-critère, ELECTRE III met en jeu un seuil supplémentaire : le seuil de veto. Pour définir un tel seuil, il est nécessaire de se poser la question : « sur le critère j , quelle doit être la valeur de l'écart $g_j(b) - g_j(a)$ pour qu'en aucun cas, globalement, a puisse être considérée comme meilleure que b quelles que soient les évaluations de a et b sur tous les autres critères ». On notera ce seuil $v_j(g_j(a))$.

V.3.3. Précautions pour la détermination des seuils :

Bien que le concept de seuil soit un outil commode permettant de prendre en compte l'imprécision, il n'est pas toujours possible de trouver une valeur précise de ces seuils. Il est donc nécessaire de faire varier ces seuils et de comparer les résultats ainsi obtenus, afin d'effectuer une analyse de robustesse (Mayag, 2011).

Dans ELECTRE (Mousseau et Slowinski, 1998), les seuils sont tous des fonctions affines du type $\alpha_j \cdot g_j(a) + \beta_j$. Nous devons donc définir, pour chacun de trois seuils, les coefficients α et β . C'est donc sur ces coefficients que portera l'analyse de robustesse.

Nous devons nous assurer de la cohérence des seuils ainsi définis, de manière à avoir par exemple pour chaque critère:

$$q_j(g_j(a)) \leq p_j(g_j(a)) \leq v_j(g_j(a)) \text{ pour toute action } a$$

Nous devons également vérifier que les fonctions seuils que nous avons définies restent positives pour toute valeur de l'échelle du critère (Mayag, 2011).

D'autre part, des conditions sur la croissance des fonctions seuils impliquent les conditions suivantes sur le coefficient α , ces conditions sont fonction du sens de préférences et du sens de calcul des seuils :

Dans le cas on doit avoir :

Préférences croissantes et sens de calcul des seuils direct	$\alpha > -1$
Préférences croissantes et sens de calcul des seuils indirect	$\alpha < 1$
Préférences décroissantes et sens de calcul des seuils direct	$\alpha < 1$
Préférences décroissantes et sens de calcul des seuils indirect	$\alpha > -1$

V.4. Le tableau des performances :

Si on note A l'ensemble des actions et F la famille de critères, on appelle tableau des performances de A sur F le tableau contenant les valeurs de $g_j(a)$ pour tout j appartenant à F ($j = 1$ à m) et pour tout a appartenant à A.

Le tableau des performances est un outil précieux mais qu'il faut utiliser avec prudence. En effet, puisque les unités des échelles des différents critères sont généralement hétérogènes, les comparaisons d'actions s'avèrent très difficiles.

L'exploitation de ce tableau se fait en utilisant une approche opérationnelle, ELECTRE par exemple. C'est donc une fois ce tableau construit que le logiciel ELECTRE peut être utilisé, la liste des actions, la liste des critères et le tableau de performances constituant alors le jeu de données (Mayag et Grabisch, 2011).

V.5. Les différents types d'approches opérationnelles :

Il existe trois familles d'approches opérationnelles. Ces trois familles sont codées habituellement A.O.1, A.O.2 et A.O.3 :

- A.O.1 : approche du critère unique de synthèse évacuant toute incomparabilité.
C'est l'approche la plus classique. Elle consiste à agréger tous les critères à l'aide d'une fonction d'agrégation. La méthode de la somme pondérée par exemple fait partie de cette famille.
- A.O.2 : approche du sur classement de synthèse acceptant l'incomparabilité.
C'est une approche plus prudente. Comme la précédente, elle prend appui sur une règle explicite permettant de comparer les actions, mais à l'inverse de l'A.O.1, elle accepte les situations d'incomparabilité lorsque l'affirmation d'une préférence ou d'une indifférence s'avère être insuffisamment justifiée. Les méthodes de type ELECTRE font partie de cette famille.
- A.O.3 : approche du jugement local interactif avec itérations essai-erreur. Cette approche "repose sur un protocole d'interaction régissant l'enchaînement d'étapes de dialogue et de traitement permettant de cheminer, moyennant essais et erreurs, sur la base de jugements à caractère local, vers des éléments de solution".

Les approches opérationnelles généralement utilisées relèvent directement de l'une de ces trois grandes familles, alors que d'autres s'analysent comme une combinaison ad hoc de deux d'entre elles (Mousseau et Sugeno, 2001).

Les méthodes de type ELECTRE font partie de la deuxième famille d'approches opérationnelles, l'A.O.2.

V.6. ELECTRE III ET IV :

V.6.1. ELECTRE III :

ELECTRE III est utilisée lorsque le décideur est capable de donner des poids aux pseudo-critères. En vue de classer les actions entre elles, l'objectif premier de cette méthode sera de calculer un indicateur qui sera appelé degré de crédibilité. Il exprimera, pour toute paire d'actions (a,b), quel est le degré de crédibilité que l'on peut accorder à la proposition "a est au moins aussi bonne que b" (Roy, 1978).

1) Données :

A ce niveau de l'étude, on dispose d'un tableau de performances où chaque action $a \in A$ est évaluée sur l'ensemble des critères. Cette famille de critères F est munie d'une pondération $k = (k_1, k_2, \dots, k_m)$ qui exprime l'importance relative des différents critères (ce sont les "poids" des critères).

2) Calcul des indices de concordance ($c_j(a,b)$) :

On se place dans le cas d'un critère à préférence croissante et à seuils directs. Prenons deux actions a et b sur un pseudo-critère j . Six cas peuvent se produire :

- $b P_j a$: $g_j(b) > g_j(a) + p_j[g_j(a)]$ $c_j(a,b) = 0$ et $c_j(b,a) = 1$
 b est strictement préférée à a sur le critère j
- $b Q_j a$: $g_j(a) + q_j[g_j(a)] < g_j(b) \leq g_j(a) + p_j[g_j(a)]$ $0 < c_j(a,b) \leq 1$ et $c_j(b,a) = 1$
 b est faiblement préférée à a sur le critère j
- $b I_j a, a I_j b$: $g_j(a) - q_j[g_j(b)] \leq g_j(b) \leq g_j(a) + q_j[g_j(a)]$
 $c_j(a,b) = 1 = c_j(b,a)$
 b et a sont indifférentes sur le critère j
- $a Q_j b$: $g_j(a) - p_j[g_j(b)] \leq g_j(b) < g_j(a) - q_j[g_j(b)]$
 $c_j(a,b) = 1$ et $0 < c_j(b,a) \leq 1$
 a est faiblement préférée à b sur le critère j
- $a P_j b$: $g_j(b) < g_j(a) - p_j[g_j(b)]$
 $c_j(a,b) = 1$ et $c_j(b,a) = 0$
 a est strictement préférée à b sur le critère j .

La formule générale pour le calcul des indices de concordance est donc :

$$c_j(a,b) = \frac{p_j[g_j(a)] - \min [g_j(b) - g_j(a), p_j[g_j(a)]]}{p_j[g_j(a)] - \min [g_j(b) - g_j(a), q_j[g_j(a)]]} \dots\dots\dots [1]$$

3) La relation de sur classement floue

La relation de sur classement floue est caractérisée pour chaque paire d'action (a,b) par un degré de crédibilité $d(a,b)$ (Roy, 1978). Ce degré de crédibilité n'est autre que l'indice de concordance $C(a,b)$ affaibli par les indices de discordance $D_j(a,b)$. Cependant, un indice de discordance $D_j(a,b)$ ne contribue à l'affaiblissement de $C(a,b)$ que s'il est suffisamment grand (c'est-à-dire si $D_j(a,b) > C(a,b)$) :

De façon générale, on a :

- si $\bar{F}_1(a,b) = \{j \in F / D_j(a,b) > C(a,b)\} = \emptyset$, alors $d(a,b) = C(a,b)$

- si $\bar{F}_2(a,b) \neq \emptyset$, alors :

$$d(a,b) = C(a,b) \times \prod_{j \in \bar{F}_2(a,b)} \frac{1 - D_j(a,b)}{1 - C(a,b)} \dots\dots\dots [2]$$

4) Remarques :

-Si aucun $D_j(a,b)$ n'est suffisamment grand, on a $d(a,b)=C(a,b)$.

-S'il existe au moins un critère j tel que $D_j(a,b)=1$, c'est-à-dire tel que j mette son veto, alors $d(a,b)=0$ quelle que soit l'importance relative de ce critère.

On construit ainsi la matrice des degrés de crédibilité pour chaque paire d'actions (a,b), à partir de laquelle on va appliquer l'algorithme de classement.

V.6.2. ELECTRE IV :

1) Objectif :

Lorsque l'utilisateur ne peut pas ou ne désire pas donner de jeu de poids pour la famille de critères, il devient impossible de construire la matrice de concordance en agrégeant les préférences partielles (Roy, 1978). ELECTRE IV utilise quatre relations de sur classement (S_q , S_c , S_p et S_v) pour construire la relation de sur classement floue. L'emploi de ces quatre relations de sur classement repose sur deux idées directrices :

-aucun critère n'est prépondérant face à un regroupement d'une moitié quelconque des critères;

-aucun critère n'est négligeable face à un regroupement d'une moitié quelconque des critères.

Notations :

- $mp(b,a)$: nombre de critères pour lesquels b est strictement préférée à a.

- $mq(b,a)$: nombre de critères pour lesquels b est faiblement préférée à a.

- $mi(b,a)$: nombre de critères pour lesquels b est indifférente à a bien que son évaluation soit meilleure.

- $mo(b,a) = mo(a,b)$: nombre de critères pour lesquels b et a ont la même évaluation.

Ces notations mettent en évidence 4 cas, les trois premiers d'entre eux donnant naissance à un cas symétrique (permutation du rôle de a et b). Tout critère correspond à un et un seul des sept cas ainsi définis (Mayag et Grabisch, 2011).

On a, donc, pour toute paire $\{a,b\}$:

$$m = mp(a,b) + mq(a,b) + mi(a,b) + m0(a,b) + mi(b,a) + mq(b,a) + mp(b,a)$$

2) Relations de sur classement :

- quasi-dominance : S_q

$$b S_q a \quad m_p(a,b) + m_q(a,b) = 0 \text{ et} \quad \dots\dots\dots [3]$$

$$m_i(a,b) \leq 1 + m_i(b,a) + m_q(b,a) + m_p(b,a)$$

Des écarts défavorables à b, même inférieurs au seuil d'indifférence, interdisent, lorsqu'ils sont trop nombreux, $b S_q a$ (prise en compte d'effets de cumul).

- dominance canonique : S_c

$$b S_c a \quad m_p(a,b) = 0 \text{ et}$$

$$m_q(a,b) \leq m_p(b,a) \text{ et} \quad \dots\dots\dots [4]$$

$$m_q(a,b) + m_i(a,b) \leq 1 + m_i(b,a) + m_q(b,a) + m_p(b,a)$$

On a : $S_q \subset S_c$

$$S_q = S_c \text{ si } \{j \in F / a Q_j b\} = \emptyset, \text{ i.e } m_q(a,b) = 0. \quad \dots\dots\dots [5]$$

S_c est plus riche que S_q ; toutefois, pour pouvoir tolérer x critères tels que $a Q_j b$, il faut au moins x critères donnant une préférence stricte favorable à b (effet de masque).

- pseudo-dominance : S_p

$$b S_p a \quad m_p(a,b) = 0 \text{ et}$$

$$m_q(a,b) \leq m_q(b,a) + m_p(b,a) \quad \dots\dots\dots [6]$$

On a : $S_c \subset S_p$

S_p est plus riche que S_c (élargissement de l'effet de masque).

- veto-dominance : S_v

Soit $v_j[g_j(a)]$ un seuil de veto, posons :

$$b P V_j a \quad g_j(b) \geq g_j(a) + v_j[g_j(a)] \quad \dots\dots\dots [7]$$

Si $b \text{ PV}_j a$, alors la préférence en faveur de b selon le critère j est si fortement affirmée qu'elle constitue un veto pour " a surclasse b " quelles que soient les préférences en faveur de a selon les critères autres que j .

$b \text{ Sv } a \text{ NON } a \text{ PV}_j b$ pour tout j et

Soit $mp(a,b) = 0$ [8]

Soit $mp(a,b) = 1$ et $mp(b,a) \geq m/2$

(où $m = \text{nb.de critères}$)

On remarque que : $S_q \subset S_c \subset S_p \subset S_v$.

A chaque relation de dominance, on associe, de façon volontariste, une valeur du degré de crédibilité. Ainsi :

- si $a \text{ S}_q b$, alors $d(a,b) = 1$
- si $a \text{ S}_c b$, alors $d(a,b) = 0.8$
- si $a \text{ S}_p b$, alors $d(a,b) = 0.6$
- si $a \text{ S}_v b$, alors $d(a,b) = 0.35$

L'utilisateur a la possibilité de choisir parmi ces quatre relations celles qu'il désire voir prises en compte par le programme (Mayag et Grabisch, 2011). Par exemple, s'il décide de n'employer que S_q et S_c , les degrés de crédibilité ne pourront prendre que les valeurs 1, 0.8 ou 0. Et si plusieurs relations lient a à b , on ne conserve que la dominance la plus forte. Si aucune relation ne lie a à b , alors $d(a,b) = 0$.

En procédant ainsi pour chaque paire d'actions (a,b) , on obtient la matrice des degrés de crédibilité.

V.7. Algorithme de classement :

V.7.1. Principes généraux :

L'algorithme de classement a pour but d'exploiter une relation de surclassement floue en vue d'ordonner les actions selon un préordre partiel. Les degrés de crédibilité associés à cette relation de surclassement peuvent être obtenus par une des deux méthodes décrites précédemment (ELECTRE III ou IV). Cependant, cet algorithme s'applique quelle que soit la méthode employée. On peut ainsi l'appliquer sur une matrice de surclassement qu'on a saisie directement (Roy, 1978).

Le but de l'algorithme est de construire deux classements de façon différente (Mayag et Grabisch, 2011). Le premier en sélectionnant les meilleures actions pour finir par les actions les plus mauvaises (distillation descendante), le second en sélectionnant d'abord les plus mauvaises actions pour finir par les meilleures (distillation ascendante).

- L'algorithme, pour fonctionner, nécessite, en plus de la matrice de surclassement, une fonction seuil de discrimination qui permet de définir une succession de relations de surclassement nettes :

$$a S_k b \text{ si } d(a,b) > l_k \text{ et } d(a,b) > d(b,a) + s[d(a,b)]$$

Où S_k est la relation de surclassement et l_k le niveau de coupe de l'itération k .

- A partir de cette matrice de surclassement nette, on calcule la qualification de chaque action par rapport à l'ensemble A des actions :

$$q_A(a) = \text{nb d'actions que } a \text{ surclasse} - \text{nb d'actions qui surclassent } a$$

- La qualification de chaque action ainsi établie, on sélectionne la ou les meilleures actions (sélection descendante) ou la ou les plus mauvaises actions (sélection ascendante) que l'on extrait de l'ensemble des actions à classer.

- Sur l'ensemble des actions restant à classer, on calcule à nouveau la qualification de chaque action pour extraire une ou plusieurs actions. On réitère

l'opération tant que toutes les actions ne sont pas classées. Cette étape est appelée la distillation.

A l'issue de la distillation ascendante et descendante, on obtient deux préordres. Dans chacun d'eux, les actions sont regroupées au sein de classes d'équivalence ordonnées entre elles. Chaque classe contient au moins une action.

Il est à noter que les résultats seront influencés par le seuil de discrimination et les niveaux de coupe choisis. Ces paramètres varient au cours du processus de sélection. Leur valeur initiale est fixée par le programme mais l'utilisateur décide de la façon dont ils vont évoluer au cours de la distillation. Afin d'éviter toute utilisation intempestive de la fonction faisant varier les seuils, ce qui peut avoir pour résultat de rendre les classements obtenus en fin de distillation moins significatifs, le programme propose des valeurs standards que l'utilisateur peut, s'il le désire, modifier (Mayag et Grabisch, 2011).

V.7.2. Construction du préordre intersection :

Le préordre intersection met en relief les comparaisons entre actions que la méthode a permis d'obtenir et souligne les incomparabilités éventuelles.

L'action a sera considérée meilleure que l'action b si, dans l'un au moins des classements, a est classée avant b et si, dans l'autre, a est au moins aussi bien classée que b.

L'action a sera jugée équivalente à b si les deux actions appartiennent à la même classe dans les deux préordres.

Les actions a et b seront incomparables si, par exemple, a est en meilleure position que b dans le classement ascendant et si b vient avant a à l'issue de la distillation descendante.

V.8. Résultats :

Les résultats finaux dont dispose le décideur sont :

- Le résultat des deux distillations : liste des actions ordonnées par le rang qu'elles occupent dans chaque classement.
- Un tableau croisé des actions :

A l'intersection de la ligne de l'action a et de la colonne de l'action b, on aura :

- + Si l'action a est mieux classée que l'action b dans l'un des préordres et au moins aussi bien classée dans l'autre préordre.
- 0 Si les deux actions a et b ont le même classement dans les 2 préordres (situation d'indifférence).

Si a est mieux classée que b dans l'un des préordres et si on a l'inverse dans l'autre préordre (situation d'incomparabilité).

- Si a est moins bien classée que b dans l'un des deux préordres et au plus aussi bien classée que b dans l'autre.
- Un classement médian (préordre complet) obtenu en rangeant les actions suivant les valeurs croissantes de la somme de leurs rangs dans les deux distillations. Dans ce classement médian, il n'existe pas de situation d'incomparabilité, et deux actions sont considérées comme indifférentes si la somme de leurs deux rangs est identique.
- La liste des successeurs immédiats et des prédécesseurs immédiats de chaque action.

Conclusion :

L'approche multicritère prend appui sur des modèles pour aider un acteur intervenant dans un processus de décision à obtenir des éléments de réponses aux questions qu'il se pose.

Cette approche conduit cet acteur à accroître la cohérence entre son système de valeurs et l'évolution du processus de décision,

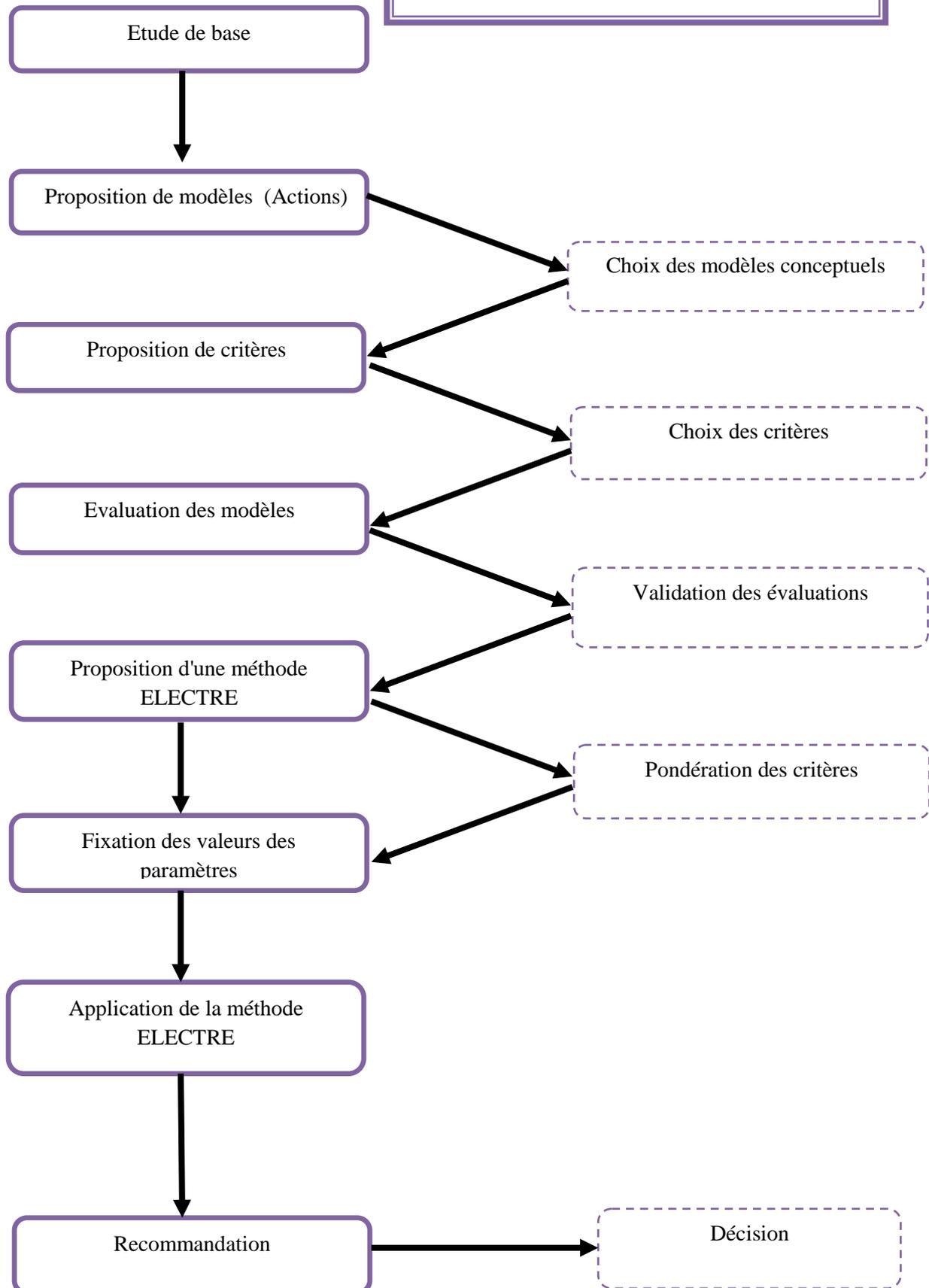
L'aide à la décision peut aboutir à une « prescription » dont le but n'est pas de se substituer à la décision,

Un modèle est un schéma qui, pour un champ de questions, est pris comme représentation d'une classe de phénomènes, plus ou moins habilement dégagés de leur contexte par un observateur pour servir de support à l'investigation et/ou la communication.

Le processus d'aide à la décision met en scène au moins deux acteurs : le décideur (ou expert) et l'analyste. Le premier a la responsabilité de décider du choix final de la "meilleure" solution au problème. Il peut intervenir tout le long du processus en donnant ses préférences, ses priorités, en émettant des avis et autres souhaits. L'analyste quant à lui facilite le processus d'aide à la décision par une analyse méthodologique et scientifique du problème, l'apport méthodologique étant plus important que l'apport scientifique (Mayag, 2010).

Figure 5.4 : La Méthode ELECTRE

(Source : Mayag et Grabisch, 2011)



CHAPITRE N°6

PRESENTATION DES LOGICIELS

D'ANALYSE

CHAPITRE N°06:

Présentation des logiciels d'analyse

« The Guggenheim museum in Bilbao and the Walt Disney Concert Hall (in Los Angeles) could not exist today if we hadn't met Dassault, because there was no way to explore these kinds of shapes and make them economically feasible »

Franck O.GEHRY

Introduction:

De par les capacités de calcul et de représentation qu'ils offrent, les outils numériques ont rapidement été perçus comme pouvant aider à la conception, en particulier en architecture : simulations, rendus graphiques...etc.

L'informatique tiens de nos jours une place importante dans la majorité des recherches en conception architecturale. Place ouvrant même des possibilités inédites. Elle offre aussi la possibilité, par des modèles construits au fur et à mesure du projet, d'orienter des choix de conception ou de vérifier des contraintes qui n'ont pas encore été prises en compte dans les premières phases. Cela s'étend au niveau prescriptif par l'utilisation de logiciels spécialisés à l'architecture, permettant la bonne gestion des paramètres de conception.

Ce chapitre présente les différents logiciels utilisés dans la phase pratique pour aboutir à nos objectifs de recherche. Nous présentons en premier temps le logiciel de simulation ECOTECT dont la version est « ECOTECT analysis 2011 », en suite le logiciel ELECTRE qui se base sur la méthode ELECTRE III.

A l'issue de ce chapitre, il sera possible de comprendre le processus d'utilisation de ces logiciels. Néanmoins, il est à préciser que ce chapitre traite brièvement de ces données, et constitue ainsi un aperçu et introduction à l'étude opérationnelle qui suit.

VI.1. Présentation du logiciel ECOTECT:

ECOTECT v5.5 est le logiciel d'analyse de construction le plus complet et innovant sur le marché aujourd'hui. Il dispose d'une interface de modélisation 3D design conviviale entièrement intégrée avec un large éventail d'analyse des performances et des fonctions de simulation.

Ce qui distingue vraiment ECOTECT, c'est la nature visuelle de la rétroaction de calcul et son soutien pour la conception conceptuelle à un stade très précoce, ainsi que pour la validation de la conception finale. Les concepteurs peuvent commencer à générer des informations vitales de conception liée à la performance avant que la forme du bâtiment soit même développée.

Nous pouvons commencer avec une analyse climatique détaillée pour calculer le potentiel de diverses techniques de conception passive ou pour optimiser l'utilisation de l'énergie solaire disponible, la lumière et les ressources éoliennes. Il nous aide ensuite à tester ces idées sur certains modèles de croquis simples avant de développer progressivement la conception finale.

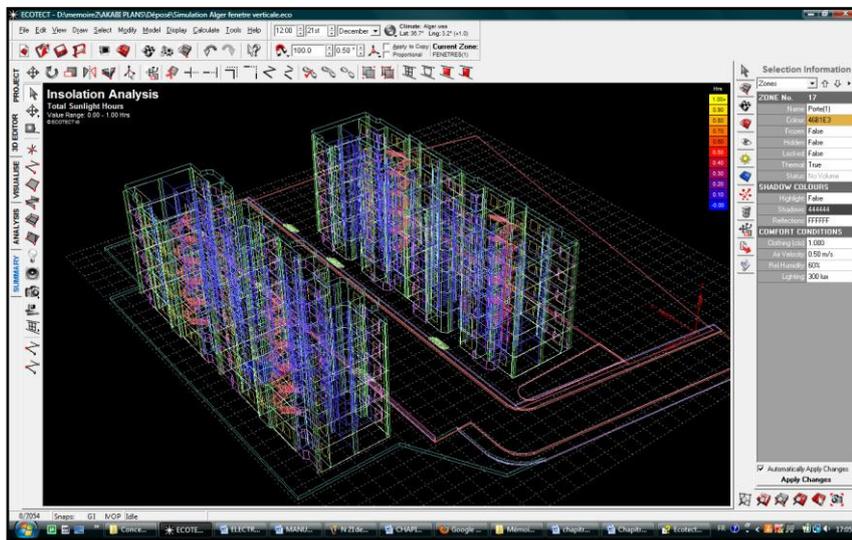


Figure 6.1 : L'interface du logiciel ECOTECT
(Source : Auteur)

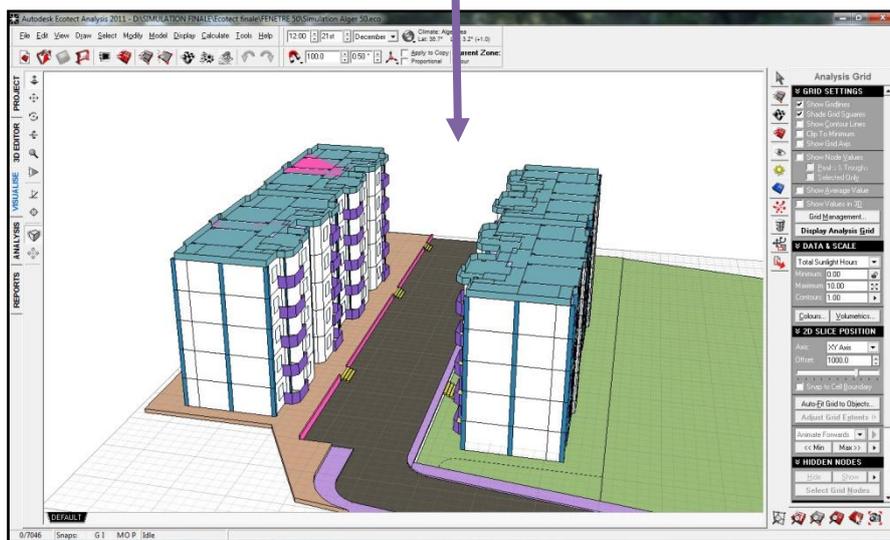
Fondamentale pour le développement de ECOTECT était le concept que les principes de conception de l'environnement sont les plus efficaces lorsque pris en compte lors

des premiers stades les plus conceptuels du processus de conception du bâtiment. Le stade de la conception du design se produit au tout début, lorsque le bref est toujours en cours d'analyse et les décisions concernant la géométrie, les matériaux et l'emplacement sont encore à faire. Ces trois aspects de la conception sont sans doute les plus importants déterminants de la performance globale du bâtiment, ce qui en fait l'étape la plus cruciale pour de nombreux projets.

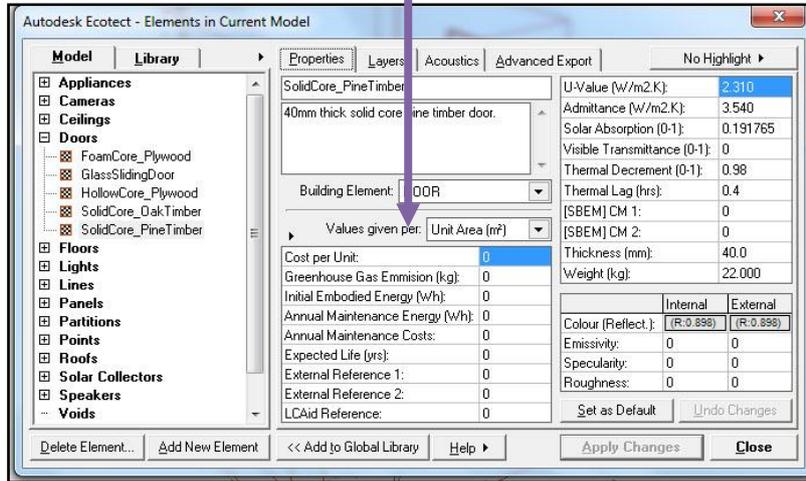
C'est aussi l'étape la plus ignorée par l'analyse de la construction traditionnelle et des logiciels de simulation, principalement parce que les données quantifiables mal à décrire le bâtiment n'existe tout simplement pas. Toutefois, la rétroaction d'analyse à ce stade peut être d'une grande utilité pour le concepteur, aidé à guider le processus décisionnel dès le début vers des solutions de conception plus efficaces, en évitant les travaux abortif potentiel sur les options inappropriées.

VI.1.1. Etapes de simulation:

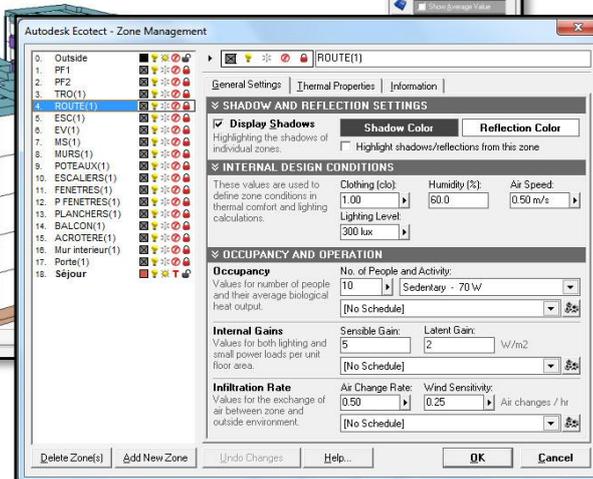
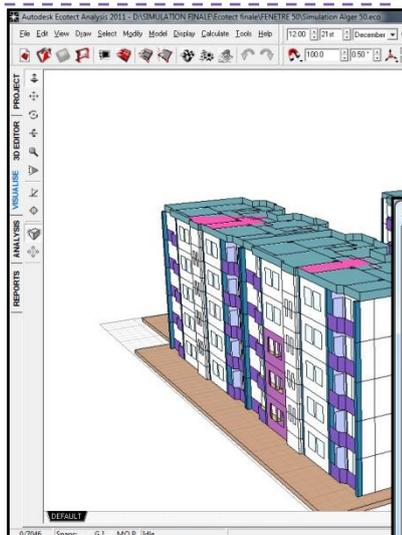
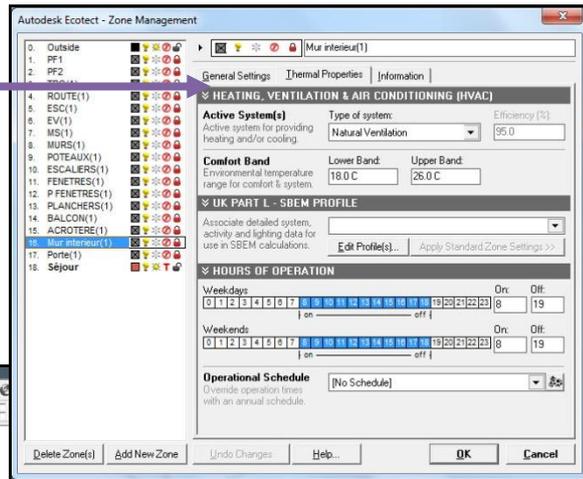
- 1) La première étape consiste à dessiner en 3D le projet d'étude avec une palette des zones. Chaque zone est déterminée par la couleur libre à choisir, ainsi que les propriétés thermiques (La figure qui suit est une prise d'écran Ecotect 2011).



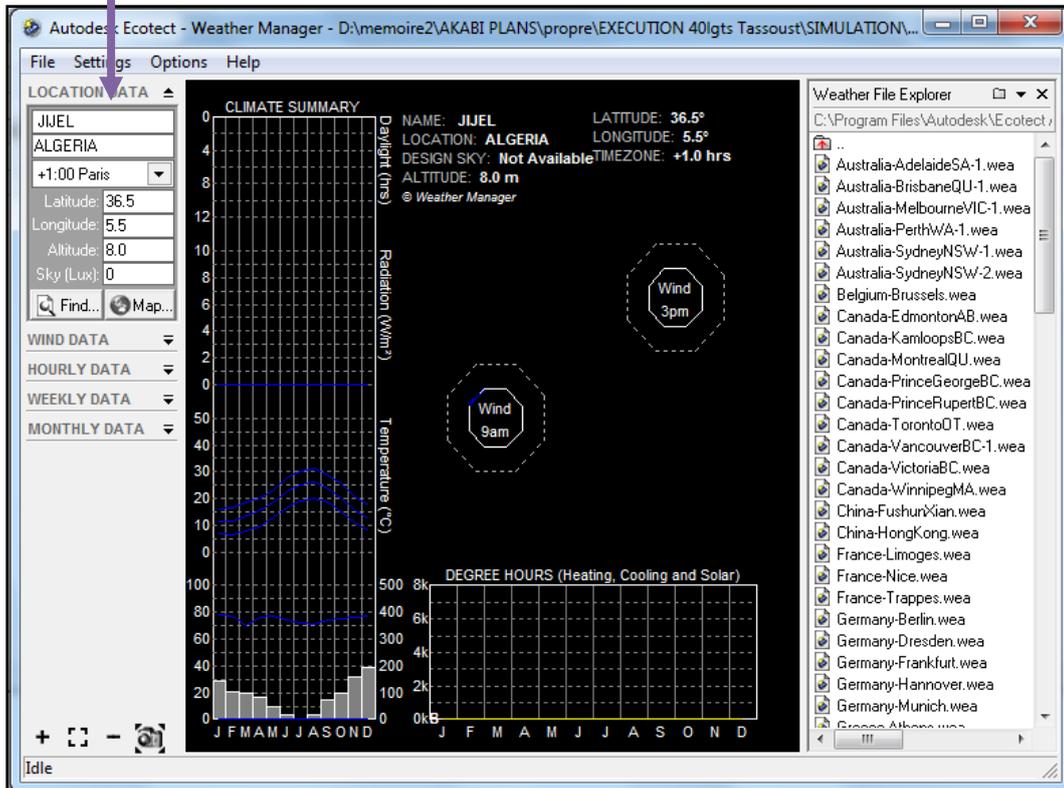
2) La deuxième étape consiste à affecter les matériaux de construction utilisés lors de la simulation. Chaque matériau est déterminé par des propriétés thermo-physiques tel que : la conductivité thermique, la chaleur spécifique, l'épaisseur...etc.



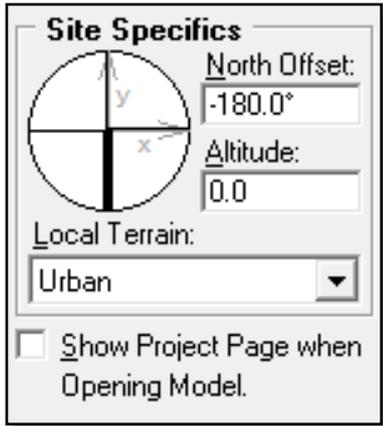
3) Cette étape consiste à régler les paramètres généraux et thermiques des zones avant de lancer les simulations. Par exemple : le choix du système de ventilation, la période à étudier...etc



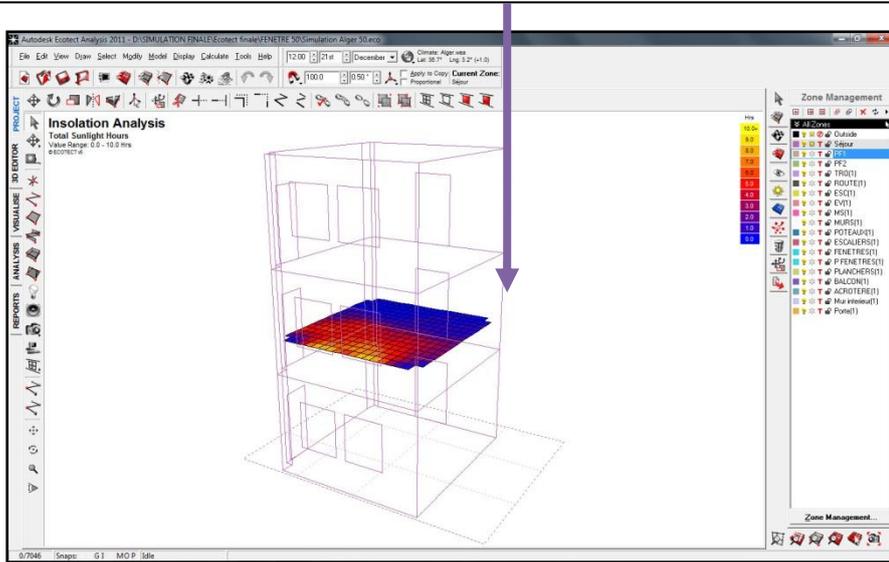
- 4) La quatrième étape consiste à créer le fichier climatique pour la région concernée d'étude. En utilisant les données climatiques obtenues de la station météorologique.



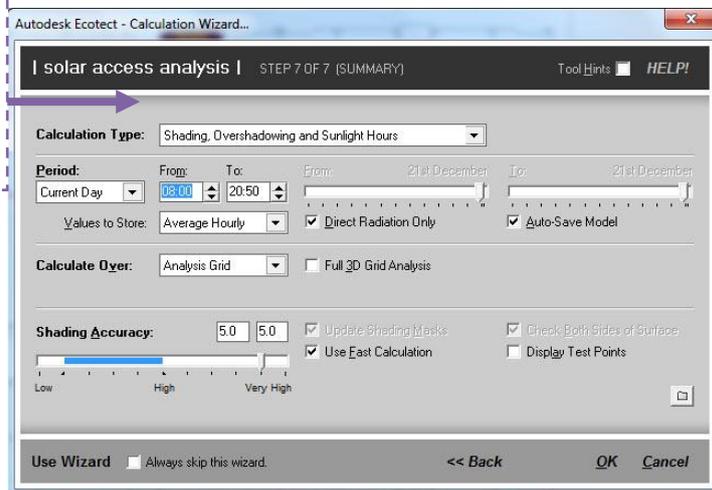
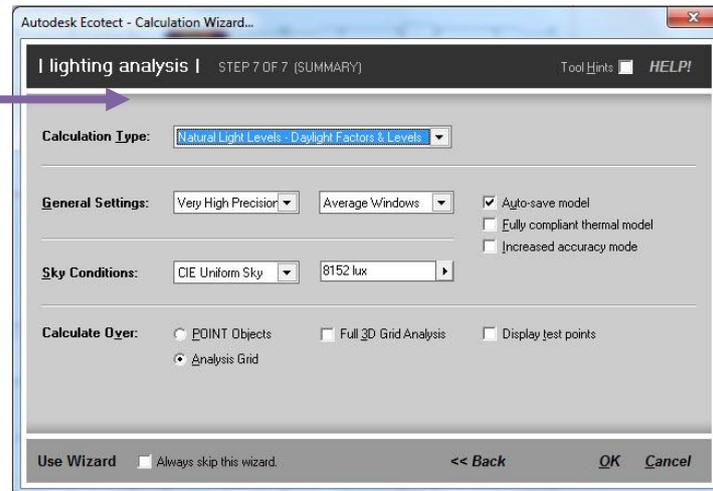
- 5) Il est très important dans cette phase de déterminer l'orientation du projet d'étude. Le choix de l'orientation influence vivement les résultats des simulations.



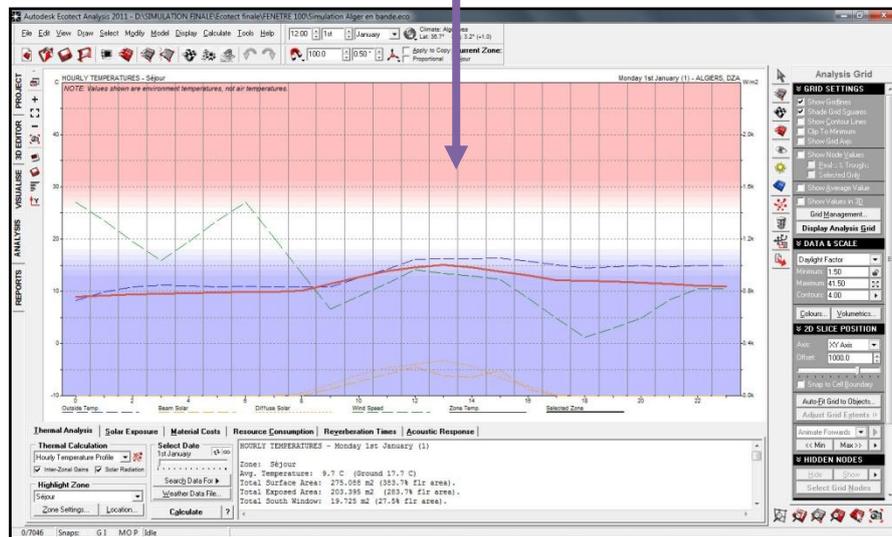
6) La prochaine étape consiste à activer la grille d'analyse qui nous permet de choisir l'espace et la zone à simuler facilement et rapidement.



7) L'étape finale est de choisir les paramètres à analyser et gérer l'ensemble des conditions de simulation adéquates pour notre cas d'étude. Nous avons : l'analyse de l'éclairage naturel, l'insolation et les taches solaires...etc.



8) ECOTECT présente aussi l'avantage de réaliser des analyses thermiques, et acoustiques.



VI.2. Présentation du logiciel ELECTRE III:

Le logiciel ELECTRE permet de classer un ensemble d'actions évaluées sur une famille de critères. Avant d'utiliser ce logiciel, il vous faut donc définir les critères utilisés ainsi que les seuils d'indifférence, de préférence et de veto.

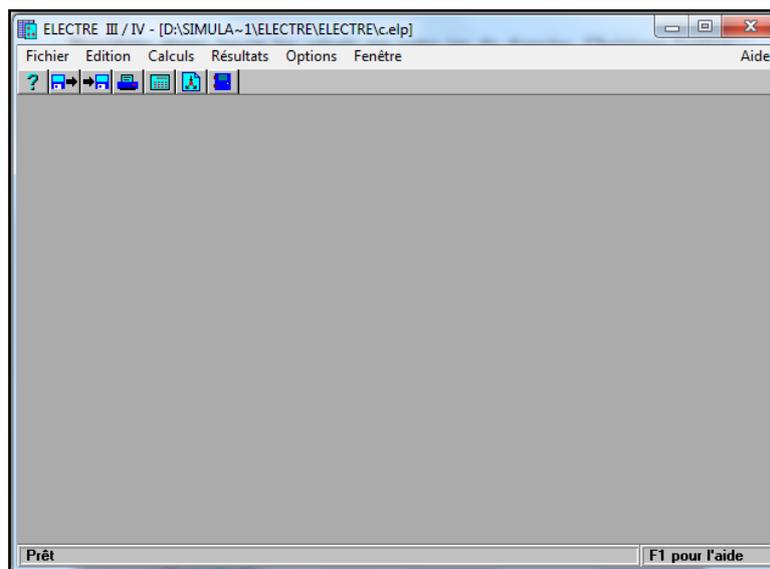


Figure 6.2 : L'interface du logiciel ELECTRE III
(Source : auteur)

VI.2.1. Etapes d'utilisation:

La version utilisée pour cette recherche est ELECTRE III-IV version 3.x. La démarche à suivre est alors la suivante:

- **Première étape:** conception du jeu des données sur lequel on désire travailler.

Il y a trois cas de figure:

Cas 1 - On veut travailler sur un **nouveau jeu de données**. Choisir alors l'option Données, puis dans le sous-menu proposé, choisir la commande Créa. Une fois la création effectuée, on revient au menu principal.

Cas 2 - On veut reprendre un jeu de données déjà existant et y apporter des **modifications**. Choisir l'option Données du menu principal et la commande Modif du sous-menu proposé. Une fois les modifications effectuées, on revient au menu principal.

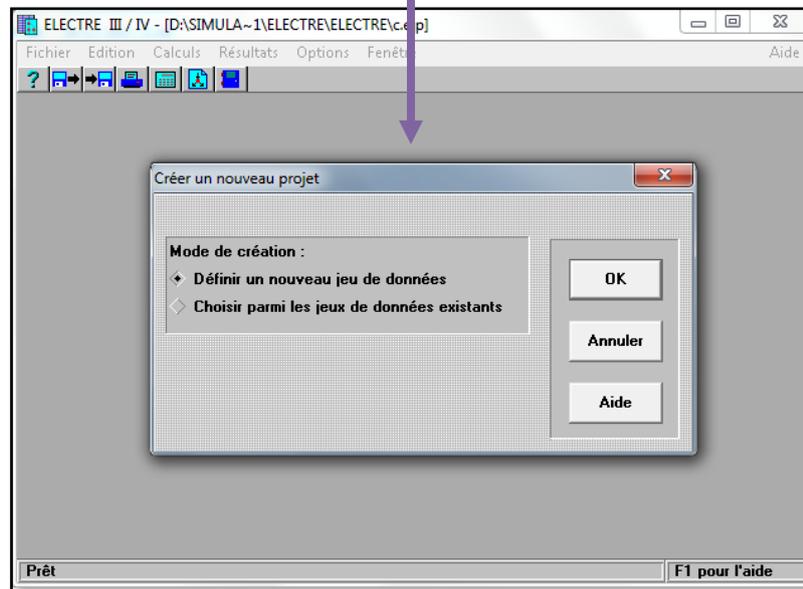
Cas 3 - On veut reprendre un jeu de données déjà existant sans y apporter de modification. Nous n'avons rien à faire, on passe à l'étape suivante.

- **Deuxième étape:** lancer les calculs sur le jeu de données. Choisir l'option Exécution du menu principal, et sélectionner le jeu de données dans la liste proposée en se déplaçant à l'aide des flèches et validant en tapant sur Return.

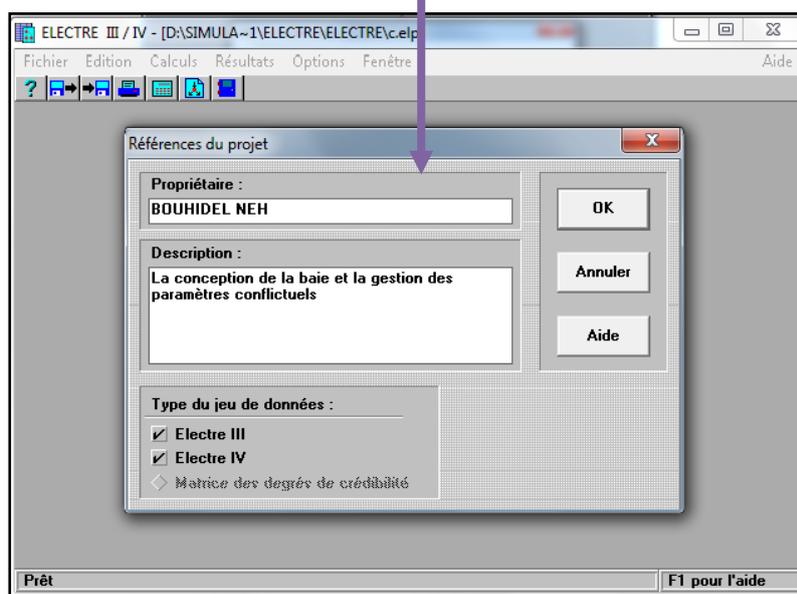
- **Troisième étape:** consulter les résultats. Choisir l'option Résultats, puis la commande Consultation dans le sous-menu proposé et sélectionner le fichier contenant les résultats (il a le même nom que le fichier données mais avec l'extension .ELR).

Pour avoir le détail de la procédure à suivre, nous avons effectué des prises d'écran lors de l'utilisation du logiciel.

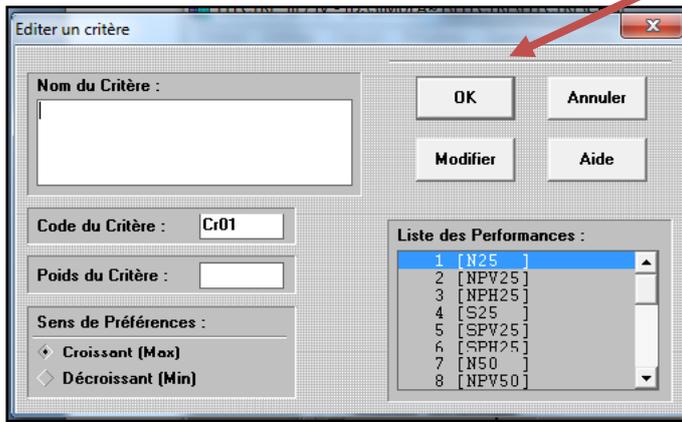
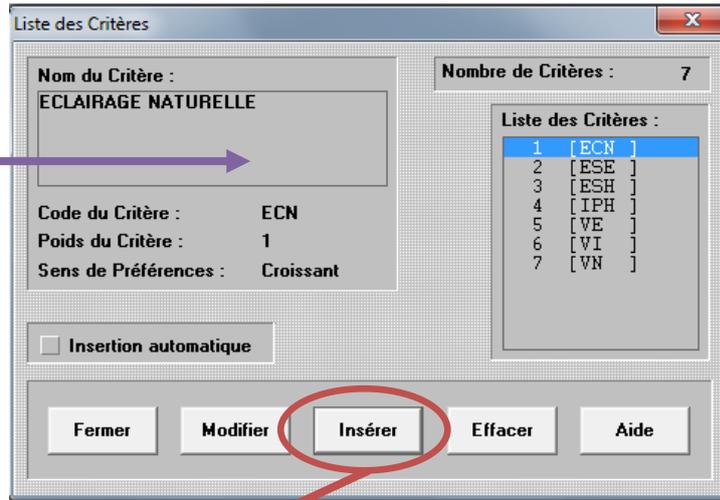
- 1) Lors de l'ouverture du logiciel, on choisie de créer un nouveau projet. Ce qui nous permet de saisir les données du nouveau jeu.



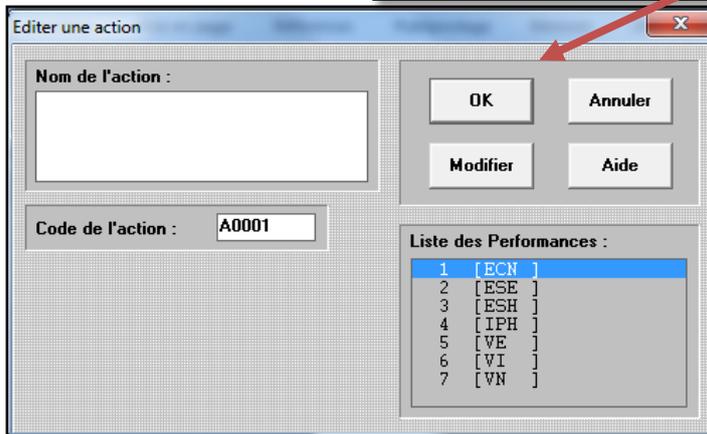
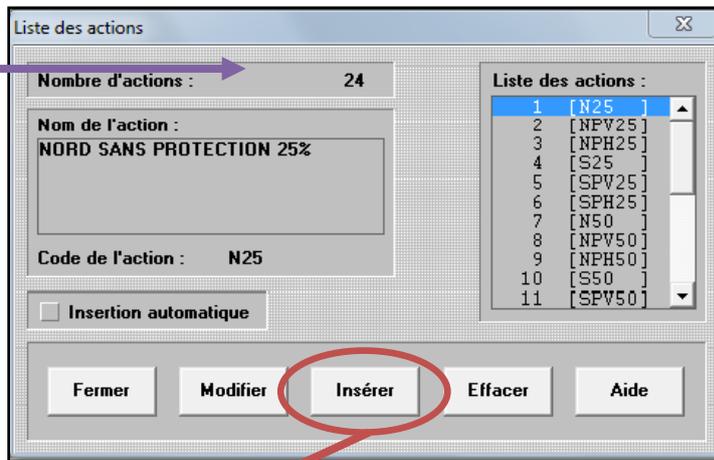
- 2) La deuxième étape consiste à entrer les données générales du projet, tel que : le nom du propriétaire, une description générale de l'objectif du projet. Ainsi de choisir le type du jeu de données.



3) Cette étape consiste à saisir les critères qui influencent le choix. Nous avons à saisir : le nom du critère, le poids ainsi que le sens de préférence.



4) Pour définir l'ensemble des actions, on doit sélectionner Action dans le menu Edition.



5) Lorsque les actions et les critères ont été saisis, l'étape suivante consiste à saisir le tableau des performances. La saisie s'effectue sous forme de tableau.

Editer les Performances

	ECN	ESE	ESH	IPH	VE	VI	VN
N25	1	1	1	5	1	4	1
NPV25	1	1	1	5	1	4	1
NPH25	1	1	1	5	1	4	1
S25	2	2	1	5	1	4	1
SPV25	2	2	1	5	1	4	1
SPH25	2	2	1	5	1	4	1
N50	2	2	1	4	2	3	2
NPV50	2	2	1	4	2	3	2
NPH50	2	2	1	4	2	3	2
S50	3	3	2	4	2	3	2

Nombre de Critères: 7
Nombre d'Actions: 24

3

Fermer Aide

6) A ce stade, pour définir les seuils on clique sur Seuils du menu Edition.

Seuils

Sens des Préférences : Décroissant
Mode de définition : Direct

Nombre de critères : 7

Liste des Critères :

1	[ECN]
2	[ESE]
3	[ESH]
4	[IPH]
5	[VE]
6	[VI]
7	[VN]

Coefficients du seuil d'indifférence :
 $\alpha = 0$ $\beta = 0$

Coefficients du seuil de préférence :
 $\alpha = 0$ $\beta = 0$

Coefficients du seuil de veto :
 $\alpha =$ $\beta =$

Modifier Aide

Seuils sur un critère

Code du critère : IPH
Poids du Critère : 1
Sens des Préférences : Décroissant

Min (g_j) = 2
Max (g_j) = 5
Min (Δg_j) = 1

Coefficients du seuil d'Indifférence :
 $\alpha = 0$ $\beta = 0$

Coefficients du seuil de Préférence :
 $\alpha = 0$ $\beta = 0$

Coefficients du seuil de Veto :
 $\alpha =$ $\beta =$

Supprimer l'effet de Veto

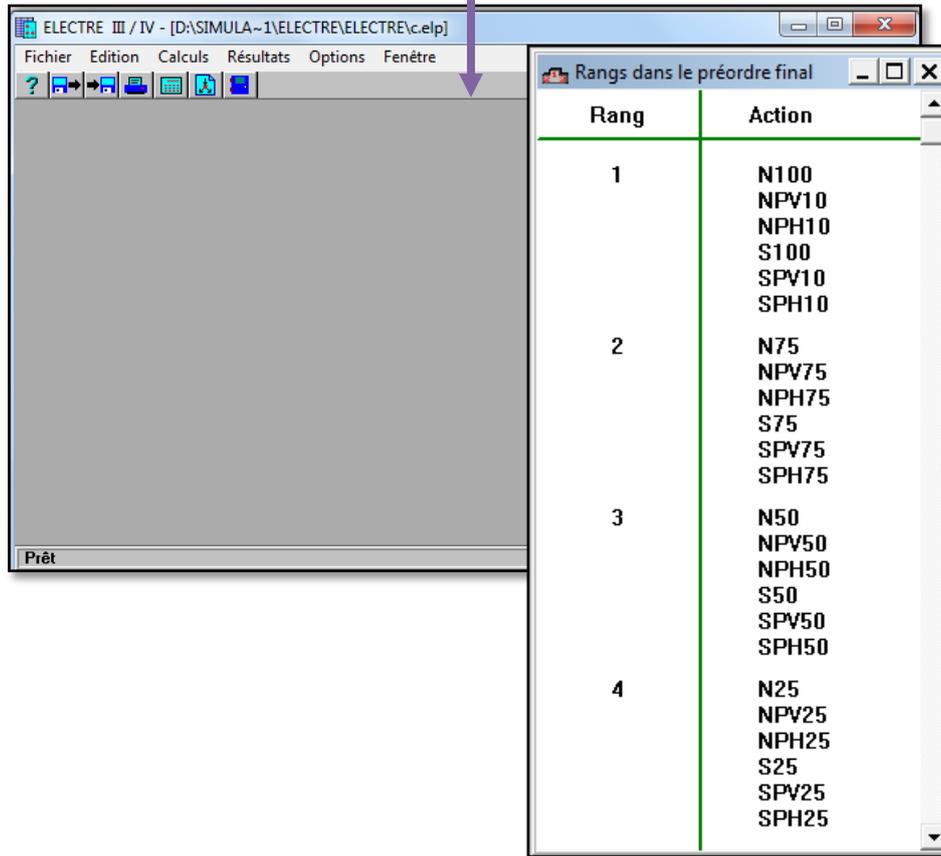
Mode de définition :
 Direct
 Inverse

Liste des Performances :

[N25]	5
[NPV25]	5
[NPH25]	5
[S25]	5
[SPV25]	5
[SPH25]	5
[SPH50]	4
[SPV50]	4

OK
Annuler
Aperçu
Aide

7) Pour appliquer au projet la méthode choisie, on lance la commande Exécuter du menu Calculs. Une fois les calculs exécutés, nous avons accès à l'ensemble des résultats par l'intermédiaire du menu Résultats.



8) Le résultat essentiel est le graphe final, mais nous avons la possibilité de faire afficher le résultat des deux distillations. Ainsi que la matrice des concordances.

	N25	NPV25	NPH25	S25	SPV25	SPH25	N50	NPV50	NPH50	S50	SPV50	SPH50	N75	NPV75	NPH75
N25	1	1	1	0.86	0.86	0.86	0.29	0.29	0.29	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
NPV25	1	1	1	0.86	0.86	0.86	0.29	0.29	0.29	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
NPH25	1	1	1	0.86	0.86	0.86	0.29	0.29	0.29	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
S25	0.86	0.86	0.86	1	1	1	0.43	0.43	0.43	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
SPV25	0.86	0.86	0.86	1	1	1	0.43	0.43	0.43	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
SPH25	0.86	0.86	0.86	1	1	1	0.43	0.43	0.43	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14
N50	0.86	0.86	0.86	1	1	1	1	1	1	0.71	0.71	0.71	0.14	0.14	0.14
NPV50	0.86	0.86	0.86	1	1	1	1	1	1	0.71	0.71	0.71	0.14	0.14	0.14
NPH50	0.86	0.86	0.86	1	1	1	1	1	1	0.71	0.71	0.71	0.14	0.14	0.14
S50	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	1	1	1	0.43	0.43	0.43
SPV50	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	1	1	1	0.43	0.43	0.43
SPH50	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	1	1	1	0.43	0.43	0.43
N75	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	1	1	1	1	1	1
NPV75	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	1	1	1	1	1	1
NPH75	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	0.86	1	1	1	1	1	1
S75															

Conclusion :

L'utilisation de plus en plus massive d'outils numériques dans le processus d'élaboration d'un bâtiment, de sa conception à sa réalisation, est aujourd'hui une réalité technique et économique qui s'est franchement dégagée du champ expérimental.

Nous avons, dans ce chapitre, tenté d'apporter une vision globale sur les deux logiciels d'étude (ELECTRE, et ECOTECT).

Il est admis que ces logiciels, et plus généralement les systèmes informatiques, peuvent être un atout évident dans les premières phases d'un projet architectural.

ECOTECT, un logiciel de simulation qui permet d'observer le comportement du projet architectural vis-à-vis le confort thermique, le confort visuel, et le confort acoustique. Prenant en considération les conditions climatiques et environnementales données au début de la simulation.

ELECTRE quant à lui, vient après comme un outil d'aide à la décision pour trouver la solution adéquate pour des contraintes de conception déterminées à la phase d'esquisse.

La combinaison de ces deux logiciels pourrait devenir un partenaire performant dans l'analyse du problème posé dans notre étude, et en particulier pour résoudre la problématique de décision multicritères.

CHAPITRE N° 7

PRESENTATION DU MODELE D'ANALYSE

CHAPITRE N°07:

Présentation du modèle d'analyse

« Architecture is therefore not simply what is done but how it is done »

Hillier B

Introduction:

Ce chapitre vise à présenter le processus d'analyse qui rend possible une prévision des comportements de l'ouverture pour diverses alternatives de conception. Nous décrivons un cas réel du bâtiment (un bâtiment d'habitation collectif) avec toutes ses caractéristiques ; les données météorologiques utilisées pour les simulations ; le modèle d'occupation/utilisation des espaces; et les études paramétriques réalisées pour obtention des règles expertes pour la conception architecturale.

Ainsi, on présente ici les différentes techniques utilisées pour atteindre les objectifs de notre recherche à savoir : la simulation numérique, le questionnaire, et le sondage.

La simulation numérique d'un bâtiment prévoit l'utilisation de quelques modèles qui décrivent non seulement l'immeuble lui-même, mais, aussi, les conditions externes auxquelles il sera soumis. La première étape pour la simulation de son comportement est, donc, la recherche des points fondamentaux qui doivent être considérés dans l'élaboration du travail de modélisation. Ces points peuvent être divisés en quatre catégories générales :

- Structure physique constituant le bâtiment ;
- Phénomènes physiques liés à la simulation ;
- Conditions climatiques ;
- Utilisation du bâtiment ;

Le premier modèle créé à partir de la connaissance de ces caractéristiques de la construction représente le bâtiment proprement dit.

VII.1. Présentation du cas d'étude:

VII.1.1. Typologie et caractéristiques générales du bâtiment adopté :

Nous avons choisi comme objet de simulation de départ dans cette recherche, un bâtiment d'habitation collectif promotionnelle à Tassoust wilaya de Jijel figure 6.2. Ce type architectural est très diffusé en Algérie, cette typologie présente entre quatre et cinq étages, la majorité d'entre eux contiennent des appartements F3 et des F4.

Avec ces caractéristiques générales, nous avons imaginé comme objet de simulation le séjour dont la surface est de 25m², Un plan du bâtiment projeté est donné sur la figure 6.4. Chaque séjour possède une dimension de (5 x 5) mètres et présente deux ouvertures sur l'extérieur une fenêtre centrée sur le mur de la façade postérieure de la construction, et une autre fenêtre latérale.

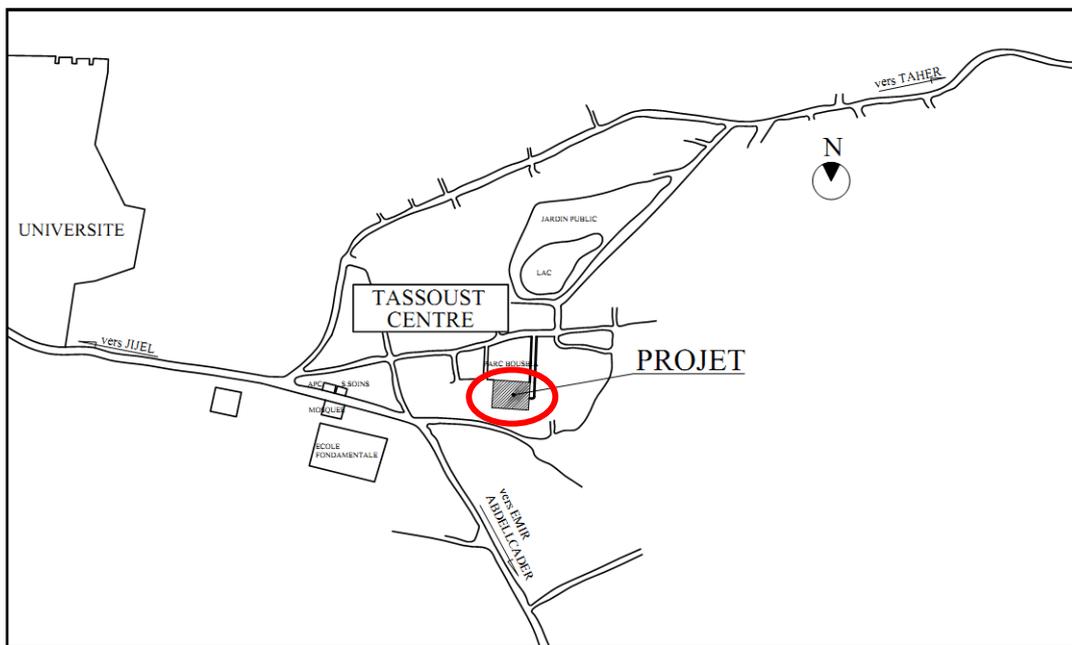


Figure 7.1 : Plan de situation.
(Source : BET CCA, 2011)

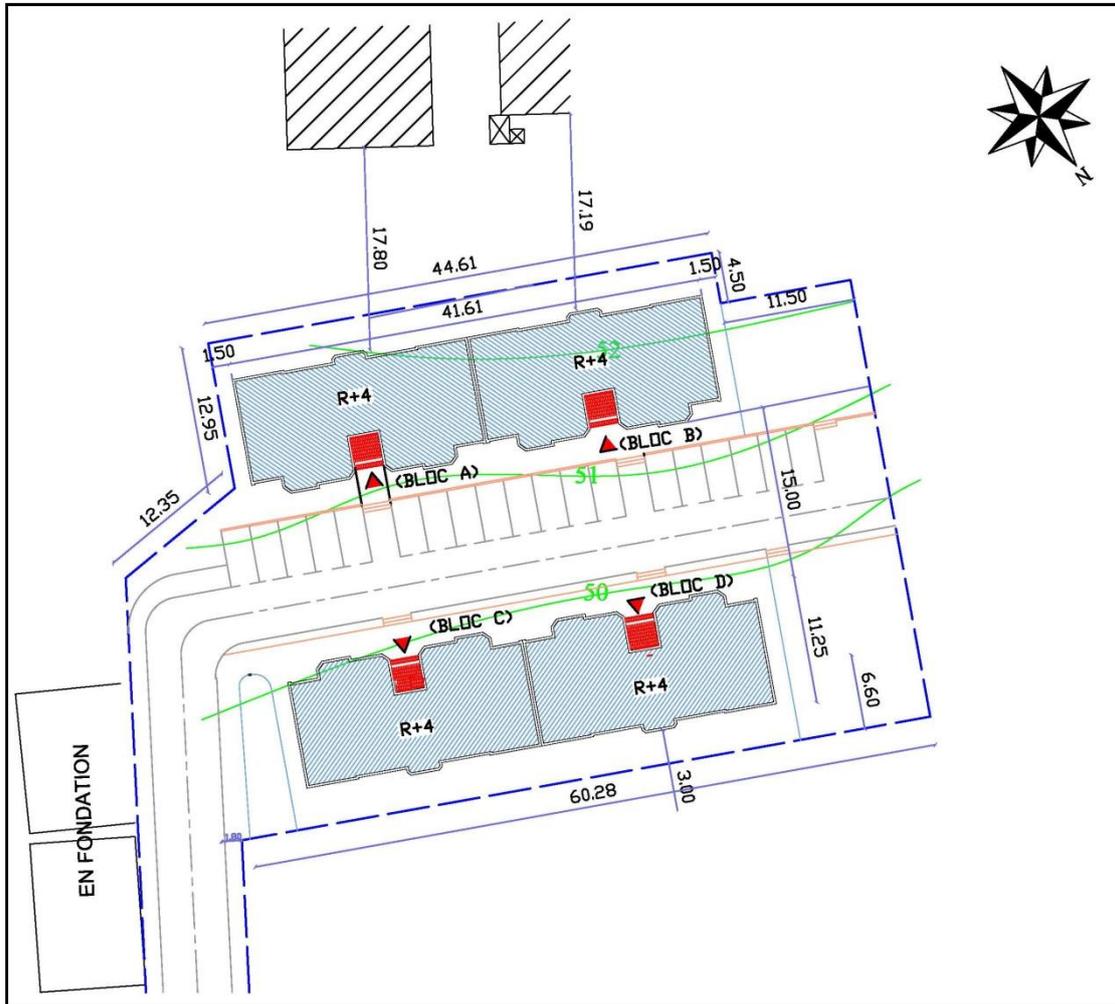
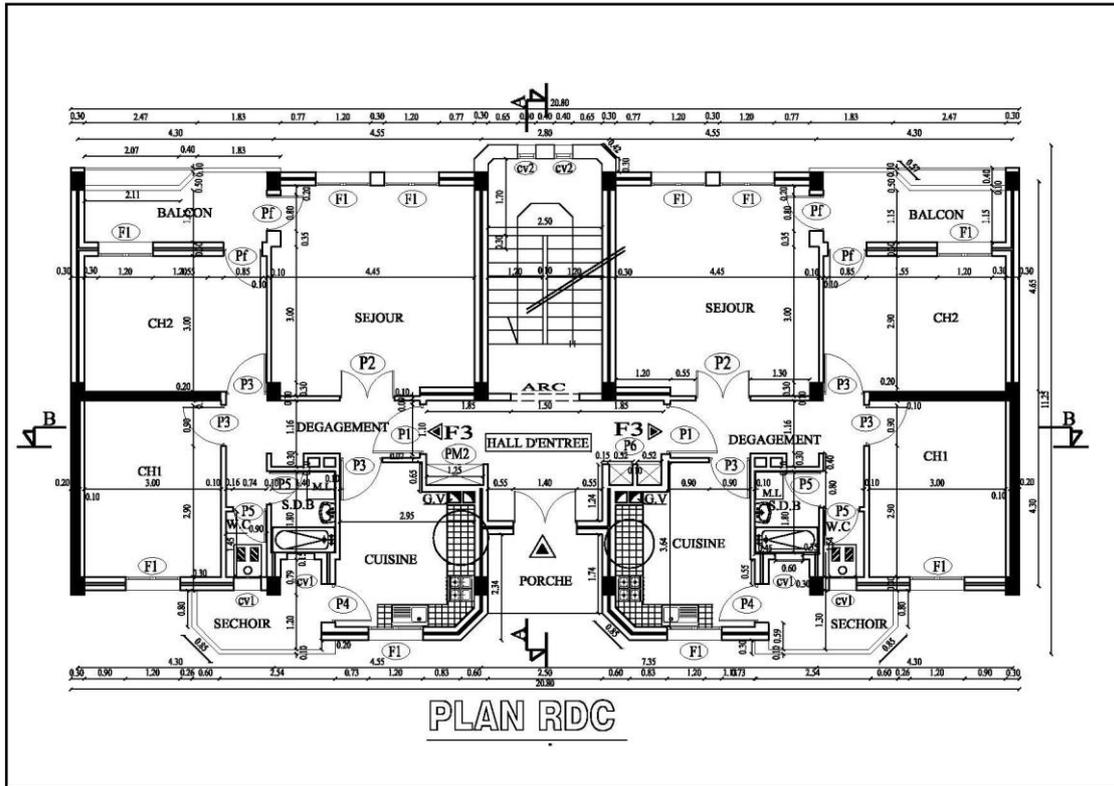


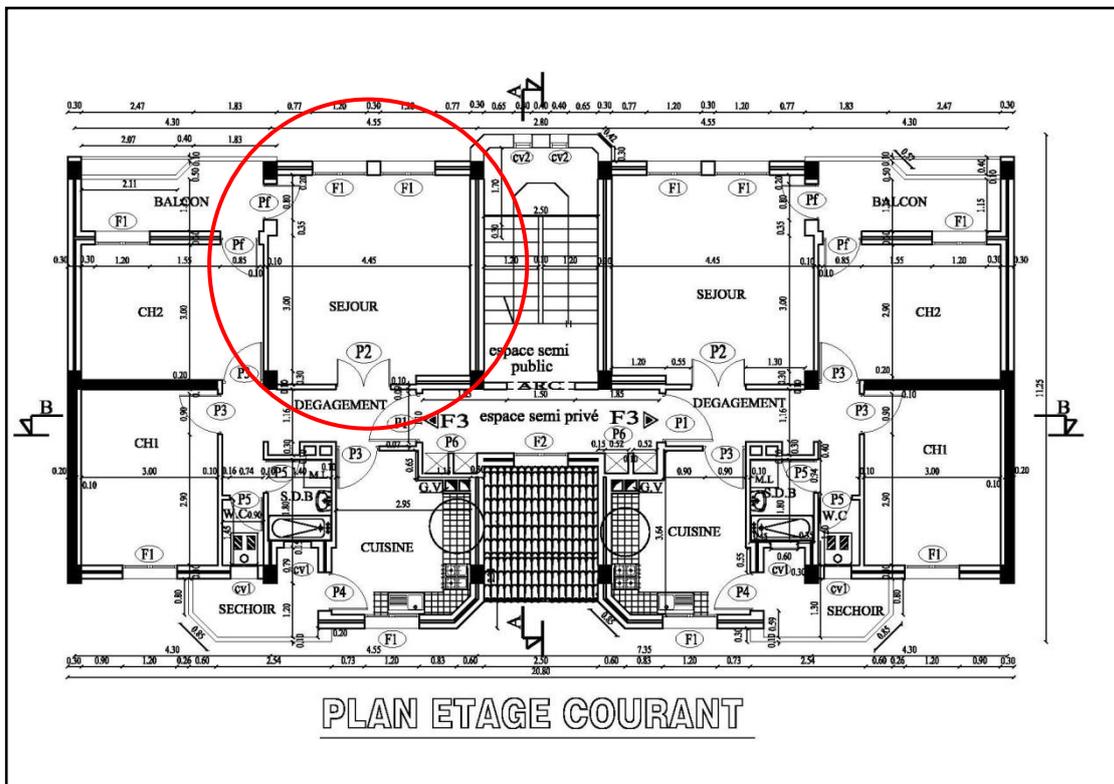
Figure 7.2 : Plan de masse.
(Source : BET CCA, 2011)



Figure 7.3 : Photos prises du site.
(Source : Auteur, 2011)



*Figure 7.4 : Plan RDC d'un logement collectif à Jijel.
(Source : BET CCA, 2011)*



*Figure 7.5: Plan étage courant d'un logement collectif à Jijel.
(Source : BET CCA, 2011)*

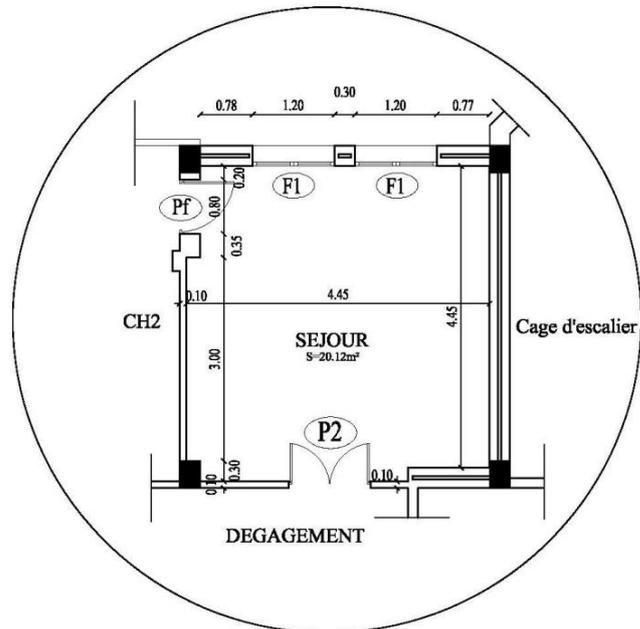


Figure 7.6 : Zoom sur le séjour.
(Source : Auteur, 2012)

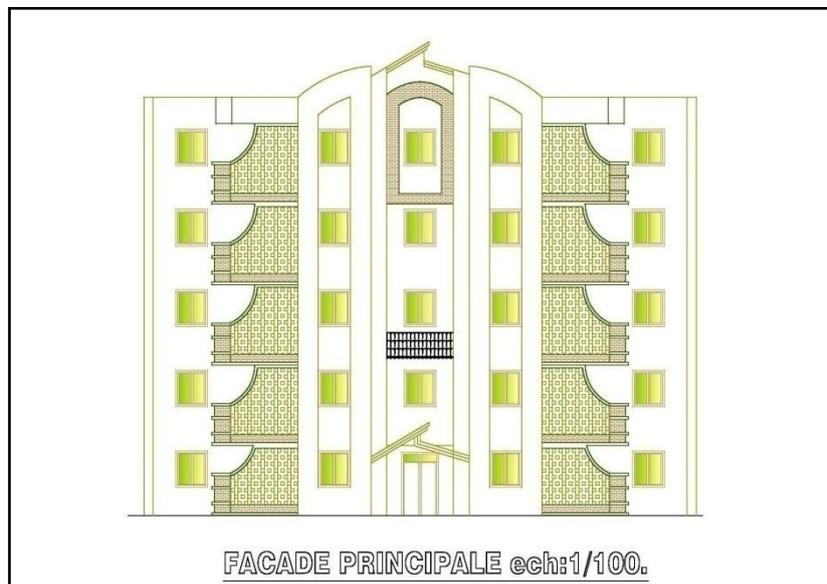


Figure 7.7 : Façade postérieure d'un logement collectif à Jijel.
(Source : BET CCA, 2011)

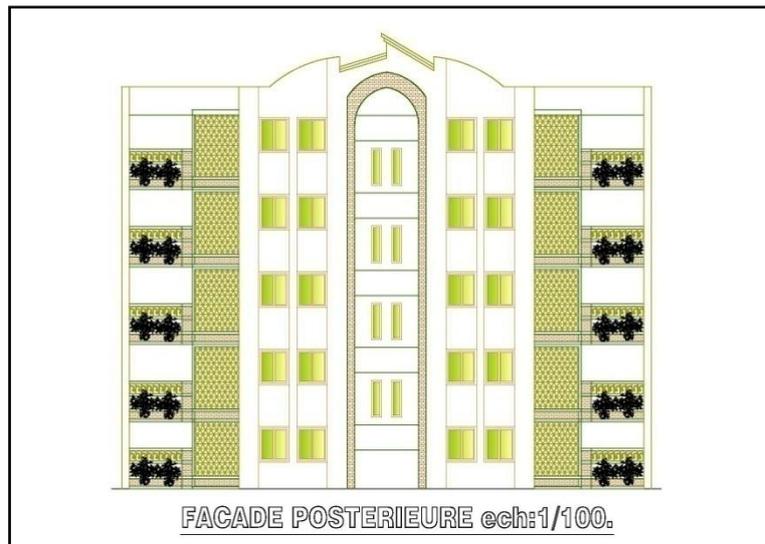


Figure 7.8 : Façade postérieure d'un logement collectif à Jijel.

(Source : BET CCA, 2011)

VII.1.2. Caractéristiques des matériaux et composition des murs :

Les matériaux constituent les ingrédients essentiels pour la troisième (peau) à savoir l'enveloppe - intérieure ou extérieure, verticale ou horizontale - de notre espace de vie. L'objectif de ces matériaux, outre leur rôle structurel et esthétique, est de créer une qualité d'ambiances et de confort intérieur agréable par rapport à l'environnement extérieur.

A ce titre, la nature et la texture de matériaux des façades et/ou parois participent considérablement à la définition de cette qualité. Le degré de leur influence dépend effectivement de leurs caractéristiques diverses vis-à-vis des facteurs climatiques, en particulier du rayonnement solaire (l'ensoleillement). Il s'agit des caractéristiques physiques propres à chaque matériau, telles que la conduction thermique, l'absorption de la lumière, sa transmission, sa réflexion, l'inertie thermique, la résistance thermique, etc. (Haj Hussein, 2012).

Les édifices algériens sont pour la plupart érigés avec une structure en béton armé et un remplissage en maçonnerie. Ce modèle sert tant pour des constructions résidentielles que tertiaires.

Pour un bâtiment de ce type, les transferts thermiques entre l'intérieur et l'extérieur se produisent dans leur grande part à travers les éléments de remplissage de la structure,

comme les murs et les fenêtres, que forme ce que l'on appelle l'enveloppe du bâtiment. Dans le modèle d'immeuble utilisé dans cette étude nous avons considéré pour la détermination des comportements thermiques, seulement les matériaux qui constituent cette enveloppe.

Ces matériaux, combinés correctement en diverses couches et épaisseurs, forment différents types de murs et planchers qui sont considérés dans les simulations.

VII.1.3. Caractéristiques des ouvertures :

Pour la typologie d'immeuble considérée, la pratique algérienne utilise largement les profilés en bois comme fermetures des surfaces vitrées, et sont composées de verre simple de transparence normale (> 90%).

Pour le calcul des débits d'air résultants en ventilation naturelle (quand les fenêtres sont totalement ouvertes) la surface d'ouverture (concernant l'air) représente la totalité de l'embrasure de la fenêtre.

Néanmoins, en ce qui concerne les simulations de lumière naturelle, toute la surface est considérée comme vitrée, en ne décomptant que la surface des profilés. Les coefficients locaux de pression utilisés dans le calcul des débits d'air dû à la ventilation naturelle, ont été calculés par rapport à la position des fenêtres sur la façade de l'immeuble.

VII.1.4. Les données climatologiques de la région de Jijel :

La connaissance des conditions climatiques est fondamentale pour la simulation d'un immeuble, parce que le climat décrit les conditions externes qui agissent sur le bâtiment, en influençant son comportement thermique, lumineux et sa consommation d'énergie.

En termes d'outils de simulation numérique, les conditions climatiques interviennent comme données d'entrée.

Ces données sont, généralement, les températures et l'humidité de l'air, les conditions de vent et les niveaux de radiation solaire incidents sur l'enveloppe du bâtiment.

Ces données sont généralement des tableaux fournis grâce aux stations météorologiques. Néanmoins, il est nécessaire de traiter, préliminairement, les données climatologiques, pour qu'elles puissent être utilisées dans les simulations. Ainsi, il y a quelques méthodologies qui ont été développées avec l'intention de préparer une base de données climatiques d'utilisation aisée.

La ville de Jijel est sous l'influence directe de la mer Méditerranée. La zone d'étude à laquelle il appartient est caractérisée par un bioclimat méditerranéen humide à variante douce, très pluvieuse. La présence des hautes montagnes des Babors le caractérise par un volume important de précipitations pendant les saisons pluviales, la belle saison chaude mais sans excès ne connaît par contre que de rares pluies, des températures agréables allongent la saison balnéaire de mai à octobre avec des variations mensuelles de 19° à 26°C.

Tableau 7.1 : Données de positionnement de la ville de Jijel. (Source : O.N.M)

Données générales		
La latitude	L'altitude	La longitude
36°48' N	08m	05°53' E

- **Les températures :**

Les températures de la zone côtière connaissent un adoucissement grâce à la présence d'une végétation abondante d'eau vive et de la mer. La température annuelle moyenne sur la cote est de 18.2°C (Figure 7.9).

La moyenne maximale correspond au mois d'août avec 26°C et la moyenne minimale au mois de janvier avec 11°C.

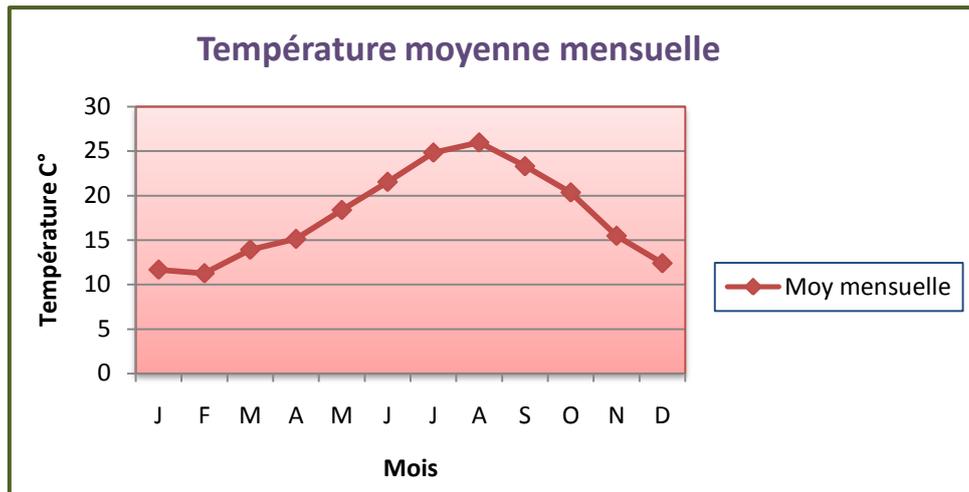


Figure 7.9 : courbe d'évolution des températures moyennes mensuelles.

(Source : O.N.M)

- **L'humidité :**

Les valeurs sont relativement homogènes, quoique les variations soient très petites entre les différentes valeurs, nous notons un maximum au mois d'août (78.6%) et un minimum en janvier (71.5%).

- **Les vents :**

Les vents sont de faible intensité, les vents dominants sont d'ouest, leur fréquence est de 116j/an répartis essentiellement durant la mauvaise saison entre octobre et avril, pendant la saison estivale les vents les plus fréquents sont ceux de l'est avec une période moyenne de 78j/an de juin à septembre (Figure 7.10).

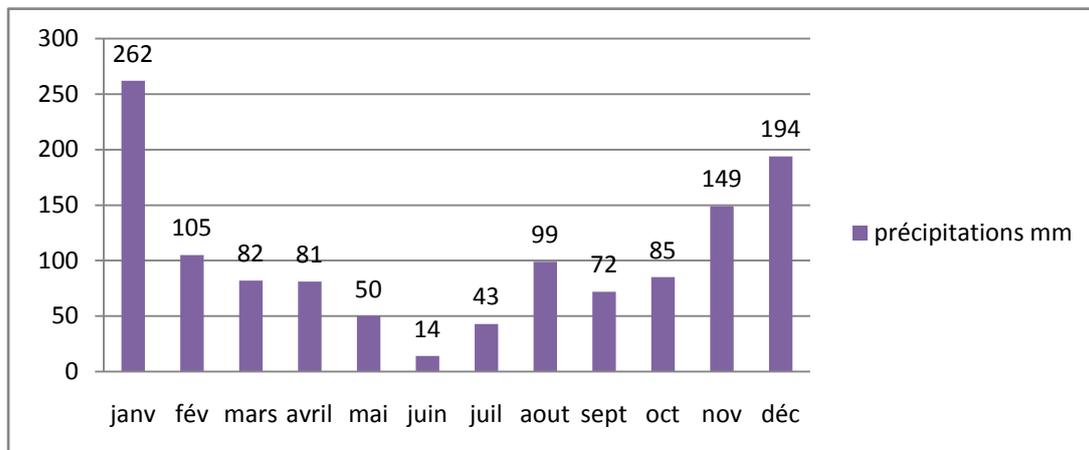


Figure 7.10 : Moyennes mensuelles de la vitesse du vent (1985-2004).

(Source : O.N.M)

- **Les précipitations :**

Les pluies se manifestent essentiellement en automne et en hiver. Les précipitations y sont abondantes aux mois de décembre, janvier et février et sont quasiment nulles aux mois de juin, juillet et août (Figure 7.11).

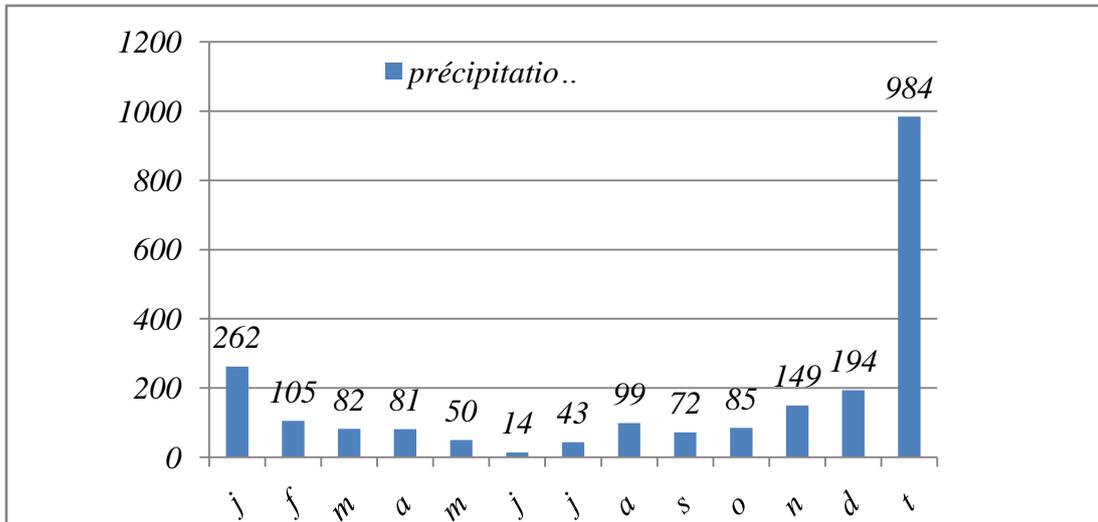


Figure 7.11: Moyennes mensuelles des précipitations (1985-2004).

(Source : O.N.M)

Le maximum est atteint au mois de décembre avec 162.3 mm et le minimum au mois de juillet avec 2.6 mm. La hauteur annuelle moyenne de 1200 mm à Jijel fait de la ville de Jijel l'une des régions les plus arrosées du pays.

- **La durée d'insolation :**

Elle est exprimée en heure et traduit la durée du rayonnement solaire, le maximum atteint au mois de juillet avec une durée de 325 heures d'insolation et le minimum au mois de décembre avec 136 heures d'insolation.

VII.2. Techniques de recherche:

L'étude de cas fait appel à un ensemble généralement diversifié de techniques de recherche comme, l'expérimentation, le sondage, le questionnaire pour la collecte des données. Pour notre recherche nous avons utilisé les techniques suivantes :

VII.2.1. Technique d'expérimentation par simulation :

En possédant un modèle numérique descriptif de la construction, d'un modèle pour le climat, et d'un modèle d'occupation/utilisation de l'immeuble, un ensemble de simulations peut être réalisé par ECOTECT pour obtenir des résultats qui permettent de fournir des indications sur le comportement du cas d'étude.

Une fois ces résultats obtenus, nous avons cherché à les analyser par la méthode ELECTRE qui permet de décrire par quelques courbes, les tendances des comportements de la baie en fonction des paramètres de conception. Les règles expertes sont des fonctions qui relient une caractéristique de la construction à la réponse comportementale de l'immeuble, comme la consommation d'énergie ou le confort thermique. En termes de projet, ces réponses représentent la performance de l'immeuble selon un certain critère.

Pour cela, nous devons réaliser les simulations de telle façon que les résultats puissent être utiles pour cette fin. L'approche possible pour atteindre ces objectifs est de construire les simulations grâce à une étude paramétrique sur le modèle du bâtiment représentatif de la typologie choisie.

Nous avons élaboré des groupes de simulations de telle façon que dans chaque groupe nous avons considéré seulement la variation de la forme et dimension des ouvertures, en laissant tous les autres paramètres constants. Néanmoins, pour isoler l'importance du paramètre choisi, il est nécessaire de considérer les autres combinaisons possibles de valeurs pour chacun des autres paramètres. Le nombre de ces combinaisons dépend du nombre de paramètres et du nombre de « pas » utilisés dans la variation de chacun d'eux. Dans ce travail, nous avons fait les choix suivants :

1) L'orientation de l'immeuble :

L'orientation d'un bâtiment est la direction vers laquelle les façades font face par rapport à un point cardinal. Le facteur d'orientation ne se borne pas uniquement à une question d'implantation correcte du bâtiment sur un site, mais correspond également à une organisation spatiale et fonctionnelle raisonnable du plan.

Plusieurs considérations interviennent sur le choix d'orientation des façades telles que la vue, la position par rapport aux voies, la topographie du site, les sources de nuisances et les conditions climatiques (Givoni, 1978). En fait, c'est cette dernière considération qui compte le plus dans la question de l'amélioration du confort intérieur de l'habitat. Deux variations sont validées pour la simulation, c'est-à-dire, orientation Nord-est et orientation Sud-ouest.

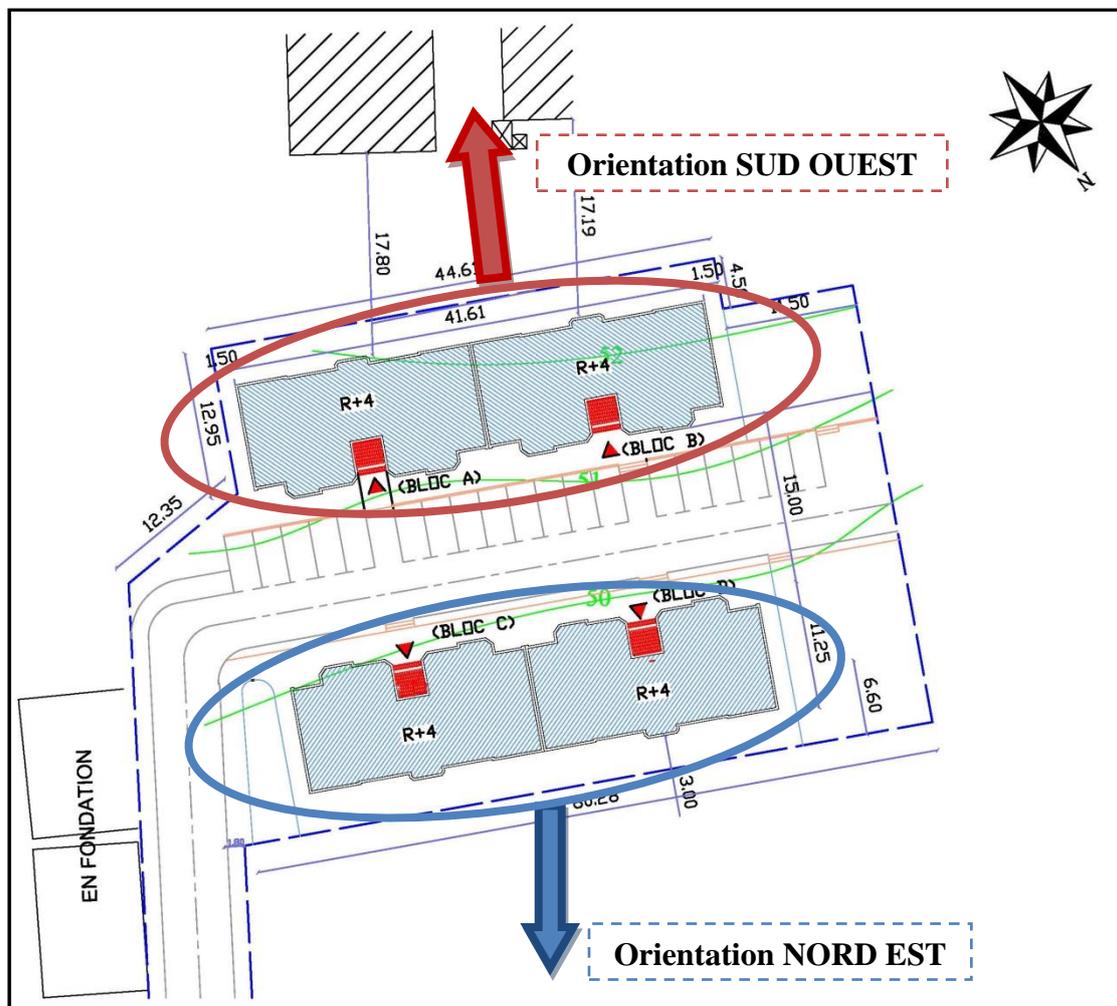


Figure 7.12 : Schéma explicatifs du choix des orientations validées pour la simulation.

(Source : Auteur, 2012)

2) Forme et surface des ouvertures :

Quatre variations selon la disposition des ouvertures ainsi que le taux d'ouverture c'est-à-dire, pourcentage des fenêtres par rapport à la surface de la façade le choix était fixé entre 25 et 100 %, avec un pas de 25% (25, 50, 75, et 100).

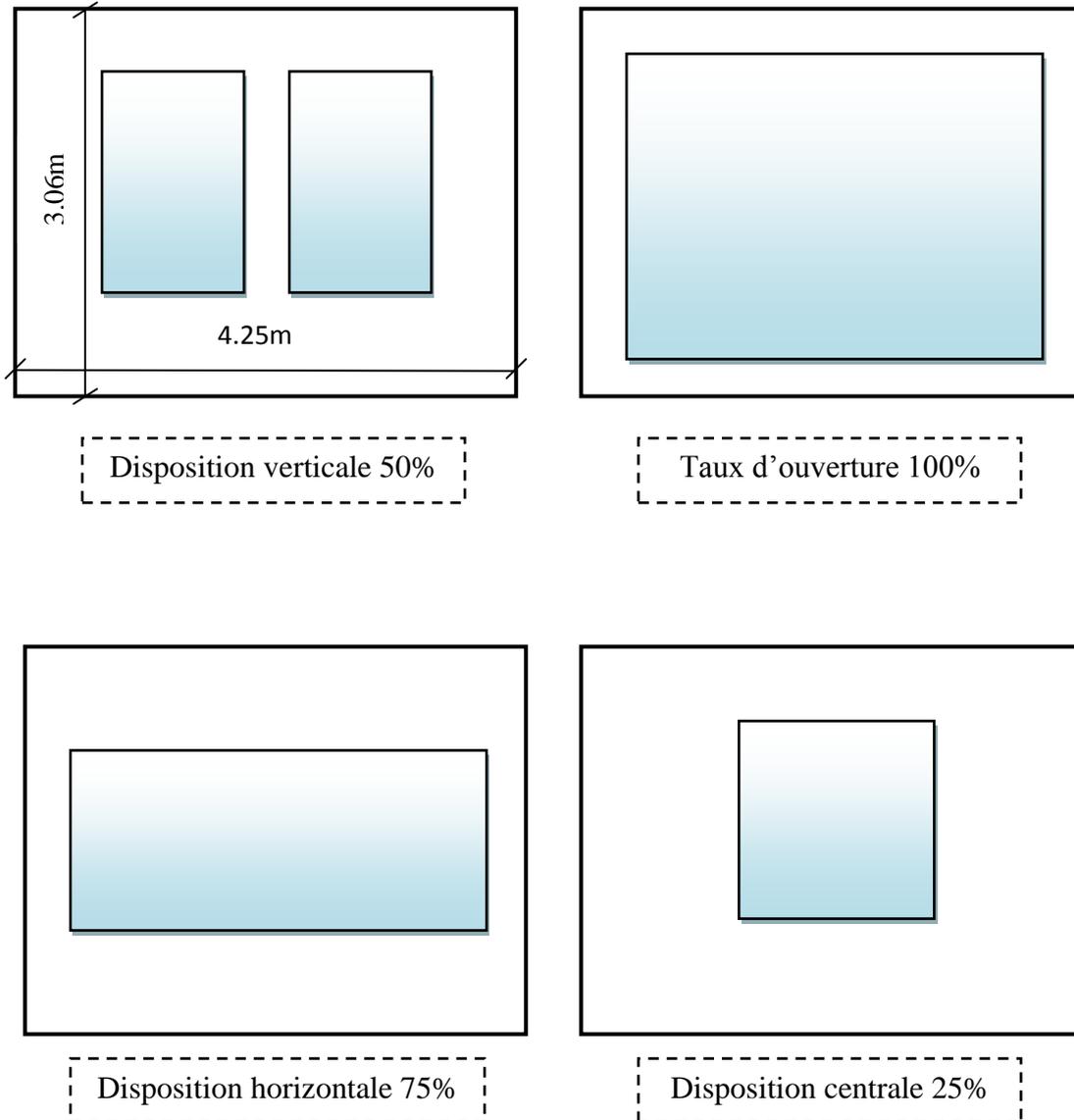


Figure 7.13 : Différentes formes validées pour la simulation.

(Source : Auteur)

3) Type de protections solaires :

Trois variations, sans protections solaires, avec protections verticales, et avec protections horizontales.

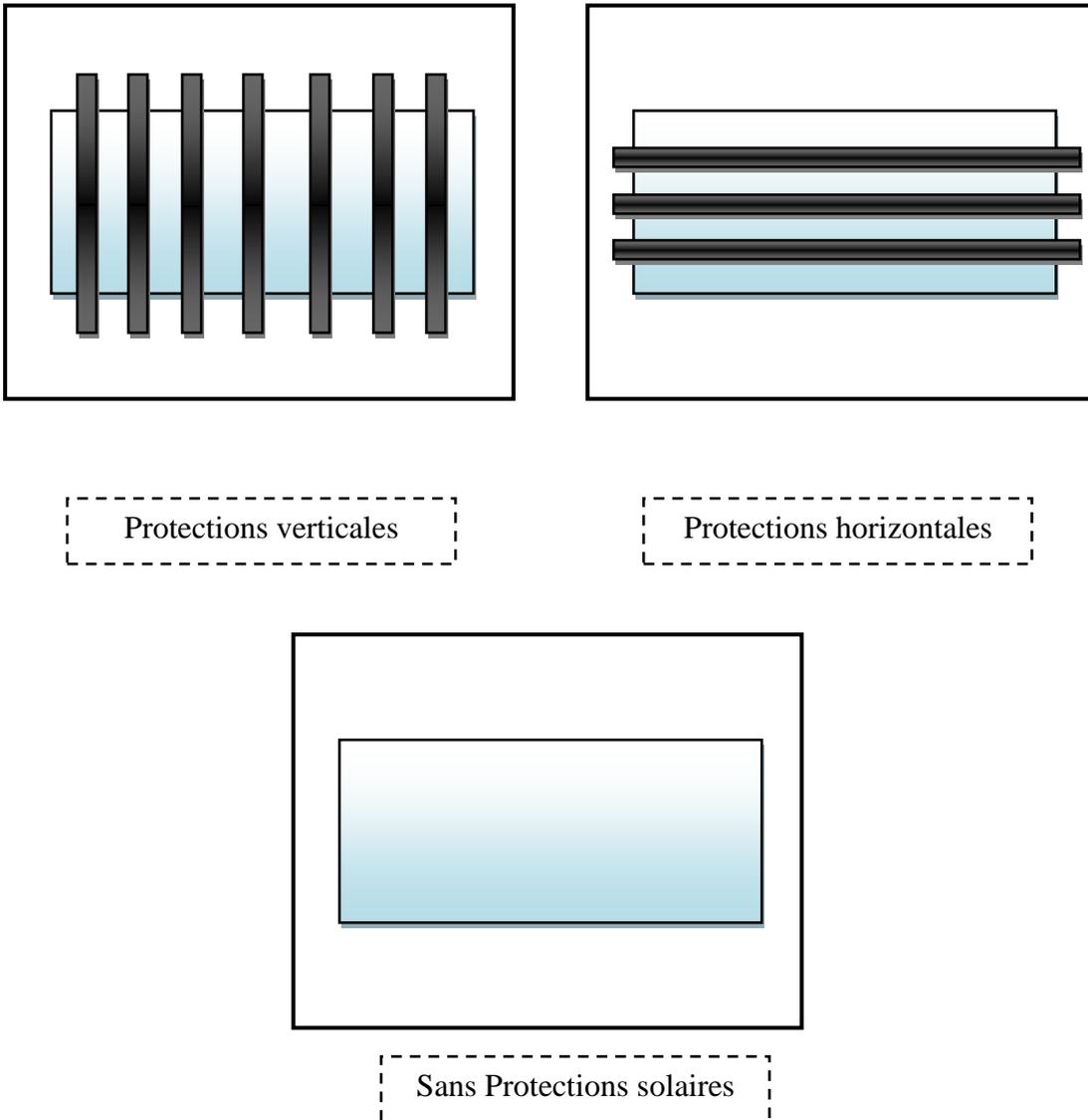


Figure 7.14 : Variations des protections solaires validées lors la simulation.

(Source : Auteur)

En total, il y a (2x4x3) variations donc en principe nous avons 24 Combinaisons de simulation pour 6 paramètres à savoir : l'éclairage naturel, l'ensoleillement, la ventilation naturelle, l'isolation phonique, la privacité, et la vue à l'extérieur.

4) Caractéristiques des matériaux de construction:

Pour les murs soit d'intérieur ou d'extérieur, nous avons suivi les normes algérienne avec un mur de 10 cm pour l'intérieur, et un double mur de 30 cm pour l'extérieur. Avec les propriétés physiques résumées dans le tableau qui suit.

Tableau 7.2 : Propriétés physiques du mur algérien. (Source : Auteur)

	Matériau	Epaisseur (mm)	Densité (kg/m ³)	Chaleur spécifique (j/kg.k)	Conductivité thermique (w/m.k)
1	Enduit ciment	20	1900	864	0.80
2	Brique ext.	150	650	1008	0.39
3	Lame d'air	50	1	1000	0.28
4	Brique int.	100	650	1008	0.39
5	Enduit plâtre	20	99	1008	0.57

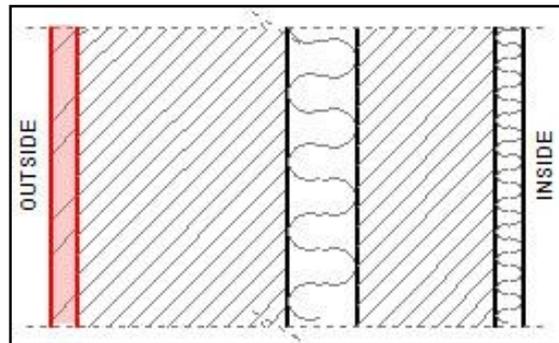


Figure 7.15 : Composition du mur extérieur (30 cm).
(Source : Auteur, 2012)

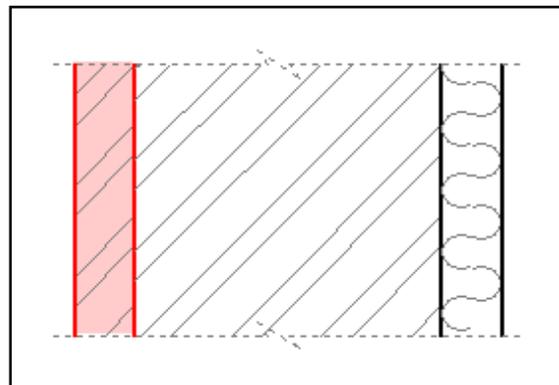


Figure 7.16 : Composition du mur intérieur (10 cm).
(Source : Auteur, 2012)

5) Objectifs de simulation:

L'objectif de simulation est d'obtenir les résultats quantitatifs sur le comportement thermique, acoustique, et visuel des différentes alternatives de conception de notre cas d'étude pour les paramètres suivants :

- L'éclairage naturel.
- Le confort thermique.
- L'isolation phonique.
- L'ensoleillement.
- La vue à l'extérieur.

Pour cette étude, l'objectif final des simulations est, donc, l'obtention des résultats pour les introduire au logiciel ELECTRE.

VII.2.2. Technique du questionnaire :

C'est une technique directe d'investigation scientifique utilisée auprès d'individus, qui permet de les interroger de façon directive et de faire un prélèvement quantitatif chiffrés. Le choix de cette technique est porté sur les avantages qu'elle offre tel que:

- Une technique peu coûteuse: Les questionnaires remplis par l'enquêteur. Il suffit de poser correctement les questions, rapidité dans l'exécution contrairement à l'observation ou à l'entrevue, un questionnaire peut se remplir en un temps relativement court, de 15 minutes à 2 heures selon l'ampleur du sujet
- Saisie des comportements non observables.
- Comparaison des réponses: Le fait de poser les mêmes questions avec les mêmes termes à différents répondants permet de comparer, de compiler des chiffres et de calculer des pourcentages en rapport avec les variables contenues dans l'hypothèse.

En effet, la simulation par le biais du logiciel ECOTECH nous permet d'obtenir des résultats pour certains paramètres de conception de la baie, mais ce n'est pas le cas pour d'autres paramètres tel que la privacité qui est un critère subjectif et difficile à

estimer. Pour cela, nous avons fait recourir à une autre technique de recherche, qui est le questionnaire.

L'objectif du questionnaire est de pouvoir mesurer qualitativement la privacité pour chaque cas de notre recherche. Pour cela nous avons passé par les étapes suivantes:

1) L'échantillonnage:

Notre travail a pour support de base les résidents des bâtiments de notre cas d'étude, à savoir les 40 logements promotionnels.

L'enquête s'est appuyée sur un échantillon qui se réduit à 60 habitants, qui ont accepté de participer à ce travail, un échantillon qui est composé comme suit :

Tableau 7.3 : l'échantillonnage. (Source : Auteur)

L'échantillon (60 habitants)		
Tranche d'âge	Homme (30)	Femme (30)
De 15 - 25 ans	10	10
De 26 - 40 ans	10	10
Plus de 40 ans	10	10

2) L'élaboration du formulaire de questions:

L'objectif de ce formulaire est de retirer les observations des habitants concernant le critère « privacité ». Pour atteindre cet objectif, nous avons réalisé des vues à l'intérieur du séjour pour nos 24 alternatives de conception à l'aide du logiciel ECOTECT. Ces vues sont réalisées par l'utilisation de la caméra du logiciel au centre de la pièce en regardant les ouvertures. En suite, nous avons intégré l'arrière plan (la vue à l'extérieur) en utilisant Photoshop, pour pouvoir insérer la vue dans les ouvertures sans déformer l'image.

En fin, nous avons imprimé les images sur papier A3 (échelle : 1/20), avec une autre feuille jointe pour marquer l'observation de l'individu.

Pour évaluer l'observation des habitants en ce qui concerne la privacité, nous avons utilisé l'échelle de mesure Likert. En quelque sorte, Likert soumet directement aux sujets dont il souhaite mesurer l'attitude, des propositions à juger selon une échelle prédéterminée, du type: Tout à fait d'accord - D'accord - Sans avis - En désaccord - Tout à fait en désaccord. Le nombre des modalités possibles peut varier (généralement de 3 à 7), mais correspond le plus souvent à un nombre impair de manière à ménager une modalité relativement neutre ou non polarisée au centre de l'échelle. Le nombre de modalités proposées est fonction à la fois de la précision souhaitée, mais aussi de la capacité présumée des sujets à effectuer des discriminations fines, un trop grand nombre de catégories n'entraînant pas nécessairement une augmentation de la précision (Anderson, 1990).

Pour notre recherche, le nombre des modalités possible est de sept, pour plus de précision. D'une manière générale donc, les habitants sont invités, pour chacun d'eux, à émettre un jugement, c'est à dire à marquer leur degré relatif d'accord en indiquant une croix dans la colonne qui convient en regard de chacune des propositions (Voir annexes: Formulaire de questions).

VII.2.3. Technique du sondage :

Cette technique est utilisée pour déterminer les coefficients de pondération des critères, pour les introduire dans le logiciel ELECTRE.

En effet, le sondage est orienté aux architectes, pour la simple raison que ce sont eux les mieux expérimentés pour donner les poids de chaque critère de notre étude.

Nous avons pu effectuer le sondage au près de quarante architectes (enseignants, chercheurs, BET) au niveau de la wilaya de Jijel. Le formulaire du sondage est présenté dans les annexes (voir annexes : Sondage)

VII.2.4. Synthèse:

En total, nous avons vingt quatre combinaisons de simulation pour six paramètres (figure 7.17). Tandis que pour le modèle d'analyse finale est clairement défini dans la figure 7.18.

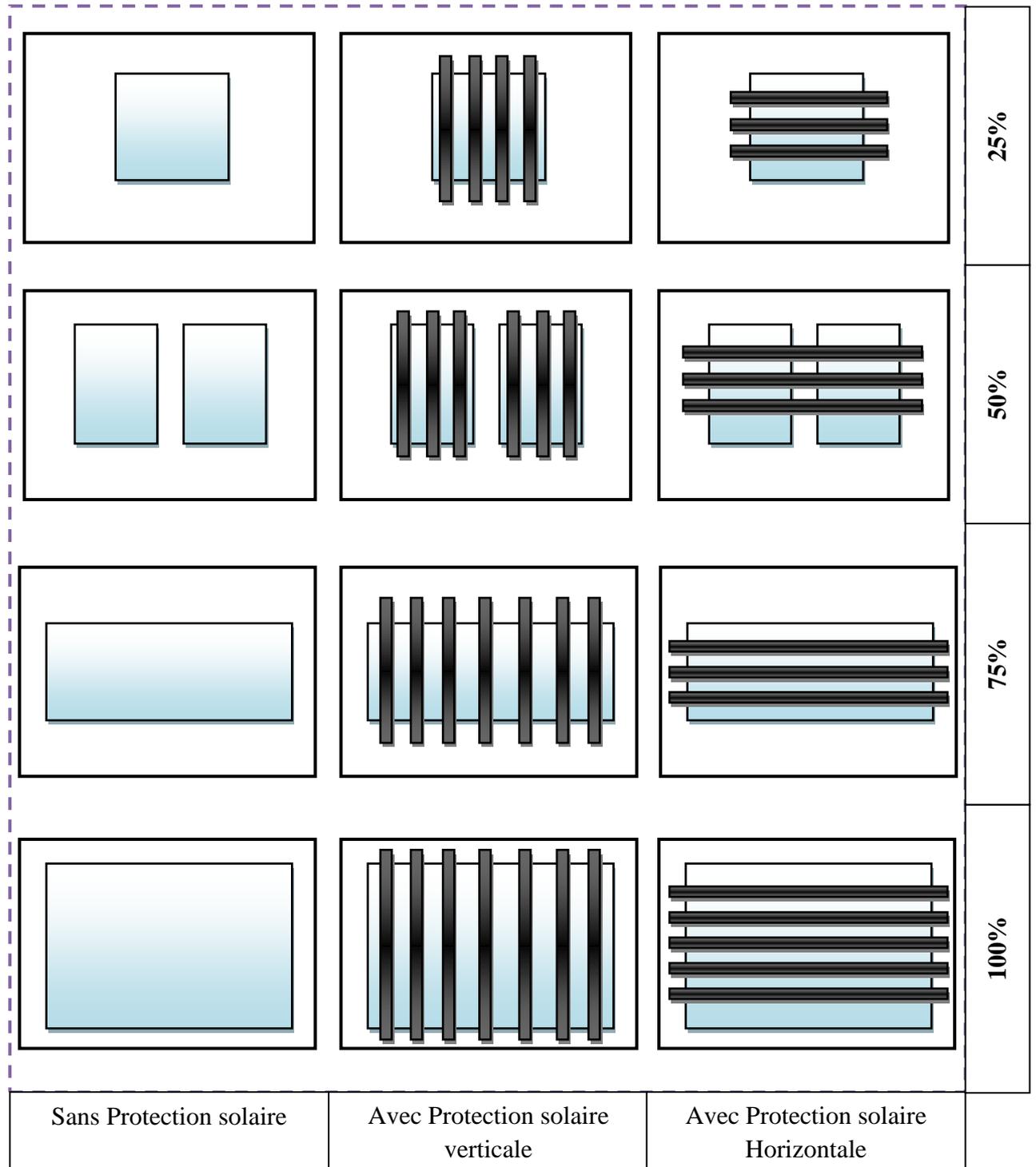


Figure 7.17 : Combinaisons possibles pour l'étude.
(Source : Auteur, 2012)

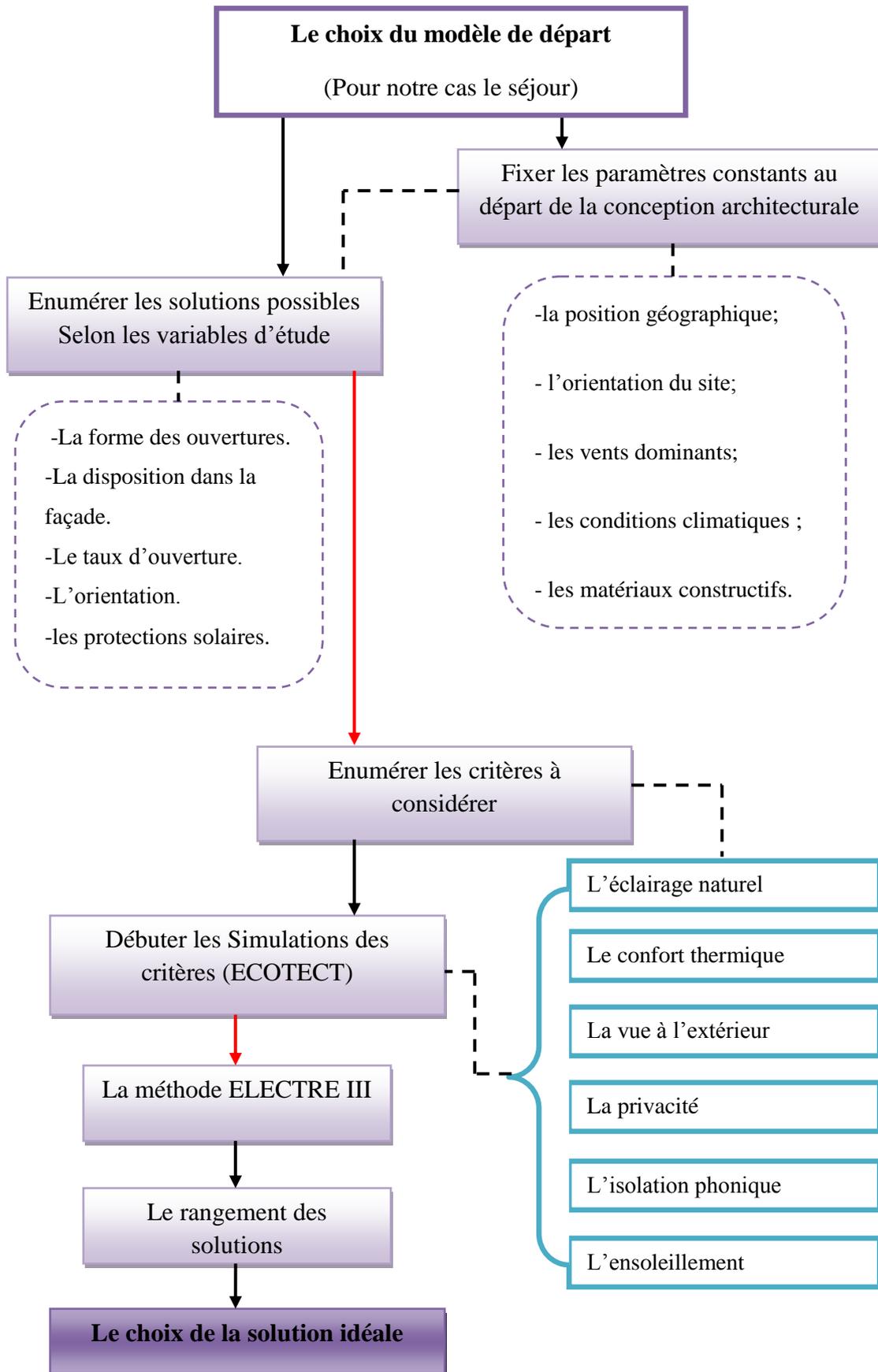


Figure 7.18: Proposition du modèle d'analyse.
(Source: Auteur)

Conclusion :

Le modèle d'analyse (figure 7.18) adopté pour cette recherche consiste premièrement à choisir le modèle de départ qui représenté pour notre cas d'étude par le séjour d'une habitation (Jijel). La deuxième étape consiste à fixer les paramètres constants pour la conception de la baie à savoir :

- la position géographique, pour notre cas c'est la ville de Jijel.
- l'orientation du site, on a choisie deux orientations différentes.
- les vents dominants.
- les conditions climatiques.
- les matériels constructifs.

L'étape suivante consiste à énumérer les alternatives (solutions conceptuelles) possibles en modifiant les variables suivantes : La forme des ouvertures, la disposition dans la façade, le taux d'ouverture, l'orientation, et les protections solaires.

En suite, et suivant les critères qui agisse sur la performance énergétique des ouvertures, nous exécutons les simulations par le logiciel Ecotect, sachant que pour les simulations de tous les critères nous considérons toute l'année, sauf pour l'ensoleillement où on a les deux périodes : période d'été représenté par 21 juin (solstice d'été) et période d'hiver représentée par 21 décembre (solstice d'hiver).

Donc, cinq paramètres seront simulés par Ecotect, et un seul paramètre (la privacité) sera estimé par la technique du questionnaire.

En introduisant les données obtenues lors de la simulation et le questionnaire dans le logiciel Electre, ce dernier nous permettra de prendre une décision finale sur la solution optimale.

CHAPITRE N°8

SIMULATION DES PARAMETRES AVEC ECOTECH

CHAPITRE N°08:

Simulation des paramètres avec ECOTECT

“En fait, la traduction exacte de l’expression d’Alberti est « fenêtre ouverte sur l’histoire ». On se permet de conserver la traduction erronée – mais proverbiale – puisque, dans le cas qui nous occupe, qu’il s’agisse du « monde » ou de l’« histoire » ne change rien à l’affaire : il s’agit de voir quelque chose à travers la fenêtre.”

Duchamp et Friedrich

Introduction:

Ce chapitre est consacré pour les simulations des différents paramètres agissant sur la conception de la baie déjà illustrés dans les chapitres précédents. En présentant à la fin de ce chapitre un tableau récapitulatif pour l’ensemble des résultats obtenus.

Il est très essentiel de signaler que les simulations avec le logiciel ECOTECT, prennent en considération les points suivants :

- La ventilation est considérée naturelle.
- Pour l’enseillement, la période d’été est représentée par le jour le plus chaud de l’année à savoir le 21 juin, et la période d’hiver est représentée par le jour le plus froid de l’année à savoir le 21 décembre (le solstice d’été et d’hiver).
- La période considérée pour les calculs de l’enseillement est entre : 08h-21h, en estimant que c’est la période d’activité pour le séjour.
- la privacité est mesurée par rapport à la vue à l’extérieur puisque ces deux paramètres sont contradictoires. C’est-à-dire lorsque la vue à l’extérieure est considérée très ouverte signifie automatiquement que la privacité est considérée faible.
- Pour la simulation de l’isolation phonique, nous avons considéré que la rue est d’une activité moyenne au niveau sonore. Un niveau de bruit estimé à 85 dB.

VIII.1. Codification des cas d'analyse:

Le présent chapitre a pour finalité de présenter les résultats des simulations des différents paramètres qui influencent la conception de la baie.

Les résultats sont obtenus grâce aux simulations sur le modèle du bâtiment et d'une comparaison entre les comportements de l'immeuble pour les périodes d'été et d'hiver pour 24 combinaisons distinctes de conception qu'on a vue dans le chapitre N°07.

La première étape à faire avant d'entamer les simulations est de réaliser une codification des différents cas ou modèles d'analyse pour faciliter la tâche et pour éviter que les résultats se mélangent entre eux. La codification se fait comme suit :

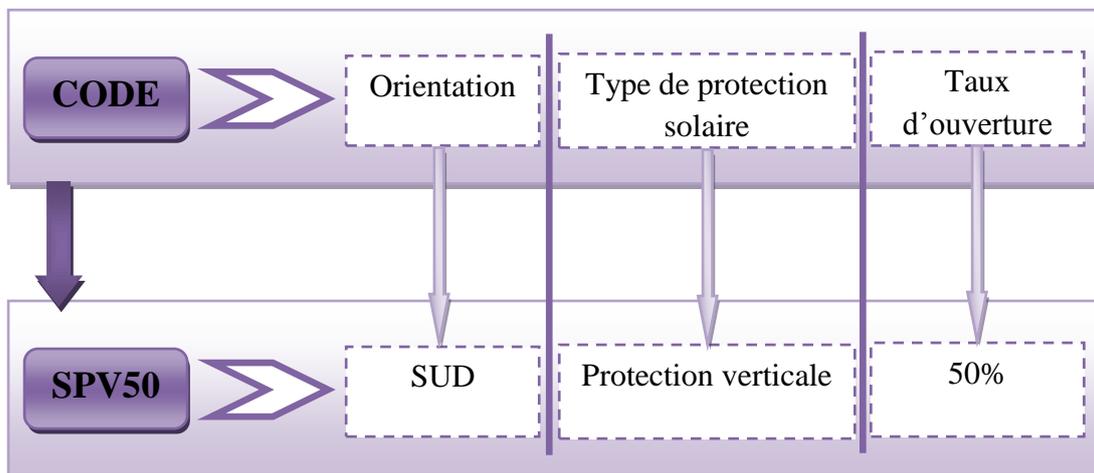


Figure 8.1 : Exemple de codification.

(Source : Auteur)

En total, nous avons 24 combinaisons, et le tableau 8.1 qui suit résume tous les cas et modèles d'analyse qu'on va utiliser pour la simulation des différents paramètres de confort.

Tableau 8.1 : codification des différents modèles d'analyse.*(Source : auteur).*

Surface du vitrage	Orientation	Protection solaire	CODES	N°
25%	NORD	Sans protection	N25	01
		Protection verticale	NPV25	02
		Protection horizontale	NPH25	03
	SUD	Sans protection	S25	04
		Protection verticale	SPV25	05
		Protection horizontale	SPH25	06
50%	NORD	Sans protection	N50	07
		Protection verticale	NPV50	08
		Protection horizontale	NPH50	09
	SUD	Sans protection	S50	10
		Protection verticale	SPV50	11
		Protection horizontale	SPH50	12
75%	NORD	Sans protection	N75	13
		Protection verticale	NPV75	14
		Protection horizontale	NPH75	15
	SUD	Sans protection	S75	16
		Protection verticale	SPV75	17
		Protection horizontale	SPH75	18
100%	NORD	Sans protection	N100	19
		Protection verticale	NPV100	20
		Protection horizontale	NPH100	21
	SUD	Sans protection	S100	22
		Protection verticale	SPV100	23
		Protection horizontale	SPH100	24

VIII.2. Résultats des Simulations des paramètres avec ECOTECH:

Nous avons au total cinq paramètres à simuler avec ECOTECH à savoir :

- 1- l'éclairage naturel présenté par le facteur de la lumière du jour,
- 2- l'insolation (l'ensoleillement) déterminé par nombre d'heurs d'ensoleillement.
- 3- L'isolation phonique.
- 4- La vue à l'extérieur.
- 5- Le confort thermique présenté par le taux de confort en général.

VIII.2.1. Combinaison N°1 (N25) :

1) L'éclairage naturel :

Répartition hétérogène de l'éclairage naturel.

FLJ moyen est de 0.3%.

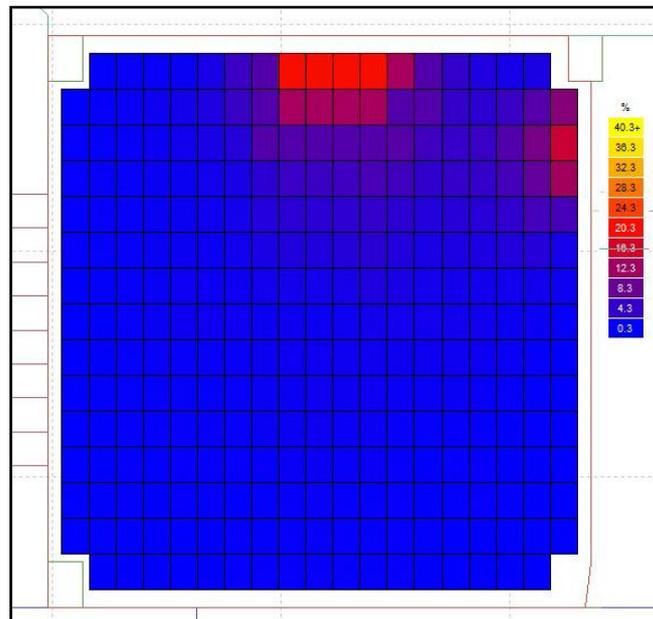


Figure 8.2 : Eclairage naturel pour le cas N25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

2) L'enseillement :

L'insolation au niveau de la salle est mal répartie au mois de décembre.

Un niveau d'insolation peu élevé au mois de juin.

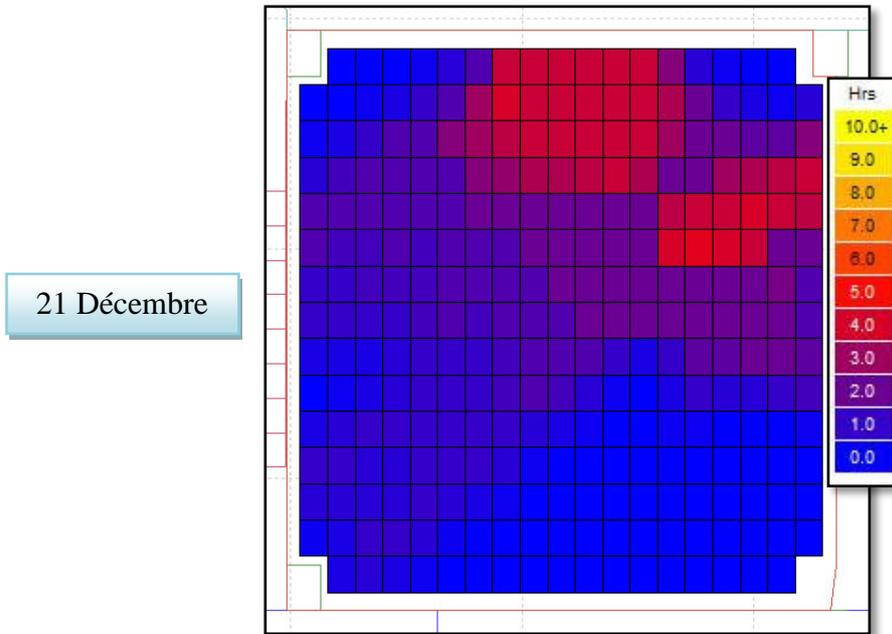


Figure 8.3 : L'enseillement en hiver pour le cas N25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

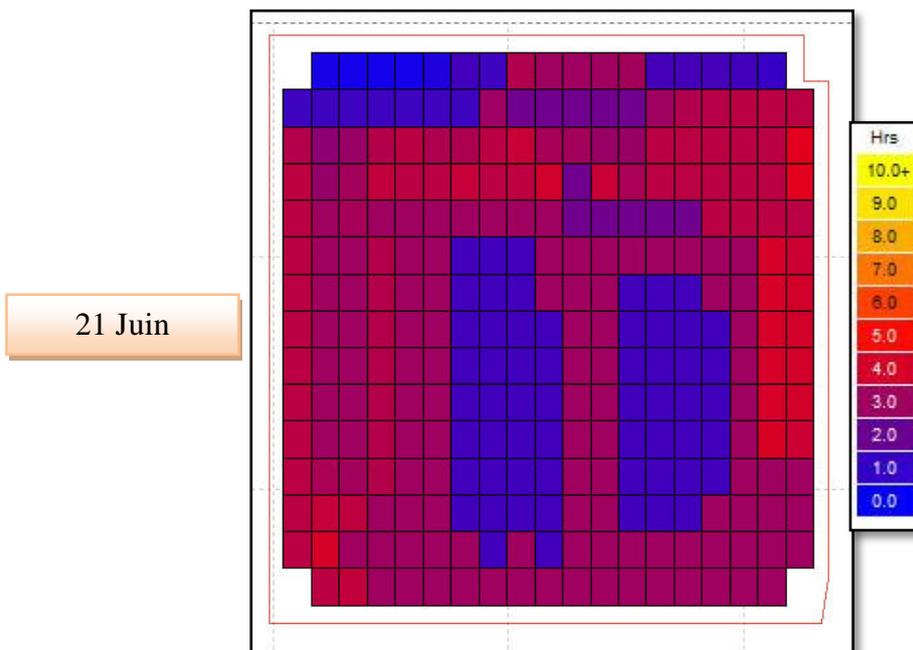


Figure 8.4 : L'enseillement en été pour le cas N25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

3) L'isolation phonique :

Le niveau de l'isolation phonique est bon pour ce cas là, et on peut résumer que le taux d'ouverture est faible donc une bonne performance acoustique.

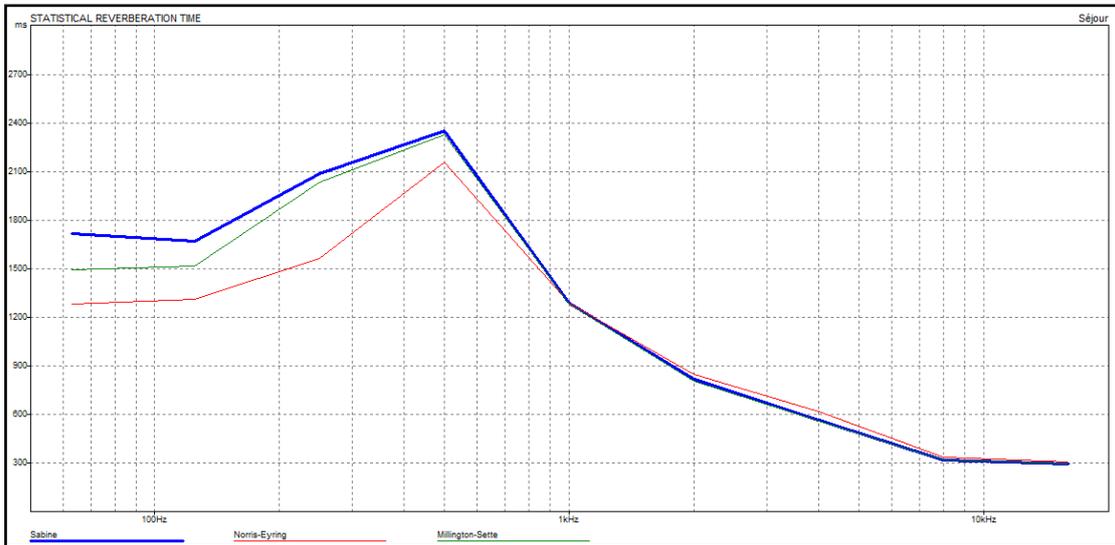


Figure 8.5 : Résultat acoustique pour le cas N25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

4) La vue à l'extérieur :

Avec un taux d'ouverture de 25%, la vue à l'extérieur est presque absente. Cet résultat concerne aussi le calcul de visibilité.

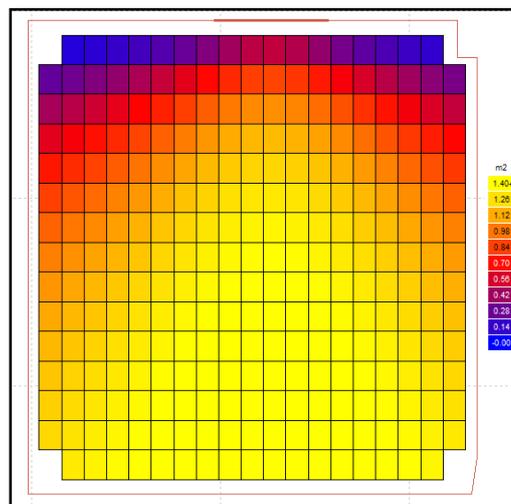


Figure 8.6 : Résultat vue à l'extérieur pour le cas N25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

5) Le confort thermique :

La bande de confort est : [18°C-26°C].

Le pourcentage du confort est de : 49.40%

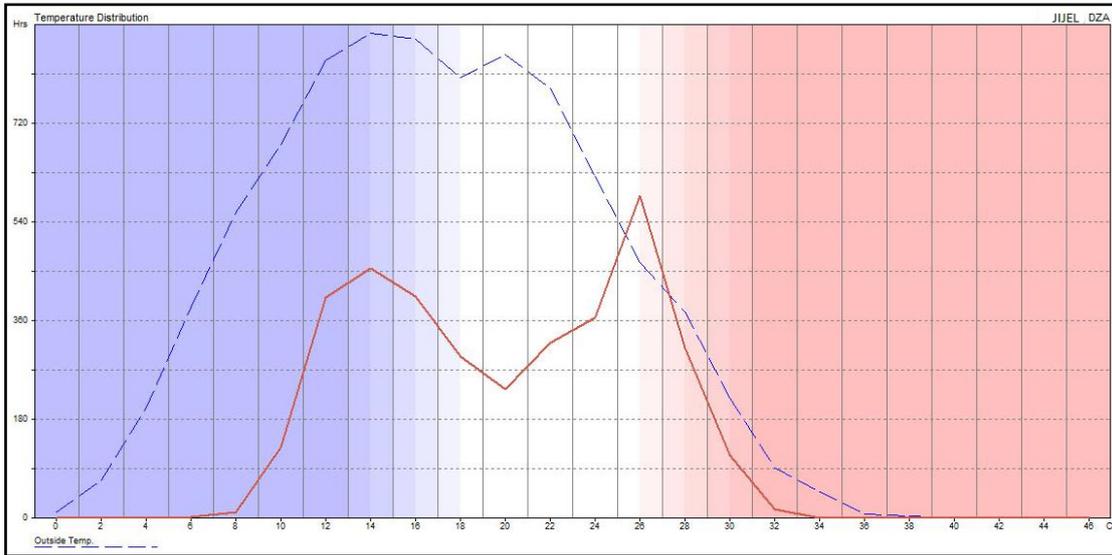


Figure 8.7 : Résultat du confort thermique pour le cas N25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

VIII.2.2. Combinaison N°2 (NPV25) :

1) L'éclairage naturel :

Répartition hétérogène de l'éclairage naturel.

FLJ moyen est de 0.2%.

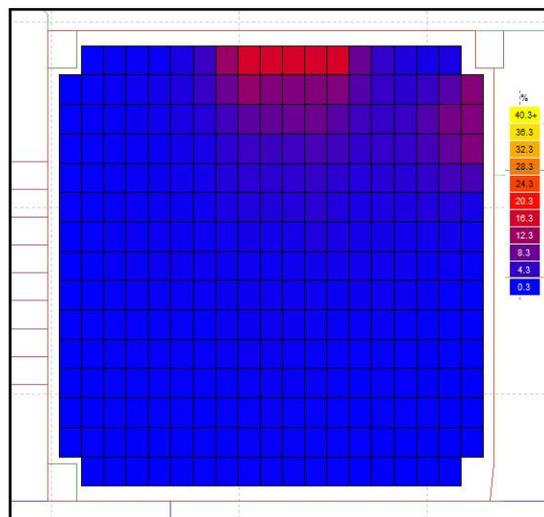


Figure 8.8 : Eclairage naturel pour le cas NPV25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

2) L'enseillement :

Une répartition hétérogène de l'insolation à travers la pièce, et un niveau d'insolation bas au mois décembre au niveau. Un niveau d'insolation modéré et une répartition plutôt homogène au mois de juin.

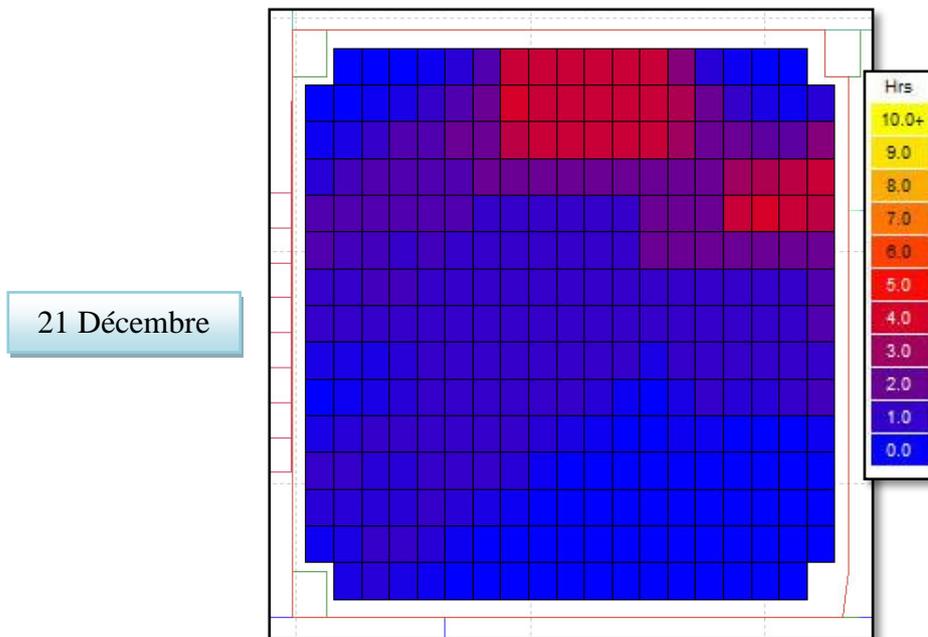


Figure 8.9 : L'enseillement en hiver pour le cas NPV25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

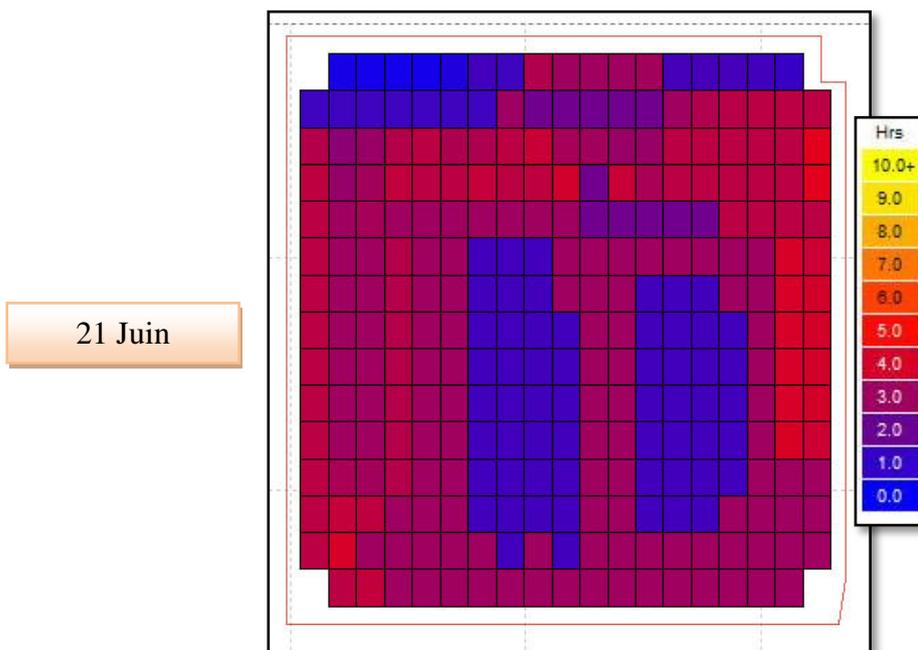


Figure 8.10 : L'enseillement en été pour le cas NPV25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

3) L'isolation phonique :

Le niveau de l'isolation phonique est bon pour ce cas là, et on peut résumer que le taux d'ouverture est faible donc une bonne performance acoustique.

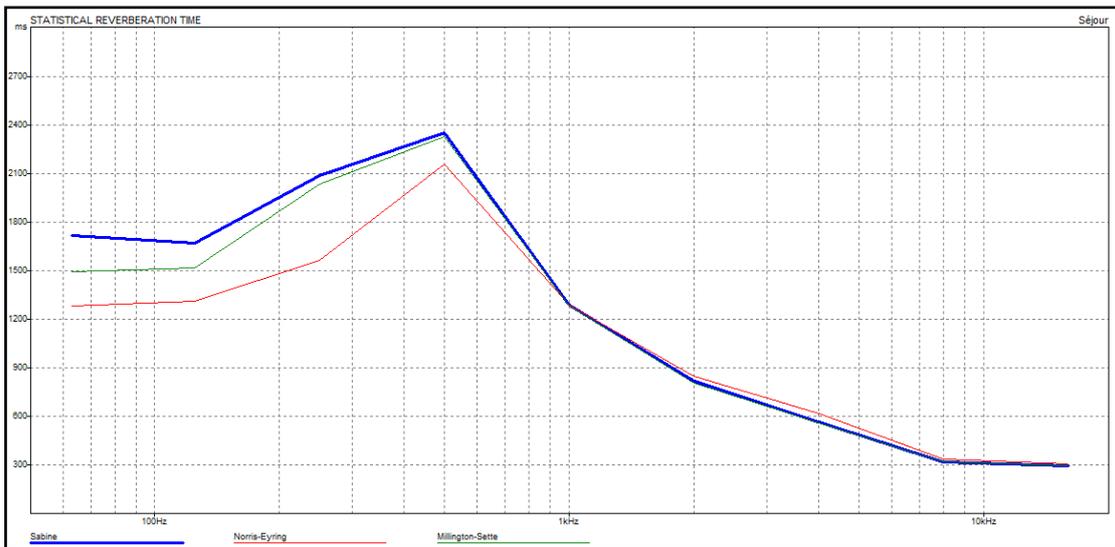


Figure 8.11 : Résultat acoustique pour le cas NPV25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

4) La vue à l'extérieur :

Avec un taux d'ouverture de 25%, en plus la protection solaire. La vue à l'extérieur n'est pas considérable.

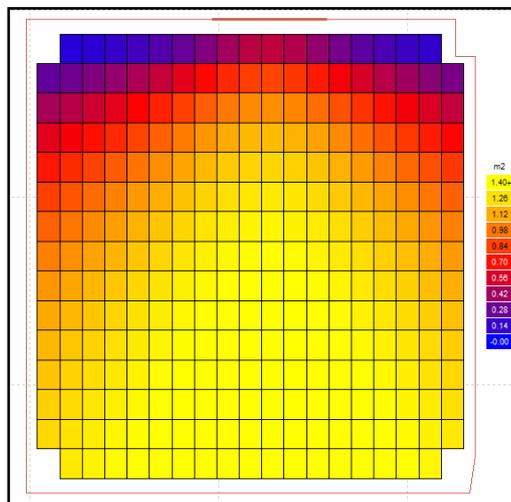


Figure 8.12 : Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPV25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

5) Le confort thermique :

La bande de confort est : [18°C-26°C].

Le pourcentage du confort est de : 49.00%

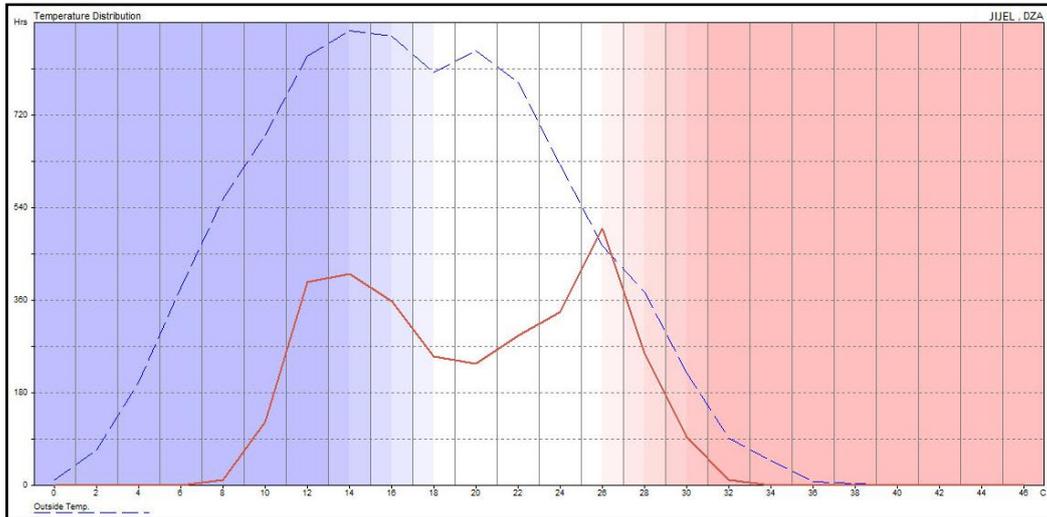


Figure 8.13 : Résultat du confort thermique pour le cas NPV25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

VIII.2.3. Combinaison N°3 (NPH25) :

1) L'éclairage naturel :

Répartition hétérogène de l'éclairage naturel.

FLJ moyen est de 0.2%.

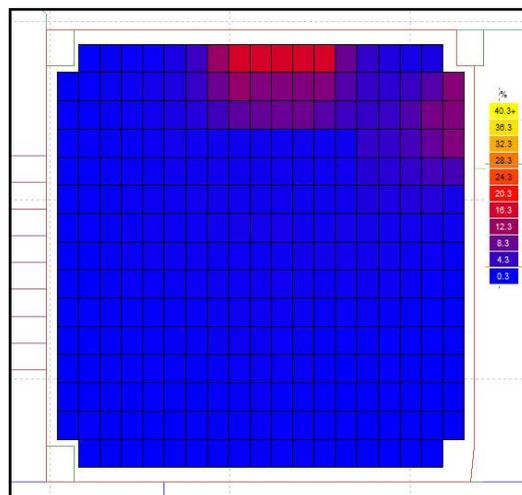


Figure 8.14 : Eclairage naturel pour le cas NPH25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

2) L'enseillement :

Une répartition hétérogène de l'insolation à travers la pièce, et un niveau d'insolation bas au mois décembre. Un niveau d'insolation modéré et une répartition plutôt homogène au mois de juin.

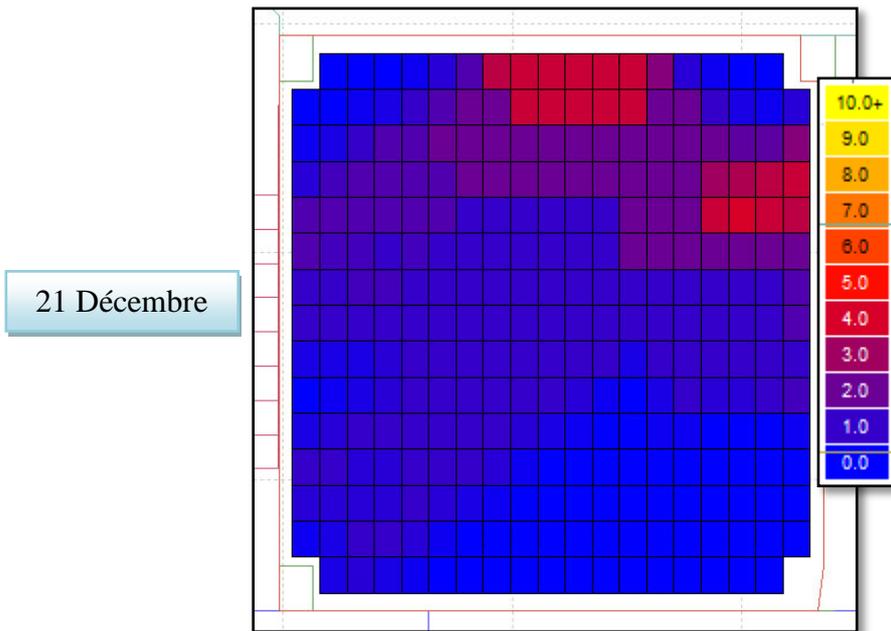


Figure 8.15 : L'enseillement en hiver pour le cas NPH25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

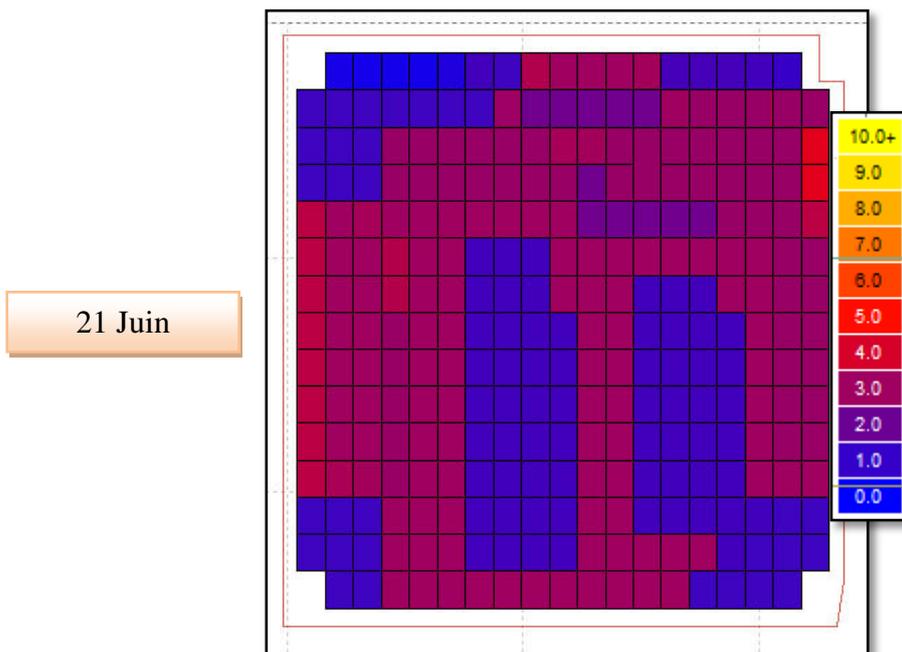


Figure 8.16 : L'enseillement en été pour le cas NPH25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

3) L'isolation phonique :

Le niveau de l'isolation phonique est bon pour ce cas là, et on peut résumer que le taux d'ouverture est faible donc une bonne performance acoustique.

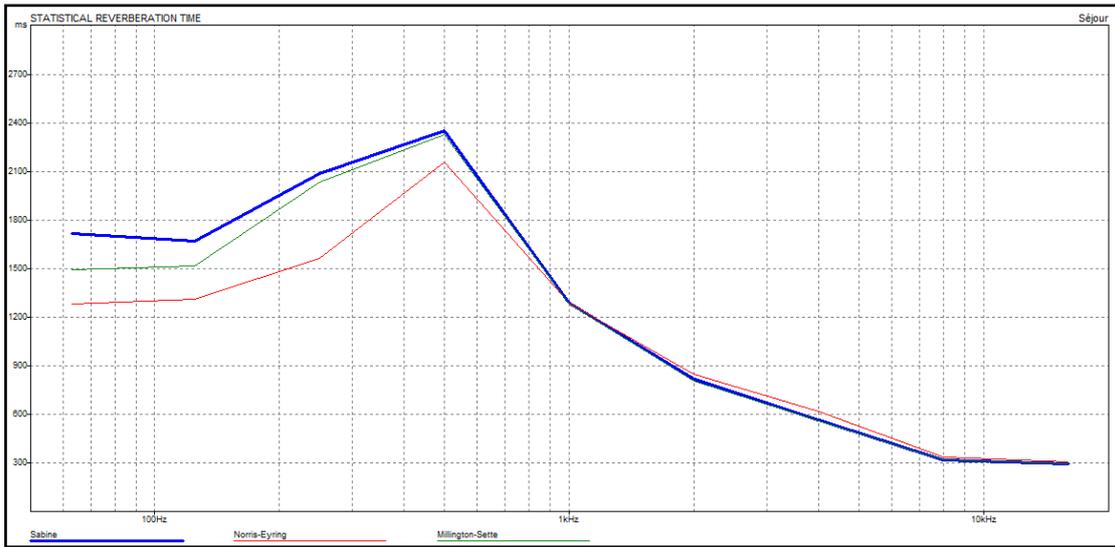


Figure 8.17 : Résultat acoustique pour le cas S25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

4) La vue à l'extérieur :

Avec un taux d'ouverture de 25%, la vue à l'extérieur n'est pas considérable.

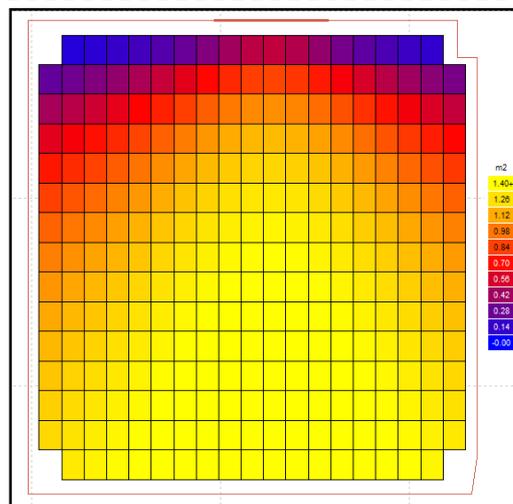


Figure 8.18 : Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPH25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

5) Le confort thermique :

La bande de confort est : [18°C-26°C].

Le pourcentage du confort est de : 49.20%

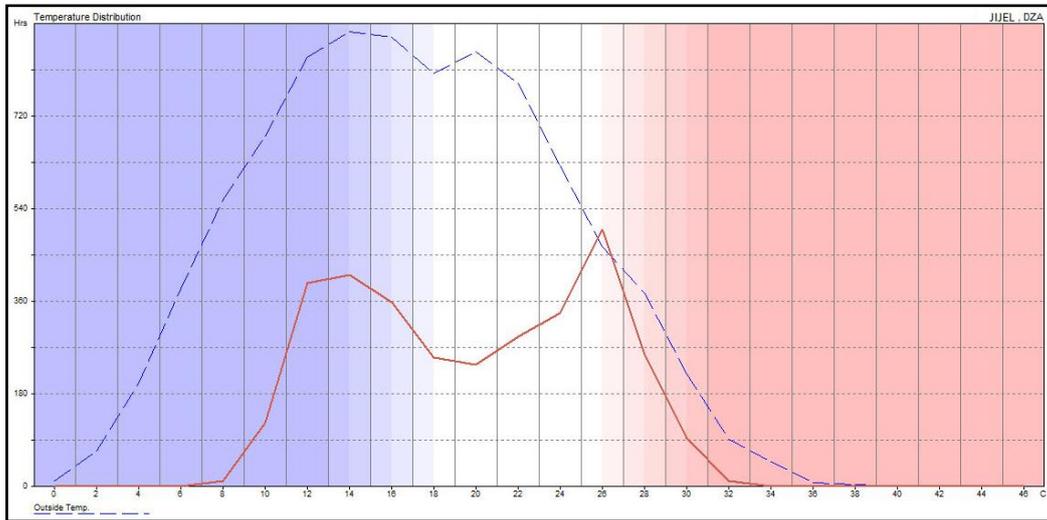


Figure 8.19 : Résultat du confort thermique pour le cas NPH25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

VIII.2.4. Combinaison N°7 (N50) :

1) L'éclairage naturel :

Répartition hétérogène de l'éclairage naturel.

FLJ moyen est de 0.6%.

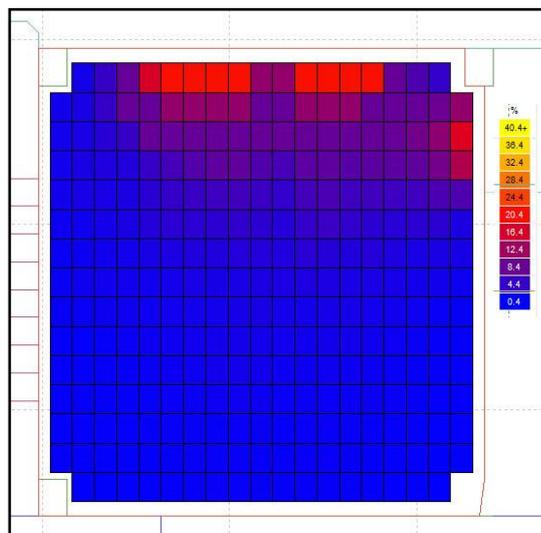


Figure 8.20: Eclairage naturel pour le cas N50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

2) L'enseillement :

Une répartition hétérogène de l'insolation à travers la pièce, et un niveau d'insolation bas au mois décembre. Un niveau d'insolation modéré et une répartition plutôt homogène au mois de juin.

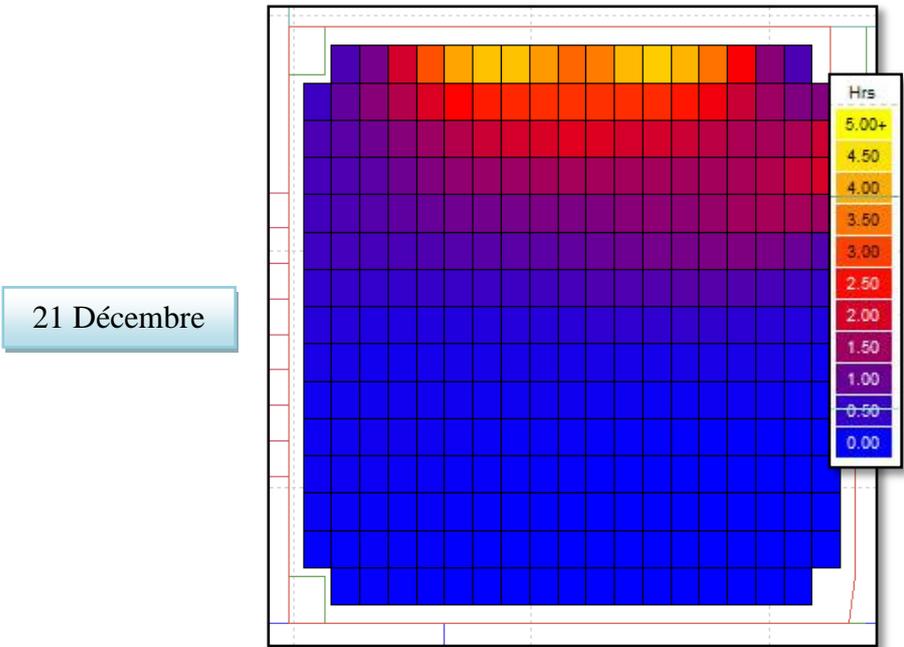


Figure 8.21 : L'enseillement en hiver pour le cas N50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

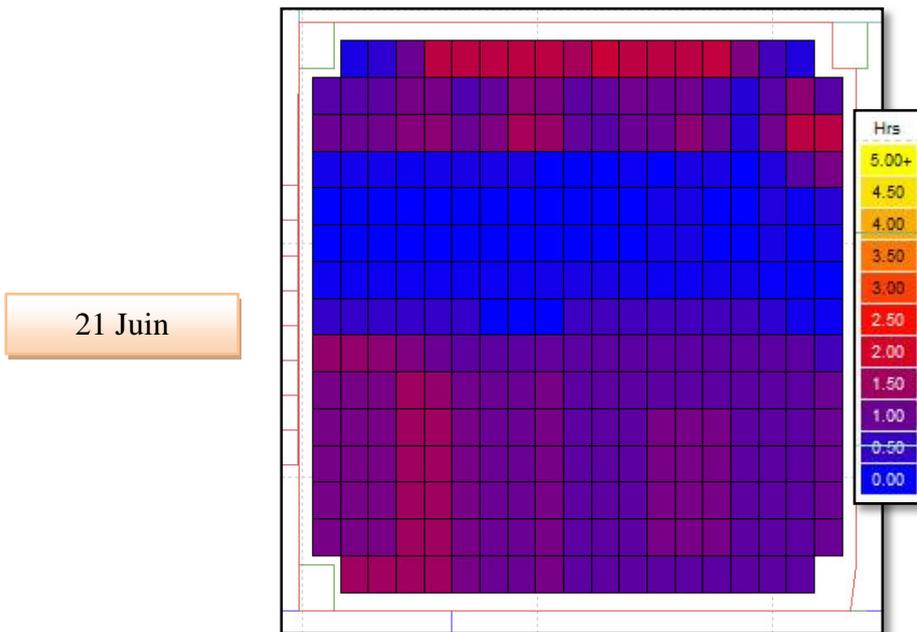


Figure 8.22 : L'enseillement en été pour le cas N50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

3) L'isolation phonique :

Le niveau de l'isolation phonique est bon pour ce cas là, et on peut résumer que le taux d'ouverture est faible donc une bonne performance acoustique.

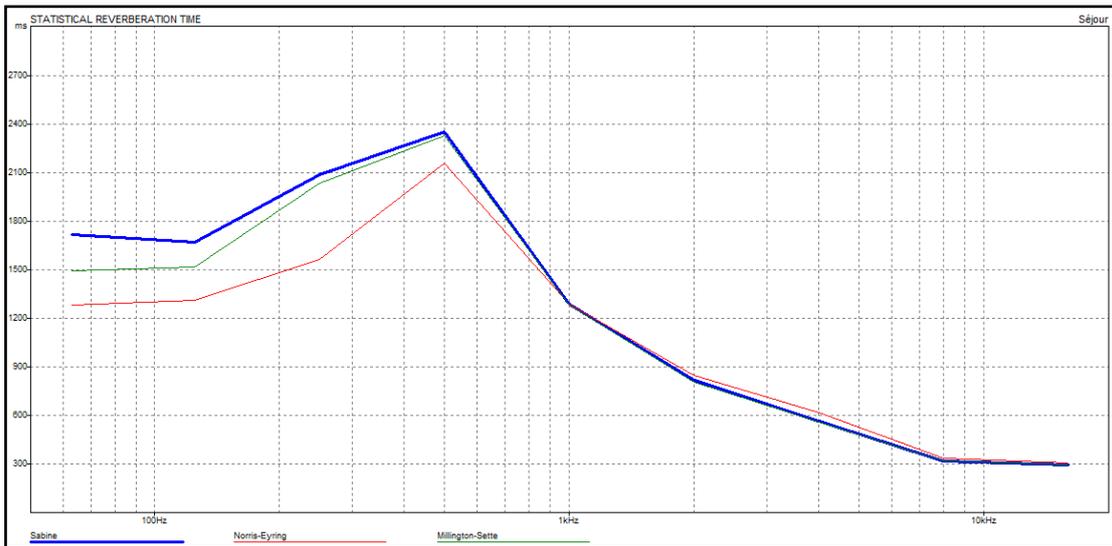


Figure 8.23 : Résultat acoustique pour le cas N50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

4) La vue à l'extérieur :

Avec un taux d'ouverture de 50%, la vue à l'extérieur est mieux dégagée.

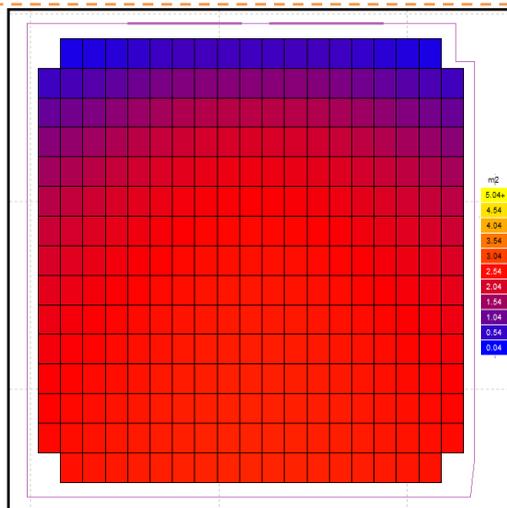


Figure 8.24 : Résultat vue à l'extérieur pour le cas N50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

5) Le confort thermique :

La bande de confort est : [18°C-26°C].

Le pourcentage du confort est de : 47.00%

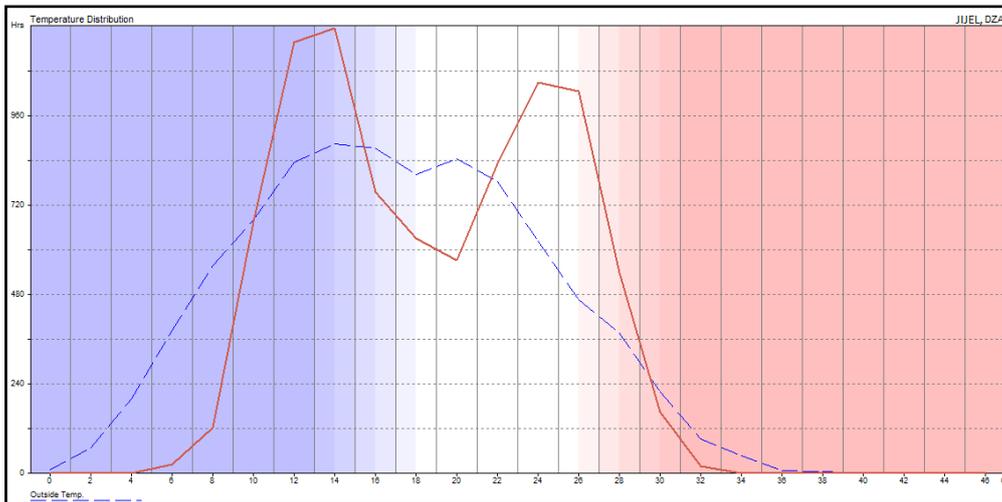


Figure 8.25 : Résultat du confort thermique pour le cas S25.

(Source : Prise d'écran par auteur)

VIII.2.5. Combinaison N°8 (NPV50) :

1) L'éclairage naturel :

Répartition hétérogène de l'éclairage naturel.

FLJ moyen est de 1.3%.

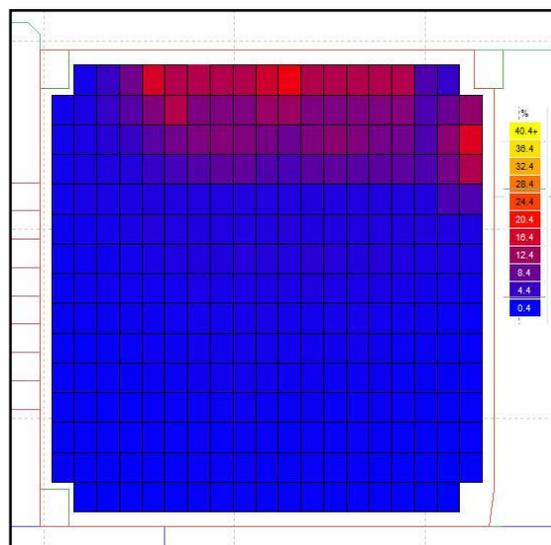


Figure 8.26 : Eclairage naturel pour le cas NPV50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

2) L'enseillement :

Une répartition hétérogène de l'insolation à travers la pièce, et un niveau d'insolation bas au mois décembre. Un niveau d'insolation agréable et une répartition plutôt homogène au mois de juin.

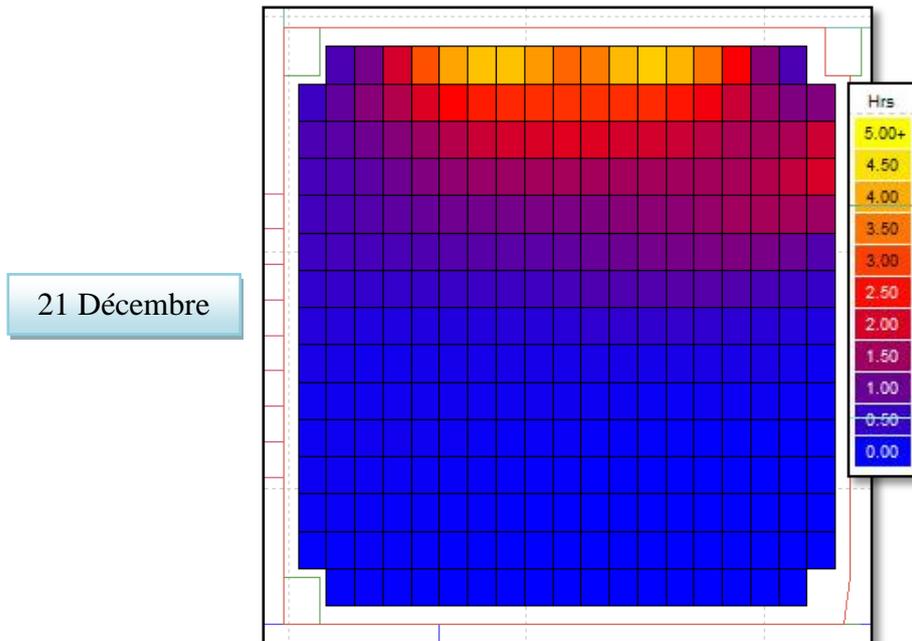


Figure 8.27 : L'enseillement en hiver pour le cas NPV50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

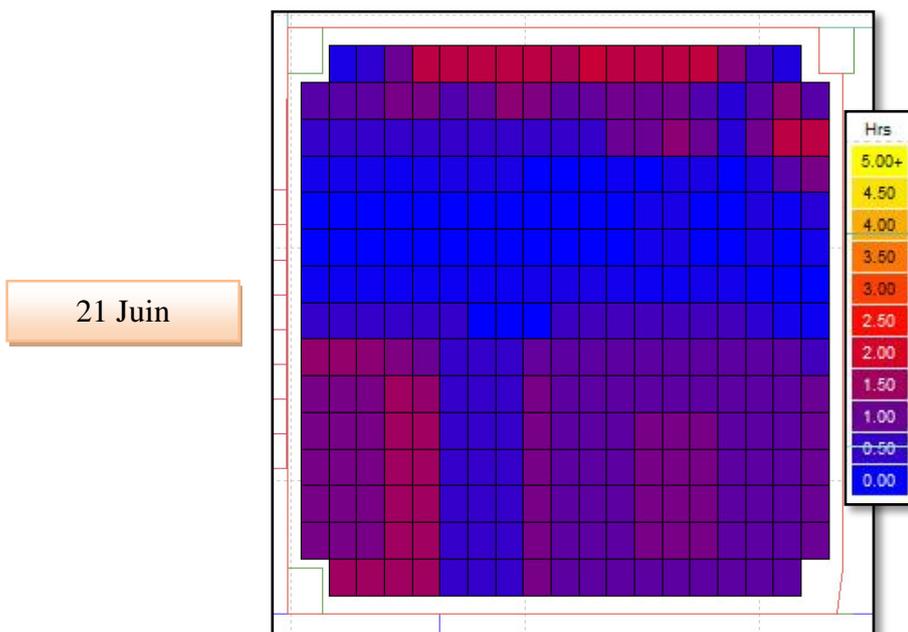


Figure 8.28 : L'enseillement en été pour le cas NPV50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

3) L'isolation phonique :

Le niveau de l'isolation phonique est bon pour ce cas là, et on peut résumer que le taux d'ouverture est faible donc une bonne performance acoustique.

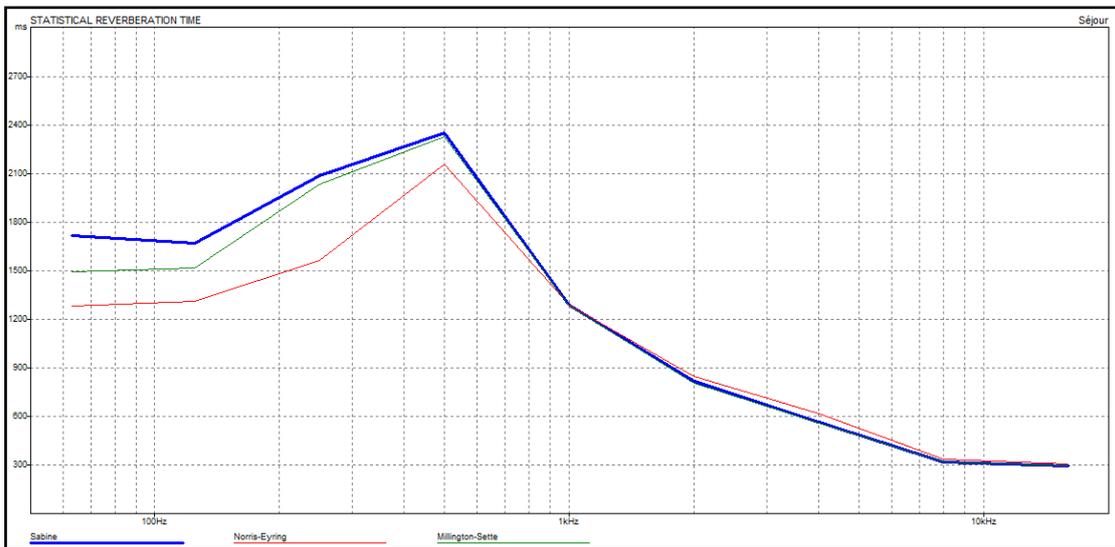


Figure 8.29 : Résultat acoustique pour le cas NPV50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

4) La vue à l'extérieur :

Avec un taux d'ouverture de 50%, la vue est mieux dégagée mais perturbée par les protections solaires.

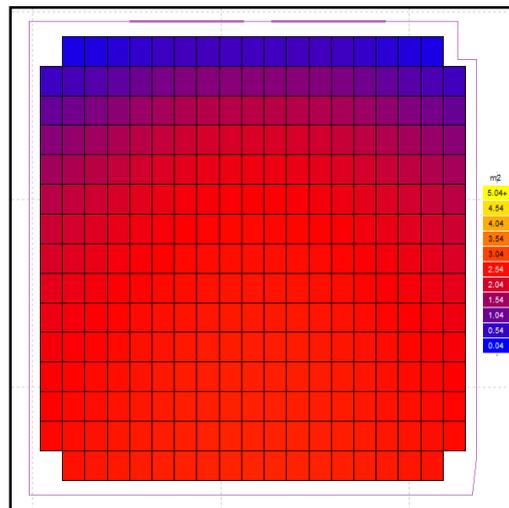


Figure 8.30 : Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPV50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

5) Le confort thermique :

La bande de confort est : [18°C-26°C].

Le pourcentage du confort est de : 46.60%

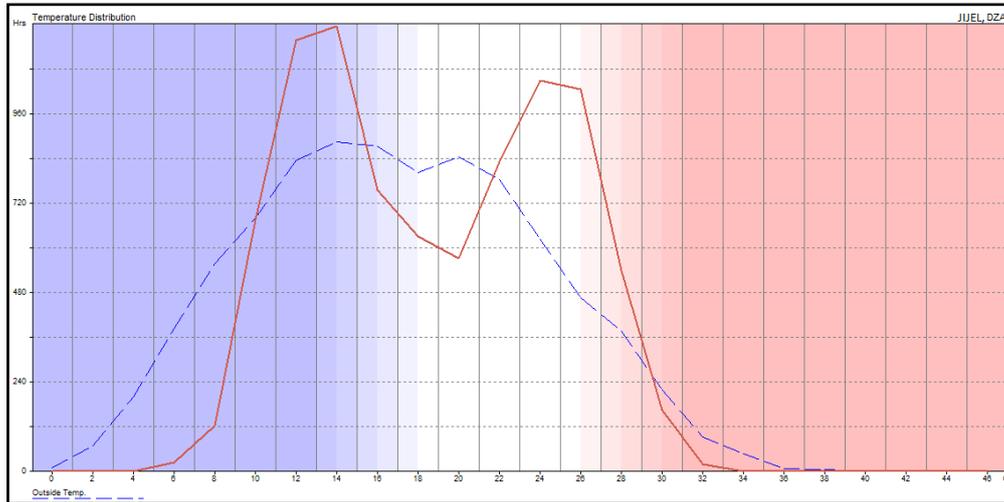


Figure 8.31 : Résultat du confort thermique pour le cas NPV50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

VIII.2.6. Combinaison N°9 (NPH50) :

1) L'éclairage naturel :

Répartition hétérogène de l'éclairage naturel.

FLJ moyen est de 1.2%.

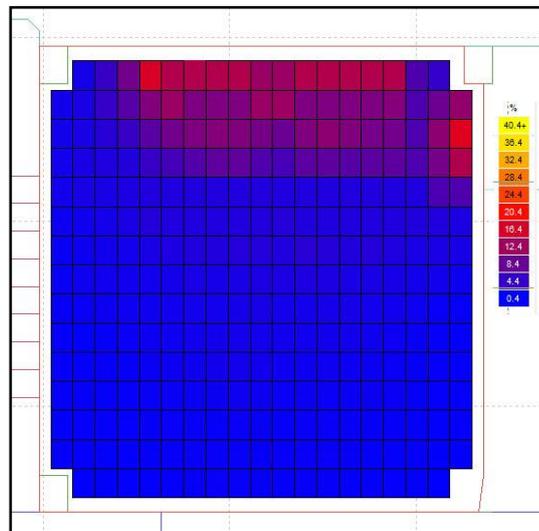


Figure 8.32 : Eclairage naturel pour le cas NPH50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

2) L'enseillement :

Une répartition hétérogène de l'insolation à travers la pièce, et un niveau d'insolation bas au mois décembre. Un niveau d'insolation agréable et une répartition plutôt homogène au mois de juin.

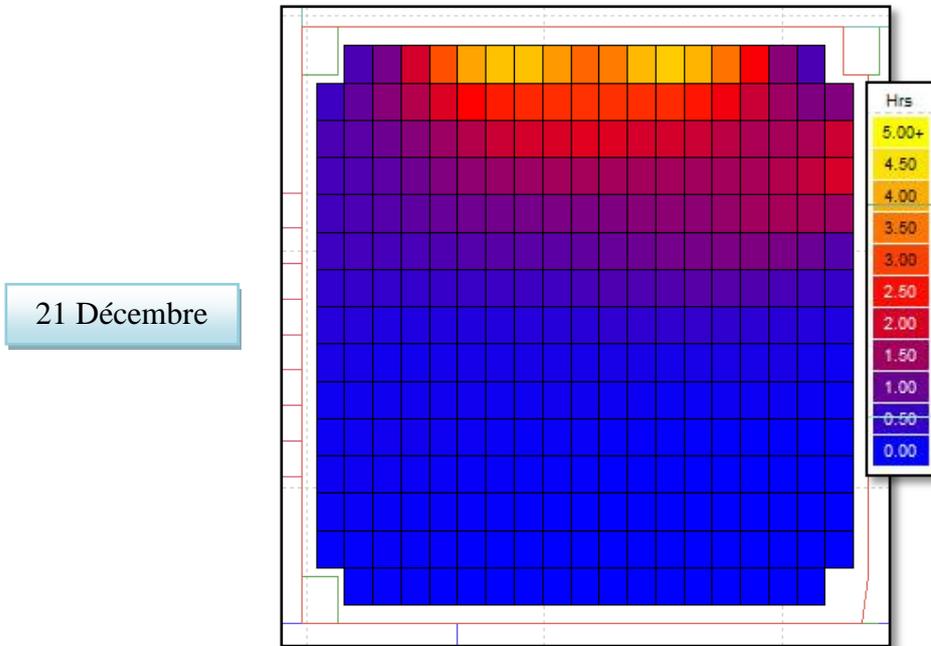


Figure 8.33 : L'enseillement en hiver pour le cas NPH50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

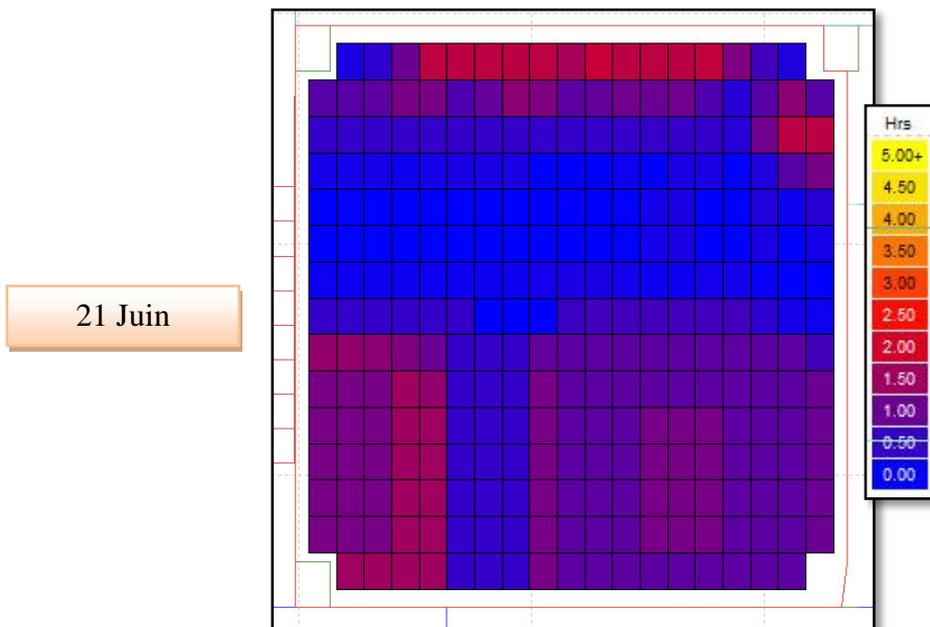


Figure 8.34 : L'enseillement en été pour le cas NPH50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

3) L'isolation phonique :

Le niveau de l'isolation phonique est bon pour ce cas là, et on peut résumer que le taux d'ouverture est faible donc une bonne performance acoustique.

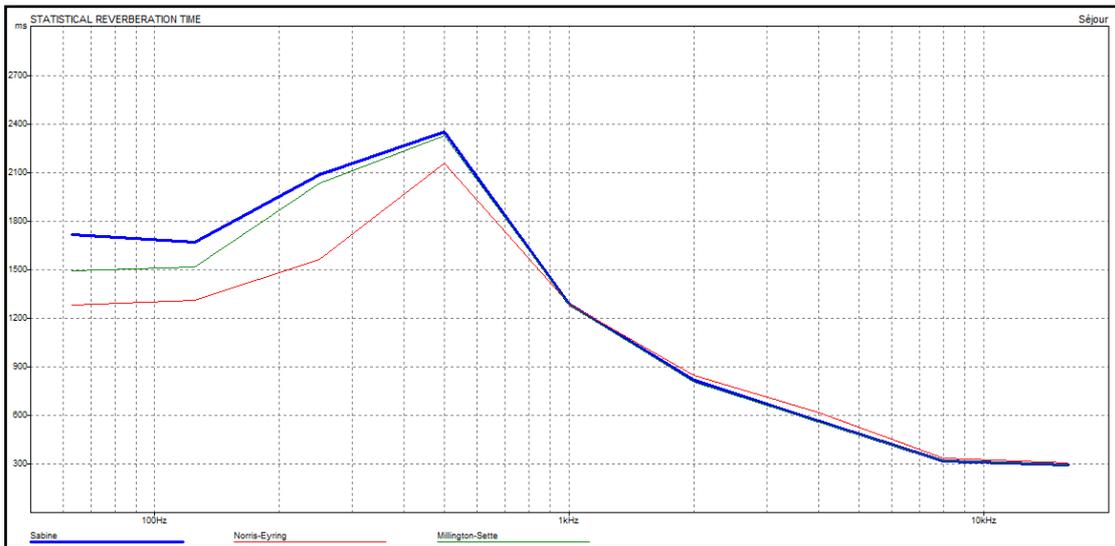


Figure 8.35 : Résultat acoustique pour le cas NPH50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

4) La vue à l'extérieur :

Avec un taux d'ouverture de 50%, la vue est mieux dégagée mais perturbée par les protections solaires.

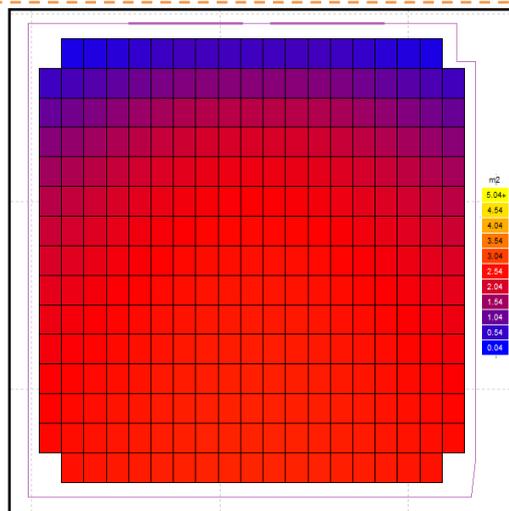


Figure 8.36 : Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPH50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

5) Le confort thermique :

La bande de confort est : [18°C-26°C].

Le pourcentage du confort est de : 48.10%

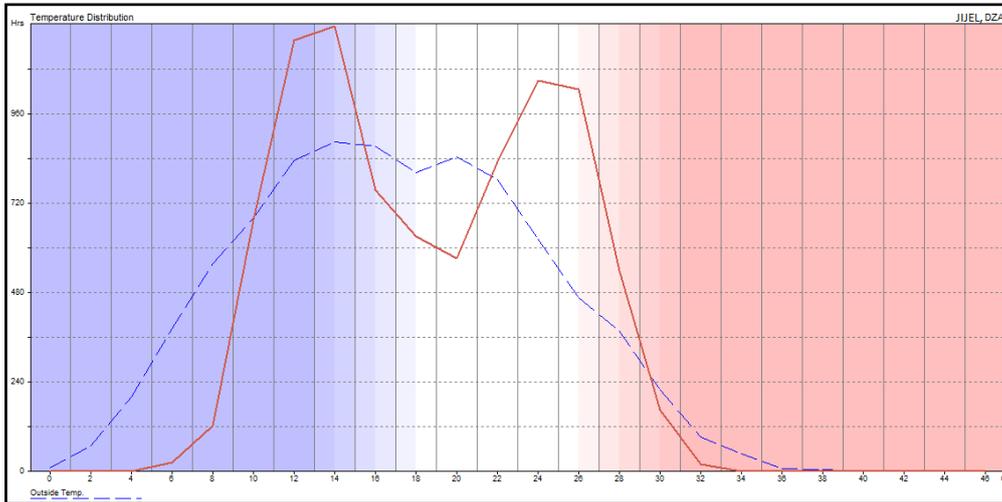


Figure 8.37 : Résultat du confort thermique pour le cas NPH50.

(Source : Prise d'écran par auteur)

VIII.2.7. Combinaison N°13 (N75) :

1) L'éclairage naturel :

Répartition hétérogène de l'éclairage naturel.

FLJ moyen est de 1.3%.

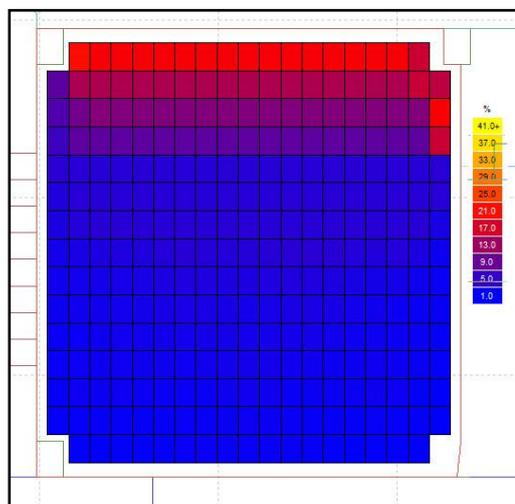


Figure 8.38 : Eclairage naturel pour le cas N75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

2) L'enseiement :

Une répartition hétérogène de l'insolation à travers la pièce.

Un niveau d'insolation bas au mois décembre.

Un niveau d'insolation agréable au mois de juin.

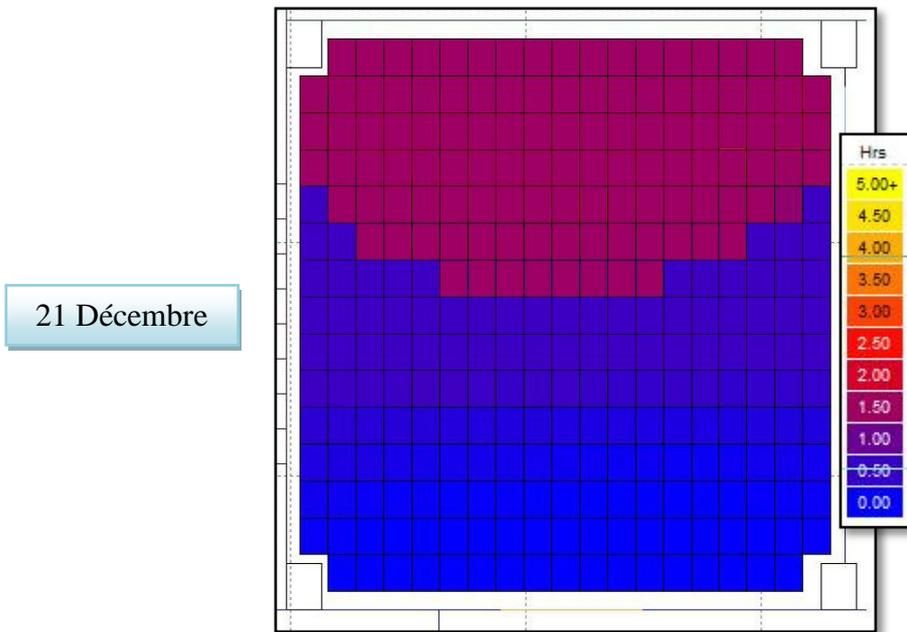


Figure 8.39 : L'enseiement en hiver pour le cas N75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

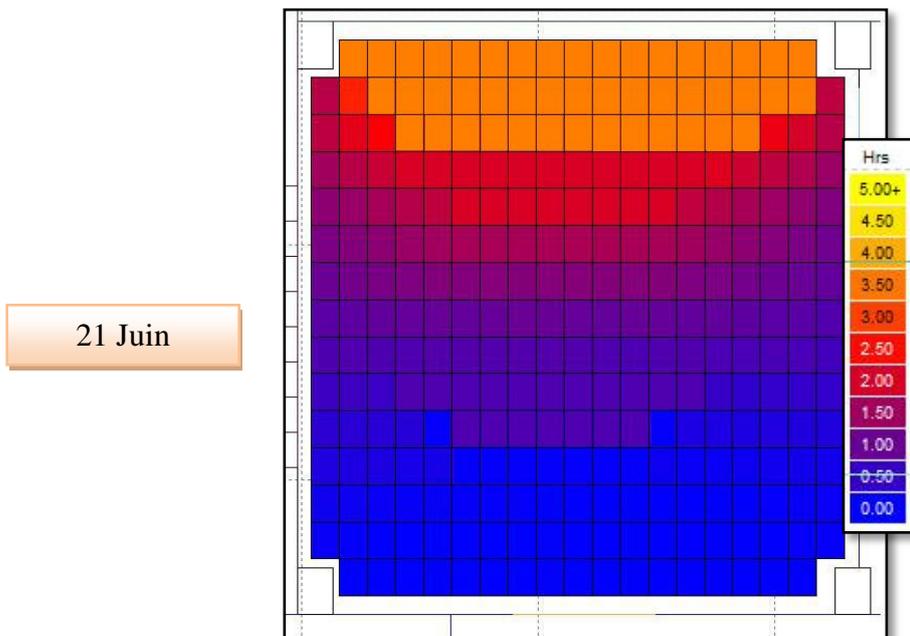


Figure 8.40 : L'enseiement en été pour le cas N75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

3) L'isolation phonique :

Le niveau de l'isolation phonique est bon pour ce cas là, et on peut résumer que le taux d'ouverture est faible donc une bonne performance acoustique.

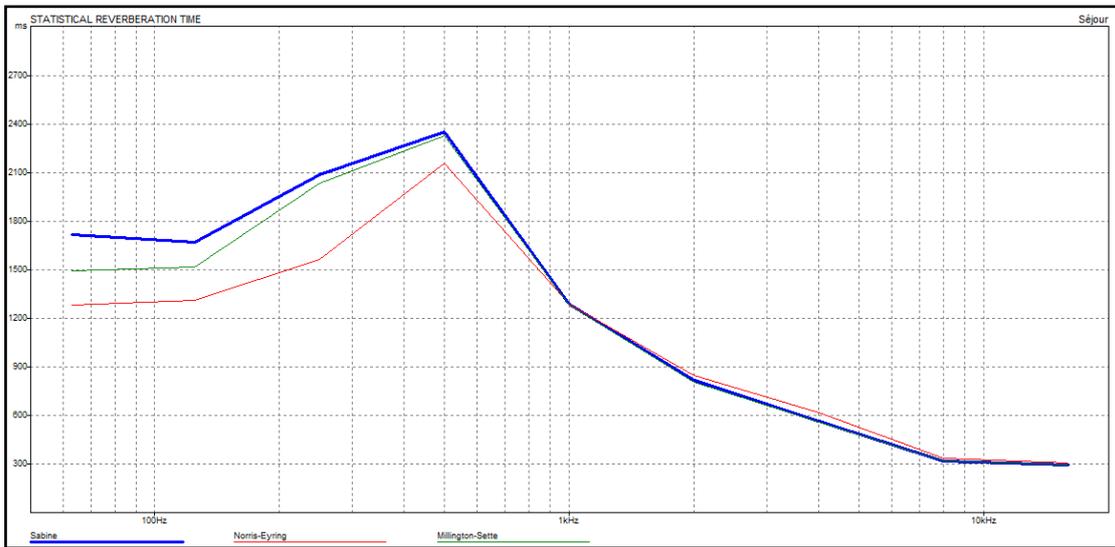


Figure 8.41 : Résultat acoustique pour le cas N75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

4) La vue à l'extérieur :

Avec un taux d'ouverture de 75%, la vue est vachement ouverte à l'extérieur.

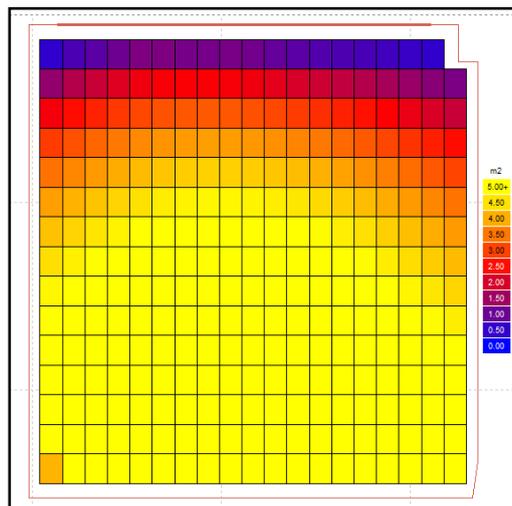


Figure 8.42 : Résultat vue à l'extérieur pour le cas N75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

5) Le confort thermique :

La bande de confort est : [18°C-26°C].

Le pourcentage du confort est de : 51.20%

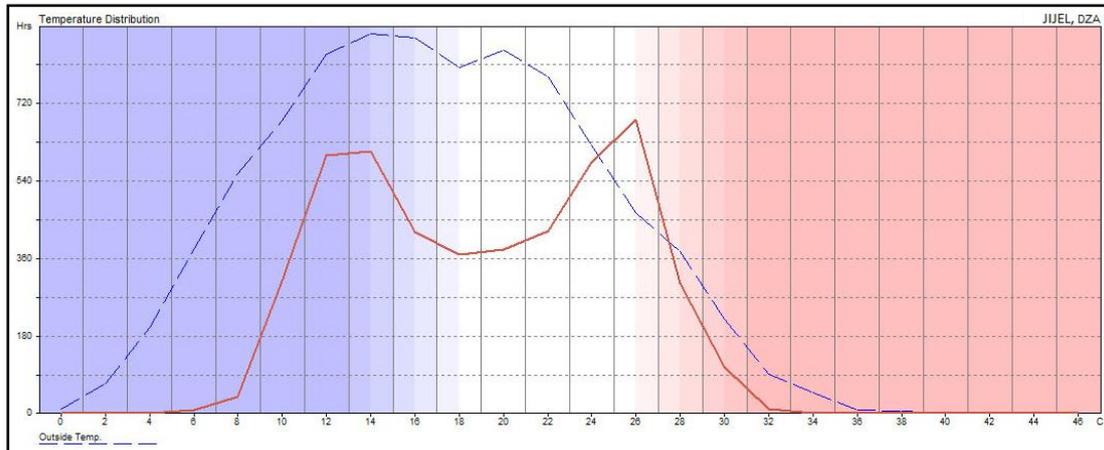


Figure 8.43 : Résultat du confort thermique pour le cas N75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

VIII.2.8. Combinaison N°14 (NPV75) :

1) L'éclairage naturel :

Répartition hétérogène de l'éclairage naturel.

FLJ moyen est de 2.0%.

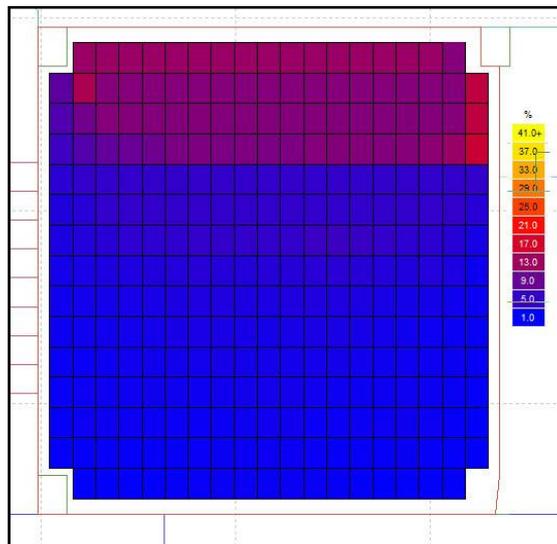


Figure 8.44 : Eclairage naturel pour le cas NPV75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

2) L'enseillement :

Une répartition hétérogène de l'insolation à travers la pièce.
 Un niveau d'insolation bas au mois décembre.
 Un niveau d'insolation agréable au mois de juin sauf au niveau des ouvertures.

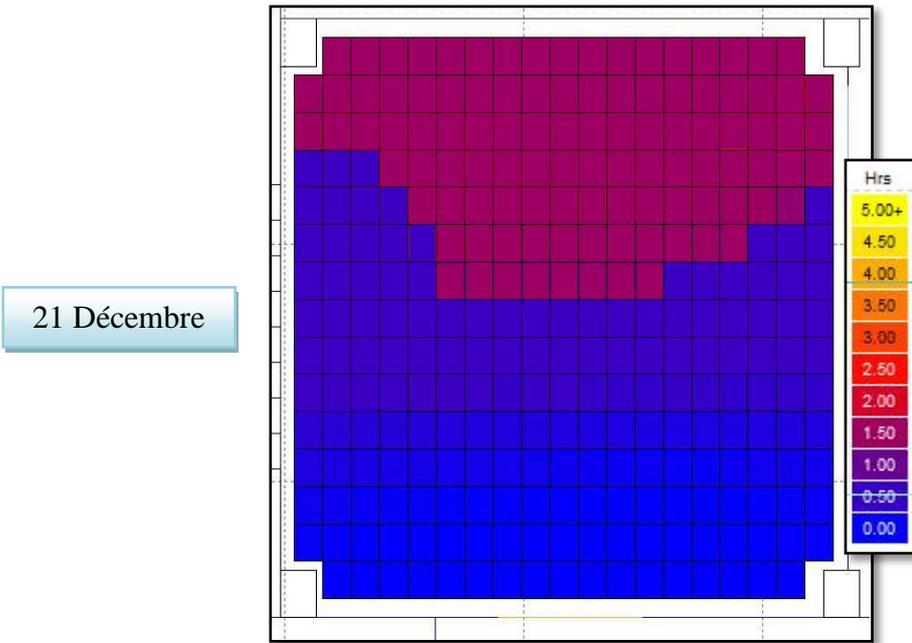


Figure 8.45 : L'enseillement en hiver pour le cas NPV75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

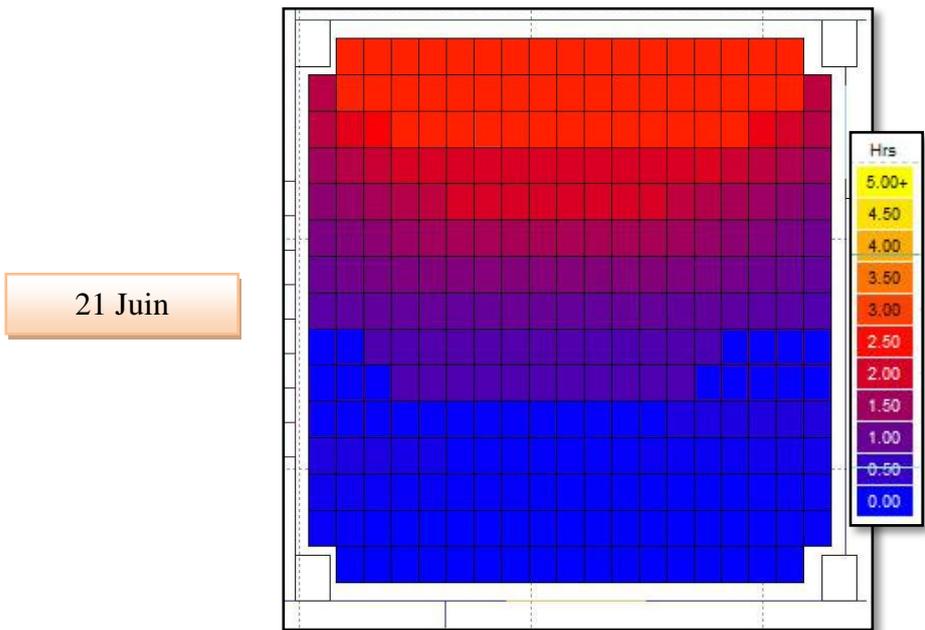


Figure 8.46 : L'enseillement en été pour le cas NPV75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

3) L'isolation phonique :

Le niveau de l'isolation phonique est bon pour ce cas là, et on peut résumer que le taux d'ouverture est faible donc une bonne performance acoustique.

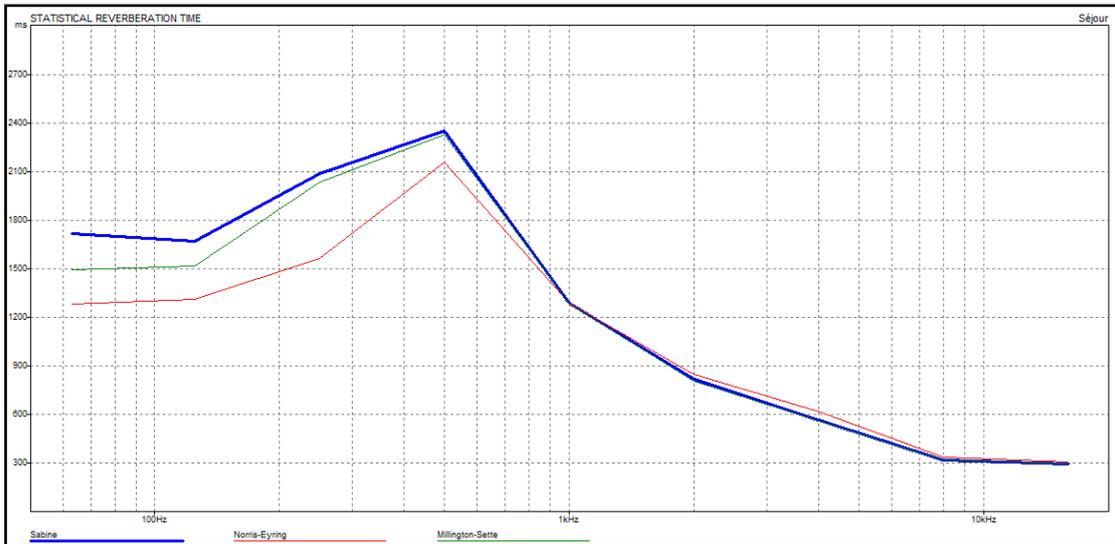


Figure 8.47 : Résultat acoustique pour le cas NPV75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

4) La vue à l'extérieur :

Avec un taux d'ouverture de 75%, la vue est satisfaisante malgré la présence des protections solaires.

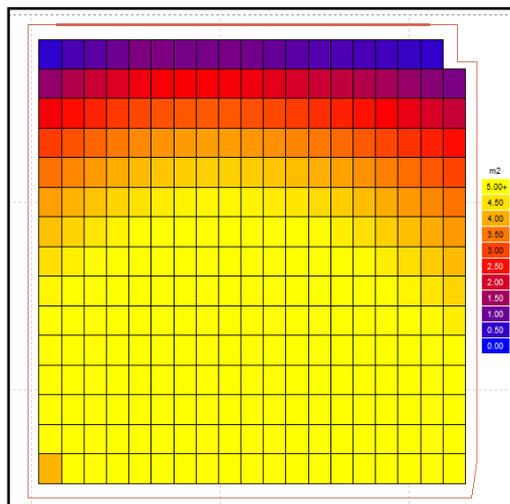


Figure 8.48 : Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPV75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

5) Le confort thermique :

La bande de confort est : [18°C-26°C].

Le pourcentage du confort est de : 50.00%

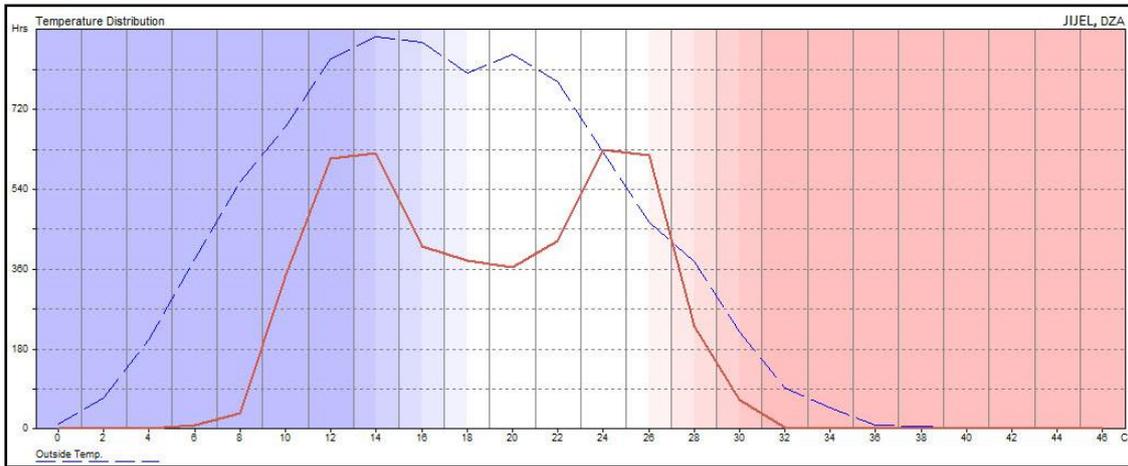


Figure 8.49 : Résultat du confort thermique pour le cas NPV75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

VIII.2.9. Combinaison N°15 (NPH75) :

1) L'éclairage naturel :

Répartition hétérogène de l'éclairage naturel.

FLJ moyen est de 1.9%.

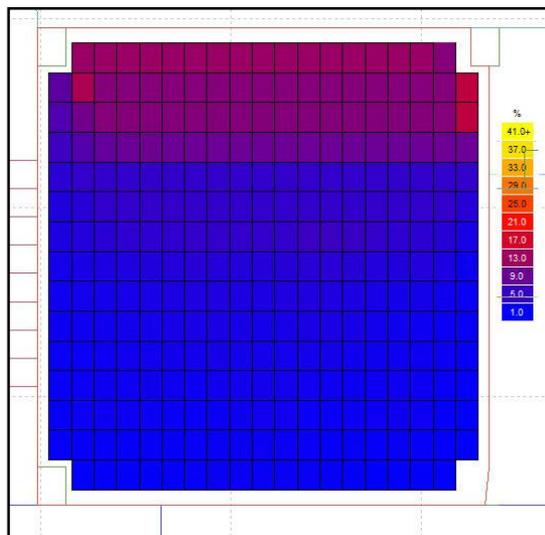


Figure 8.50 : Eclairage naturel pour le cas NPH75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

2) L'enseillement :

Une répartition hétérogène de l'insolation à travers la pièce.

Un niveau d'insolation bas au mois décembre.

Un niveau d'insolation agréable au mois de juin.

21 Décembre

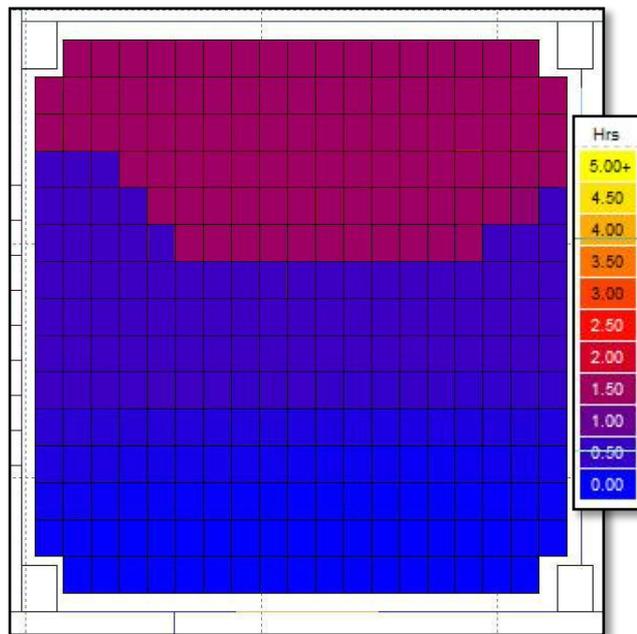


Figure 8.51 : L'enseillement en hiver pour le cas NPH75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

21 Juin

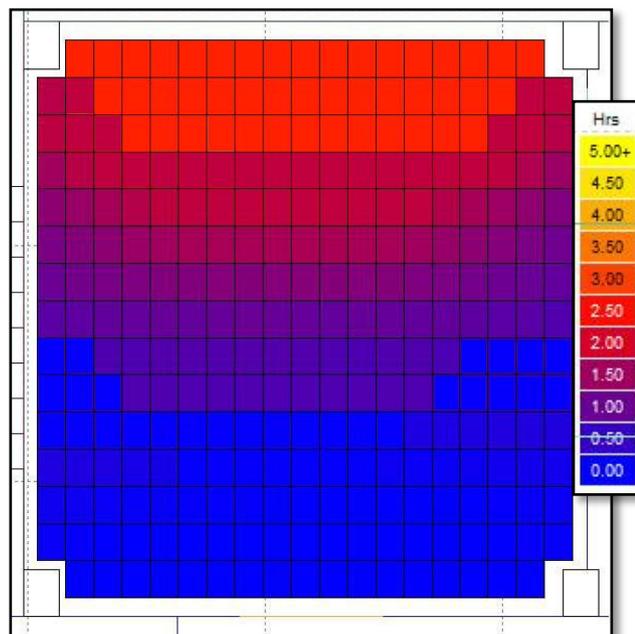


Figure 8.52 : L'enseillement en été pour le cas NPH75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

3) L'isolation phonique :

Le niveau de l'isolation phonique est bon pour ce cas là, et on peut résumer que le taux d'ouverture est faible donc une bonne performance acoustique.

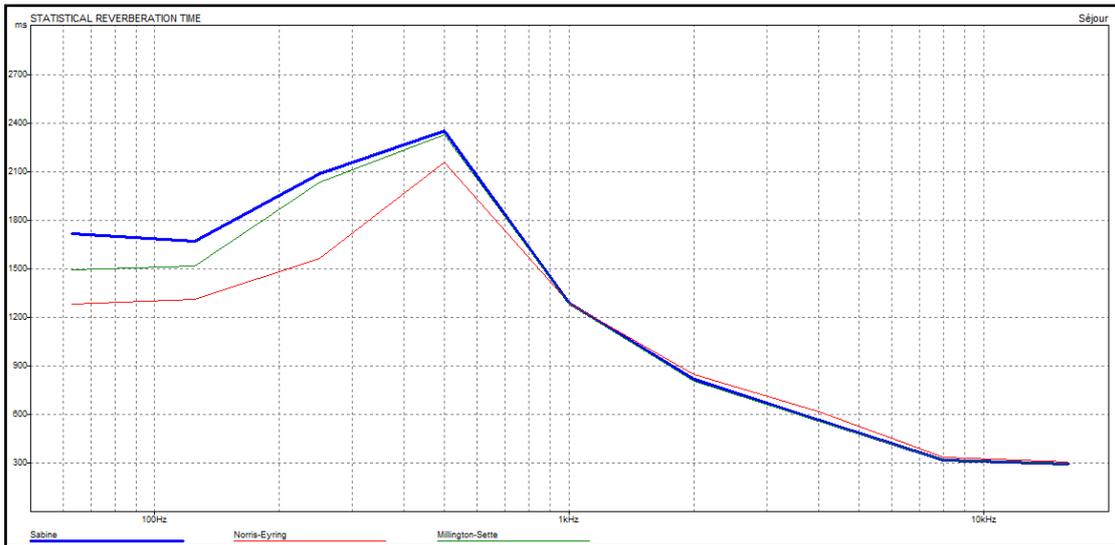


Figure 8.53 : Résultat acoustique pour le cas NPH75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

4) La vue à l'extérieur :

Avec un taux d'ouverture de 75%, la vue est satisfaisante malgré la présence des protections solaires.

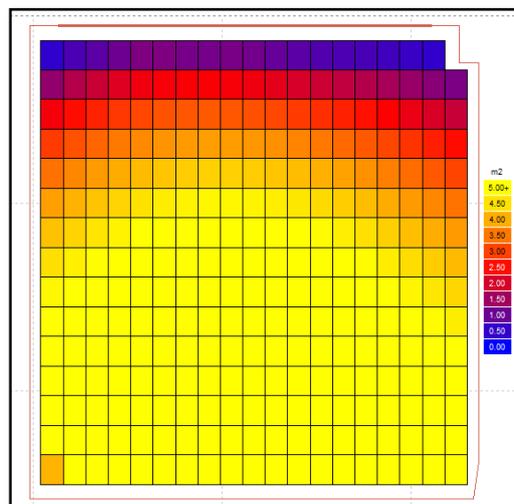


Figure 8.54 : Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPH75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

5) Le confort thermique :

La bande de confort est : [18°C-26°C].

Le pourcentage du confort est de : 50.20%

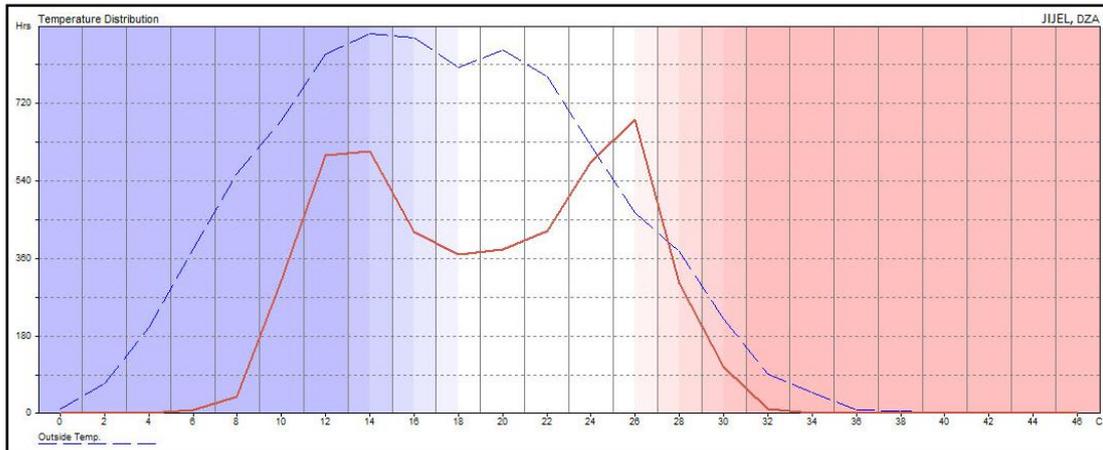


Figure 8.55 : Résultat du confort thermique pour le cas NPH75.

(Source : Prise d'écran par auteur)

VIII.2.10. Combinaison N°19 (N100) :

1) L'éclairage naturel :

Répartition hétérogène de l'éclairage naturel.

FLJ moyen est de 2.1%.

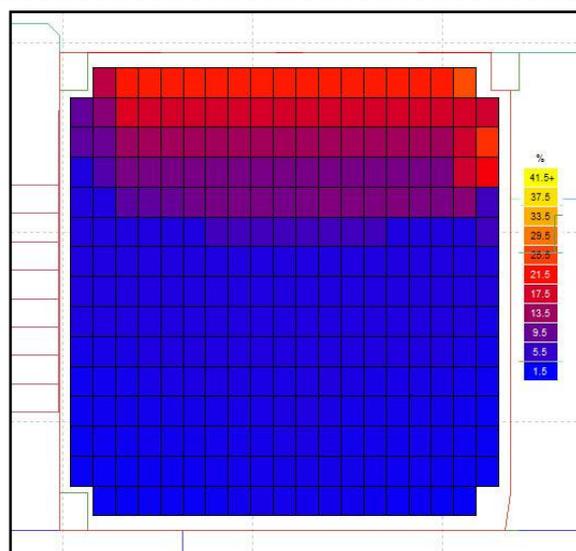


Figure 8.56 : Eclairage naturel pour le cas N100.

(Source : Prise d'écran par auteur)

2) L'enseillement :

Au mois de juin, une répartition homogène du niveau d'insolation à travers la pièce. Et un niveau d'insolation acceptable.

Une bonne insolation au mois de décembre mais reste mal répartie.

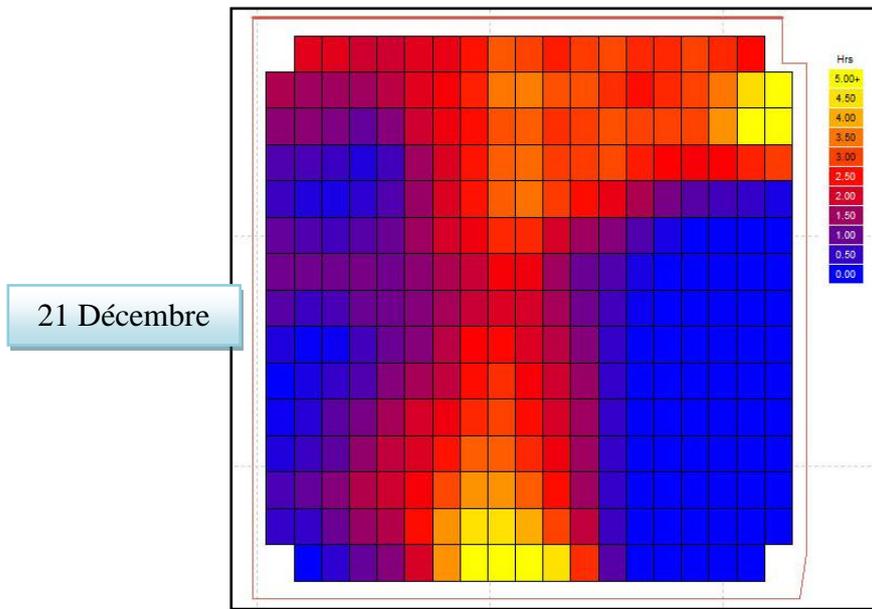


Figure 8.57 : L'enseillement en hiver pour le cas N100.

(Source : Prise d'écran par auteur)

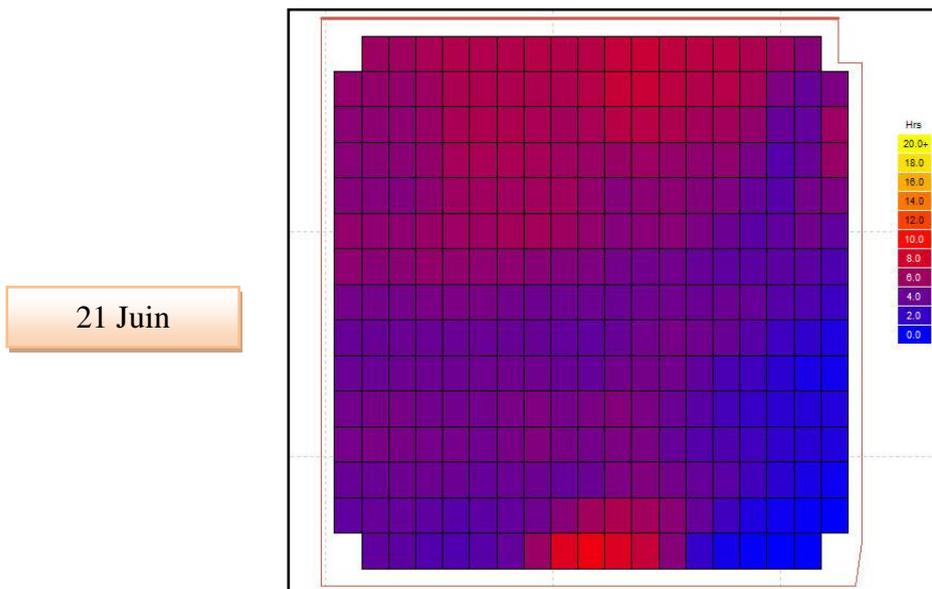


Figure 8.58 : L'enseillement en été pour le cas N100.

(Source : Prise d'écran par auteur)

3) L'isolation phonique :

Le niveau de l'isolation phonique est bon pour ce cas là, et on peut résumer que le taux d'ouverture est faible donc une bonne performance acoustique.

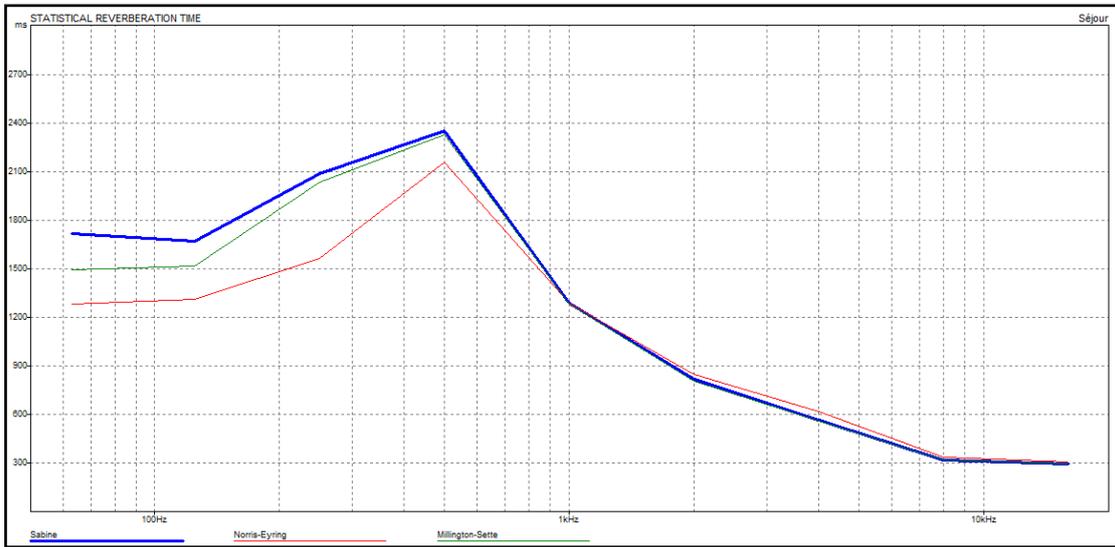


Figure 8.59 : Résultat acoustique pour le cas N100.

(Source : Prise d'écran par auteur)

4) La vue à l'extérieur :

Avec un taux d'ouverture de 100%, la vue est pleinement dégagée sur l'extérieur. Ceci va impliquer un manque de privacité total du séjour.

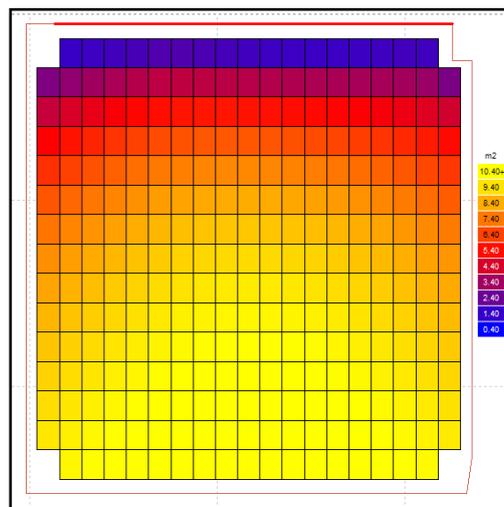


Figure 8.60: Résultat vue à l'extérieur pour le cas N100.

(Source : Prise d'écran par auteur)

5) Le confort thermique :

La bande de confort est : [18°C-26°C].

Le pourcentage du confort est de : 38.70%

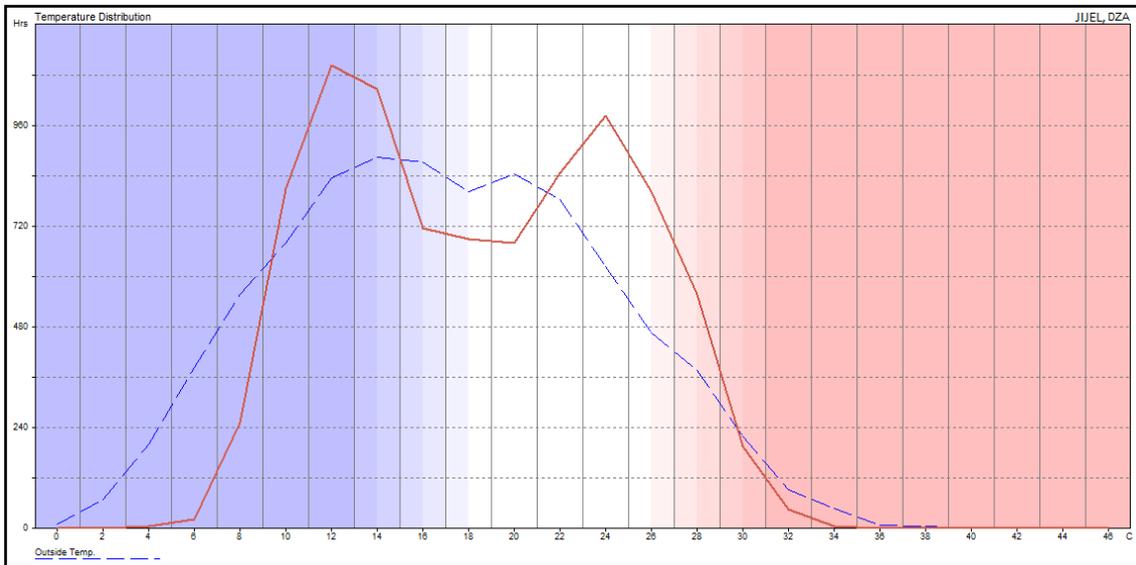


Figure 8.61 : Résultat du confort thermique pour le cas N100.

(Source : Prise d'écran par auteur)

VIII.2.11. Combinaison N°20 (NPV10) :

1) L'éclairage naturel :

Répartition hétérogène de l'éclairage naturel.

FLJ moyen est de 3.1%.

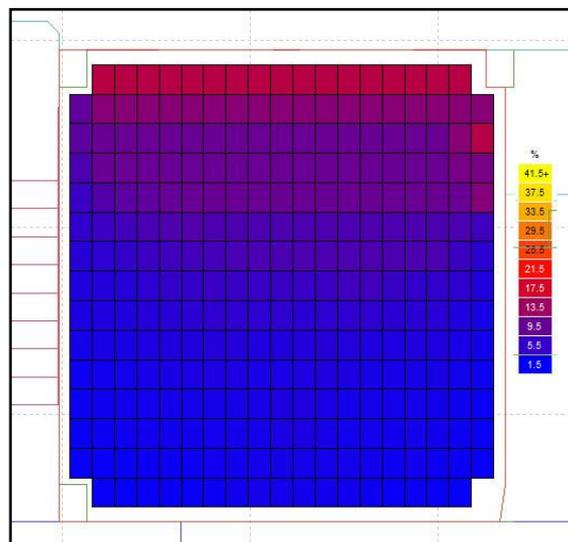


Figure 8.62 : Eclairage naturel pour le cas NPV10.

(Source : Prise d'écran par auteur)

2) L'enseillement :

Au mois de juin, une répartition homogène du niveau d'insolation à travers la pièce. Et un niveau d'insolation acceptable.

Une bonne insolation au mois de décembre mais reste mal répartie.

21 Décembre

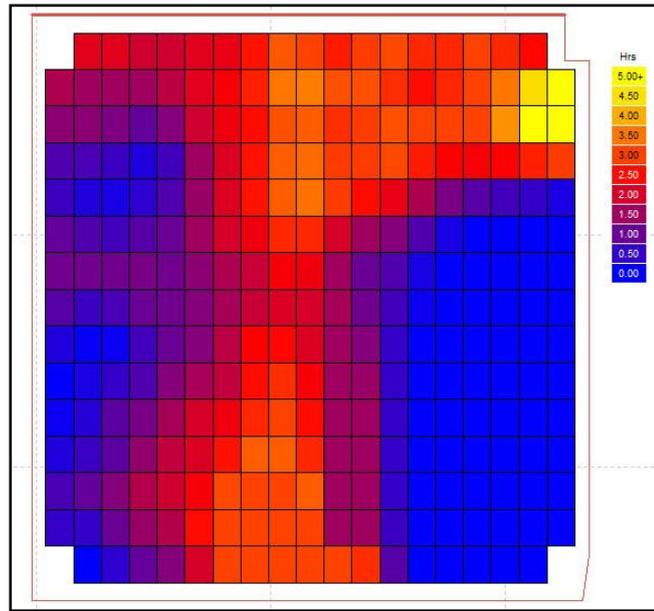


Figure 8.63 : L'enseillement en hiver pour le cas NPV10.

(Source : Prise d'écran par auteur)

21 Juin

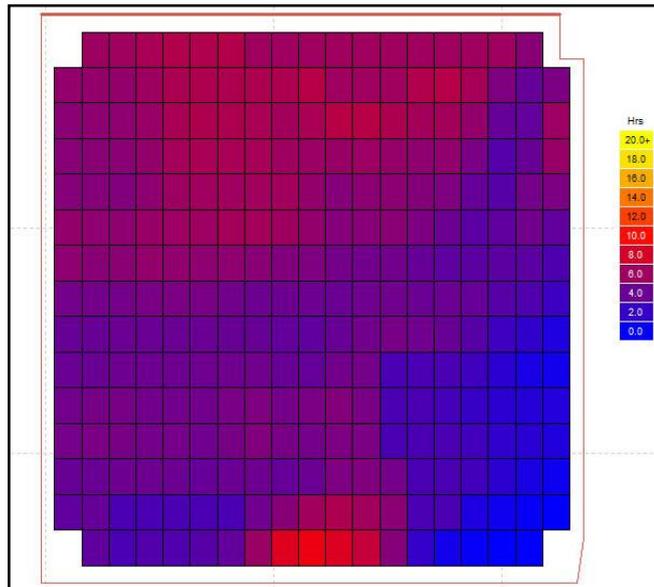


Figure 8.64 : L'enseillement en été pour le cas NPV10.

(Source : Prise d'écran par auteur)

3) L'isolation phonique :

Le niveau de l'isolation phonique est bon pour ce cas là, et on peut résumer que le taux d'ouverture est faible donc une bonne performance acoustique.

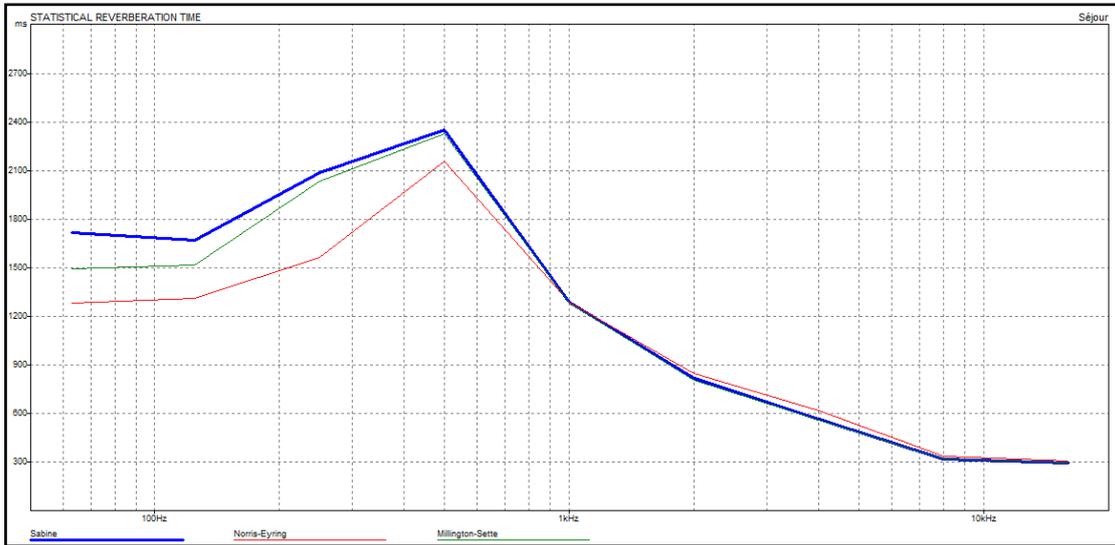


Figure 8.65 : Résultat acoustique pour le cas NPV10.

(Source : Prise d'écran par auteur)

4) La vue à l'extérieur :

Avec un taux d'ouverture de 100%, malgré la présence des protections il résiste encore le manque de privacité total du séjour.

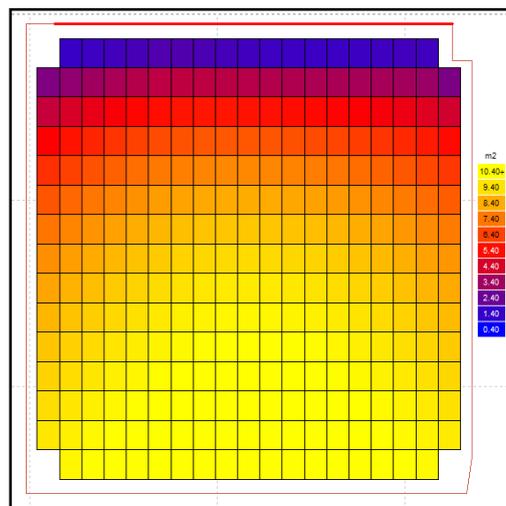


Figure 8.66 : Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPV10.

(Source : Prise d'écran par auteur)

5) Le confort thermique :

La bande de confort est : [18°C-26°C].

Le pourcentage du confort est de : 41.00%

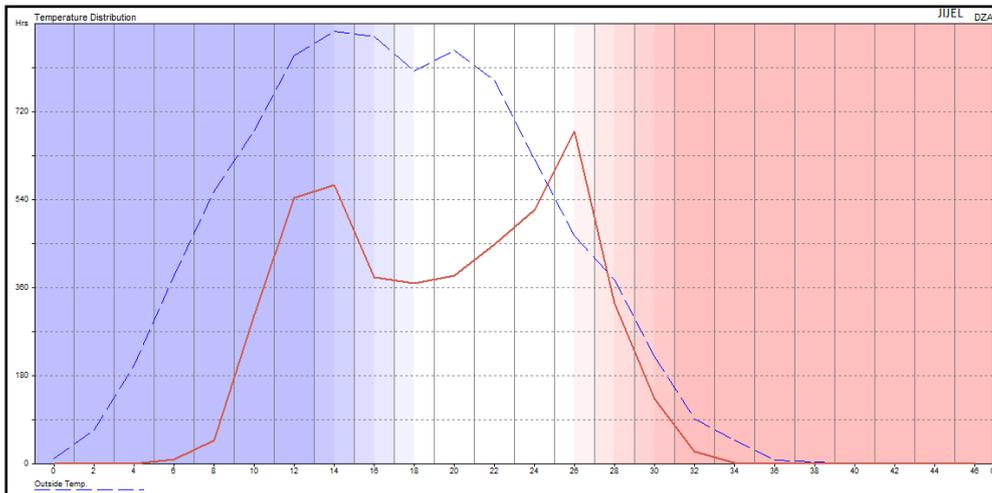


Figure 8.67 : Résultat du confort thermique pour le cas NPV10.

(Source : Prise d'écran par auteur)

VIII.2.12. Combinaison N°21 (NPH10) :

1) L'éclairage naturel :

Répartition hétérogène de l'éclairage naturel.

FLJ moyen est de 3.0%.

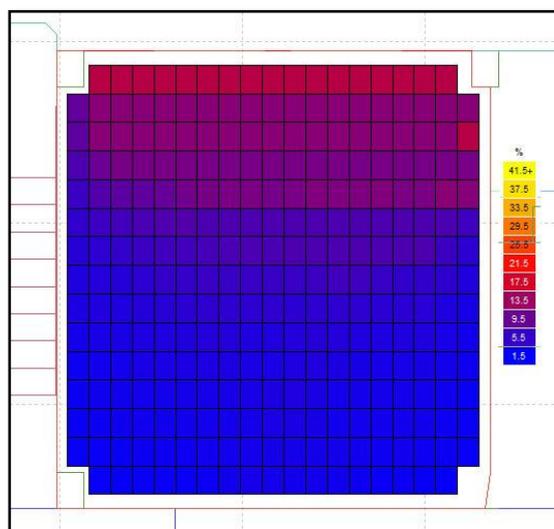


Figure 8.68 : Eclairage naturel pour le cas NPH10.

(Source : Prise d'écran par auteur)

2) L'enseillement :

Au mois de juin, une répartition homogène du niveau d'insolation à travers la pièce. Et un niveau d'insolation acceptable.

Une bonne insolation au mois de décembre mais reste mal répartie.

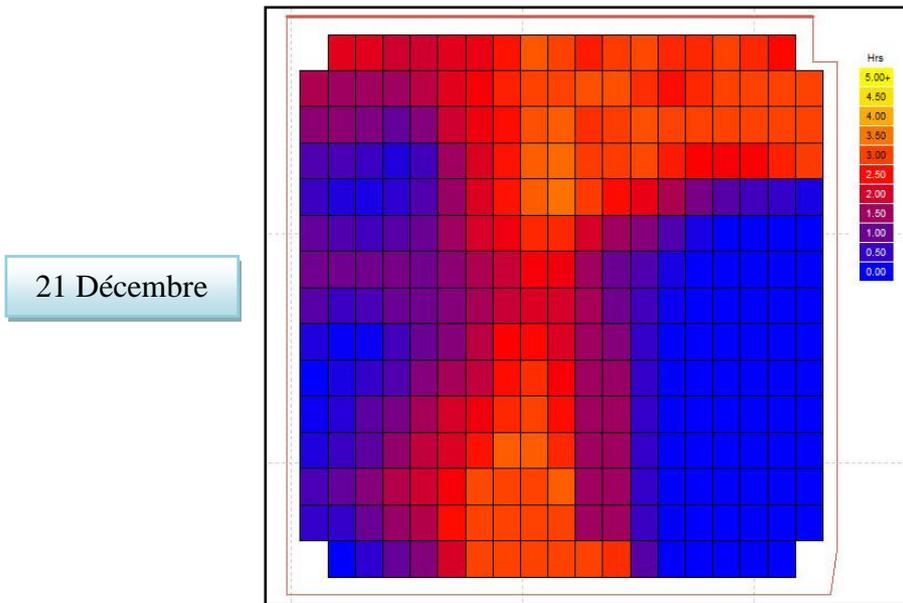


Figure 8.69 : L'enseillement en hiver pour le cas NPH10.

(Source : Prise d'écran par auteur)

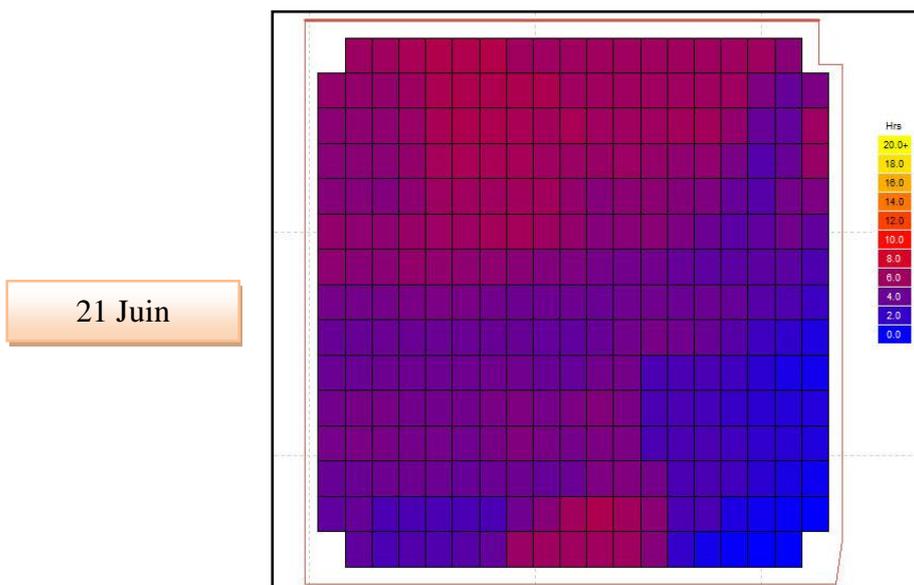


Figure 8.70 : L'enseillement en été pour le cas NPH10.

(Source : Prise d'écran par auteur)

3) L'isolation phonique :

Le niveau de l'isolation phonique est bon pour ce cas là, et on peut résumer que le taux d'ouverture est faible donc une bonne performance acoustique.

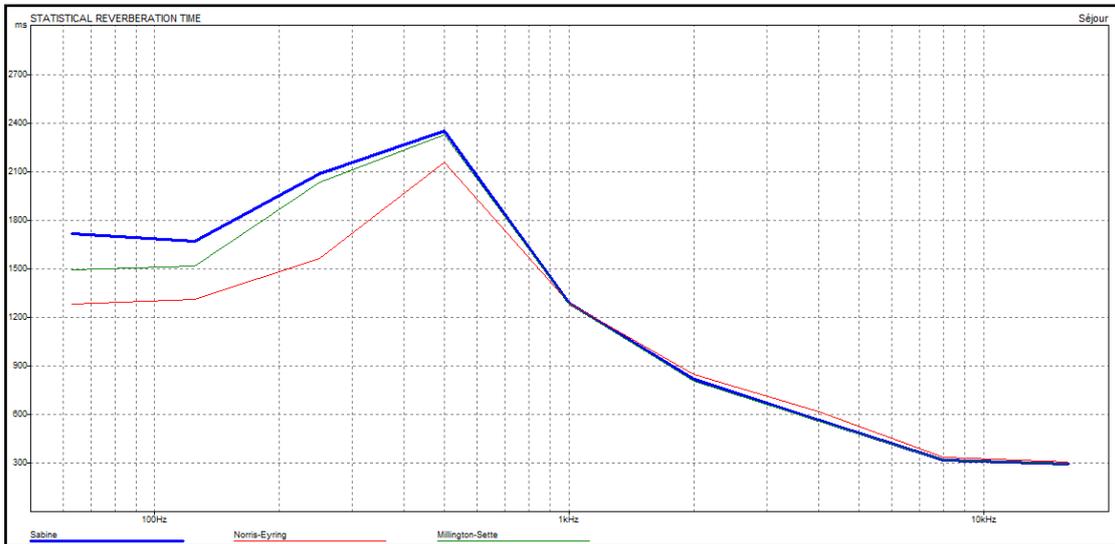


Figure 8.71 : Résultat acoustique pour le cas NPH10.

(Source : Prise d'écran par auteur)

4) La vue à l'extérieur :

Avec un taux d'ouverture de 100%, malgré la présence des protections il résiste encore le manque de privacité total du séjour.

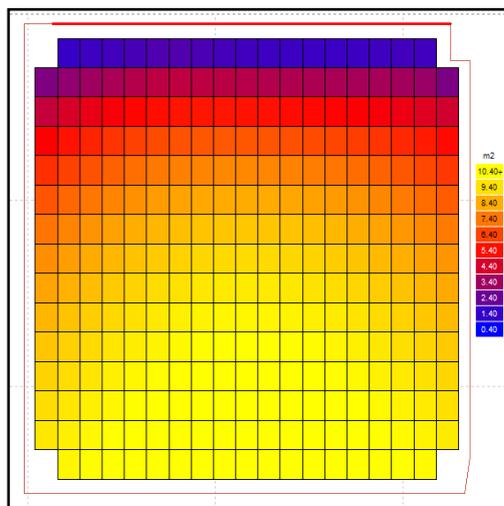


Figure 8.72 : Résultat vue à l'extérieur pour le cas NPH10.

(Source : Prise d'écran par auteur)

5) Le confort thermique :

La bande de confort est : [18°C-26°C].

Le pourcentage du confort est de : 45.00%



Figure 8.73 : Résultat du confort thermique pour le cas NPH10.

(Source : Prise d'écran par auteur)

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats pour l'orientation Nord. Pour l'orientation Sud, les résultats sont présentés en annexes (annexe N°4).

Conclusion:

Le séjour, bien protégé thermiquement et en termes d'intimité, bien éclairé, parfois prolongé par un espace extérieur, est sans conteste la pièce préférée pour le rassemblement de la famille algérienne.

Une grande attention semble portée sur le lien entre le séjour et les espaces extérieurs, par l'intermédiaire de baies larges et généreuses donnant sur des balcons, loggias, terrasses, jardins d'hiver, qui sont autant de prolongements potentiels de séjours souvent trop restreints (Eleb, 2012).

Pour notre étude, les simulations portées sur cette espace (le séjour) montrent que la décision et le choix parmi ces différents cas sont très difficiles et une approche multicritère est vivement recommandée pour résoudre cette problématique.

En effet, la simulation des différents paramètres intervenants dans la conception de la baie nous a confirmé le caractère conflictuel entre ces critères.

Avant d'entamer l'évaluation multicritère par la méthode ELECTRE III, il est nécessaire de synthétiser les différents résultats dans un tableau (tableau 8.3) qui exprime les perceptions qualitatives et quantitatives des différents paramètres simulés pour les différents modèles conceptuel. Les sensations les plus souvent décrites pour FLJ sont exprimées dans le tableau 8.2 ci-dessous. Sachant que La valeur prise en considération du FLJ est celle au milieu du séjour.

Tableau 8.2 : Valeurs recommandées et leurs sensations typiques de FLJ.

(Source : ASE 8911,1989).

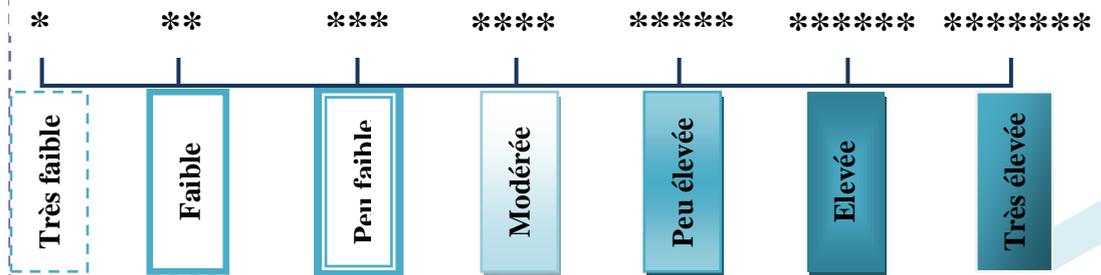
Facteur de lumière du jour	Moins de 1%	de 1% à 2%	de 2% à 4%	de 4% à 7%	de 7% à 12%	Plus de 12%
	Très Faible	Faible	Modéré	Moyen	Elevé	Très Elevé
Zone considérée	Zone éloignée des fenêtres (distance supérieure à 3 fois la hauteur de la fenêtre).			Zone à proximité des fenêtres ou sous des lanternaux		
Impression de clarté	Sombre à peu éclairé		Peu éclairé à Clair		Clair à très clair	
Remarques	Convient aux zones de circulation, stockage etc.		Convient aux locaux de travail		Attention aux éblouissements	
Impression visuelle	Cette zone-----semble être séparée-----de cette zone					
Ambiance	Le local semble être refermé sur lui-même			Le local s'ouvre vers l'extérieur		

Tableau 8.3 : Synthèse des différents résultats des simulations.

(Source : Auteur).

Modèle	Ensoleill. d'été	Ensoleill. d'hiver	Eclairage naturel	confort thermique	Vue à l'extérieur	Isola. Phonique
N25	**	***	0.3	49.40	**	*****
NPV25	*	**	0.2	49.00	*	*****
NPH25	**	***	0.2	49.20	*	*****
S25	***	****	0.8	47.00	**	*****
SPV25	**	***	0.7	48.40	*	*****
SPH25	***	**	0.6	51.60	*	*****
N50	****	****	1.3	47.10	****	*****
NPV50	***	***	1.2	46.60	***	*****
NPH50	***	**	1.0	48.10	***	*****
S50	*****	****	1.8	46.90	****	*****
SPV50	****	***	1.5	47.30	***	*****
SPH50	***	**	1.3	56.00	***	*****
N75	****	**	2.0	51.20	*****	***
NPV75	***	*	1.9	50.00	*****	****
NPH75	**	*	1.5	50.20	*****	****
S75	*****	*****	2.5	46.70	*****	***
SPV75	****	****	2.3	48.00	*****	****
SPH75	***	***	2.1	49.40	*****	****
N100	*****	**	3.1	38.70	*****	*
NPV10	***	*	3.0	41.00	*****	**
NPH10	***	*	3.1	45.00	*****	**
S100	*****	*****	3.6	50.60	*****	*
SPV10	*****	****	3.3	52.50	*****	**
SPH10	****	***	3.2	51.40	*****	**

Une échelle de (7) degrés (échelle de Likert) est prise en considération pour qualifier les performances qualitatives du modèle conceptuel par rapport aux différents critères validés à la simulation.



CHAPITRE N°9

**INTERPRETATION DES RESULTATS PAR
LA METHODE ELECTRE III.**

CHAPITRE N°09:

Interprétation des résultats par la méthode

ELECTRE III

Introduction:

Le processus d'aide à la décision met en scène l'architecte qui a la responsabilité de décider du choix final de la meilleure solution au problème. Il peut intervenir tout le long du processus en donnant ses préférences, ses priorités.

Néanmoins, la méthode ELECTRE facilite le processus d'aide à la décision par une analyse méthodologique et scientifique du problème. On utilise pour cela des formulations claires et des structures rationnelles nécessaires à la modélisation du problème posé.

Nous nous intéressons ici aux problèmes de rangement des alternatives de la meilleure à la moins pour en fin choisir la solution optimale parmi plusieurs.

Ce problème de décision multicritère suppose alors l'existence d'un ensemble d'alternatives, et un ensemble de critères sur lequel se portera la décision. Pour notre cas d'étude on parle des combinaisons possibles pour la conception de la baie d'un séjour d'habitat.

Ce chapitre traite les résultats obtenus par simulation à l'aide de la méthode ELECTRE III, pour en fin aboutir à des graphes qui nous donnent le rangement des différentes solutions proposées.

Le processus consiste donc à composer une base de données issus des simulations pour débiter le traitement des alternatives par le logiciel ELECTRE.

IX.1. Traitement des résultats des simulations :

Avant d'entamer le traitement des données par le logiciel ELECTRE III, il est recommandé de valider les résultats obtenus des simulations cités dans le chapitre N°08. Cette étape consiste à donner un caractère quantitatif pour tous les critères mesurés par ECOTECT.

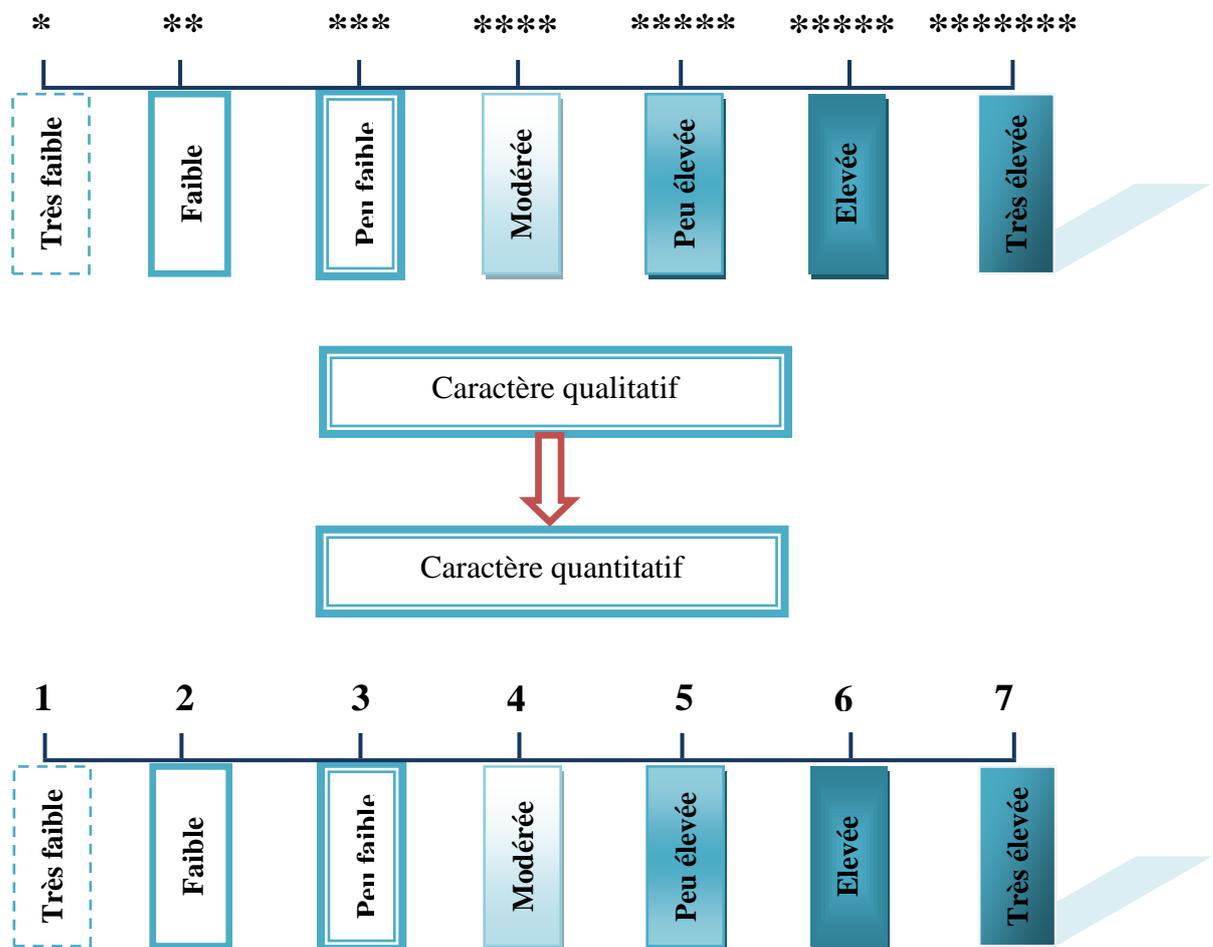


Figure 9.1 : quantification des résultats de simulation.
(Source : Auteur)

Les résultats concernant le critère « *privacité* » sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 9.1 : Synthèse des différents résultats du questionnaire sur la *privacité*.
(*Source : Auteur*).

Cas	L'appréciation dominante	Taux (%)
N25	6	100
NPV25	7	100
NPH25	7	100
S25	6	100
SPV25	7	100
SPH25	7	100
N50	5	85
NPV50	4	79
NPH50	3	75
S50	5	80
SPV50	4	82
SPH50	3	86
N75	2	90
NPV75	3	88
NPH75	3	98
S75	2	98
SPV75	3	87
SPH75	4	79
N100	1	98
NPV10	2	96
NPH10	2	97
S100	1	96
SPV10	2	89
SPH10	2	98

Tableau 9.2 : Synthèse des différents résultats des simulations.

(Source : Auteur).

Modèle	Ensoleill. d'été	Ensoleill. d'hiver	Eclairage naturel	Confort thermique	Vue à l'extérieur	Privacité	Isolation phonique
N25	2	3	0.3	49.40	2	6	7
NPV25	1	2	0.2	49.00	1	7	7
NPH25	2	3	0.2	49.20	1	7	7
S25	3	4	0.8	47.00	2	6	7
SPV25	2	3	0.7	48.40	1	7	7
SPH25	3	2	0.6	51.60	1	7	7
N50	4	4	1.3	47.10	4	5	5
NPV50	3	3	1.2	46.60	3	4	6
NPH50	3	2	1.0	48.10	3	3	6
S50	5	4	1.8	46.90	4	5	5
SPV50	4	3	1.5	47.30	3	4	6
SPH50	3	2	1.3	56.00	3	3	6
N75	4	2	2.0	51.20	6	2	3
NPV75	3	1	1.9	50.00	5	3	4
NPH75	2	1	1.5	50.20	5	3	4
S75	6	5	2.5	46.70	6	2	3
SPV75	4	4	2.3	48.00	5	3	4
SPH75	3	3	2.1	50.40	5	4	4
N100	5	2	3.1	38.70	7	1	1
NPV10	3	1	3.0	41.00	6	2	2
NPH10	3	1	3.1	45.00	6	2	2
S100	7	5	3.6	50.60	7	1	1
SPV10	5	4	3.3	52.50	6	2	2
SPH10	4	3	3.2	51.40	6	2	2

IX.2. Démarches à suivre :

Nous allons maintenant débiter l'exécution de la méthode ELECTRE, et pour nous familiariser avec les fonctionnalités offertes par le logiciel et décrites dans le septième chapitre. Ainsi, ce chapitre nous indique la marche à suivre.

IX.2.1. La saisie des données :

La présente étude comporte 24 actions (solutions possibles) évaluées sur 7 critères : l'éclairage naturel, l'ensoleillement en hiver, l'ensoleillement en été, le confort thermique, l'isolation phonique, la vue à l'extérieur, et la privacité. Nous avons donc le jeu de données suivant (figure 9.2):

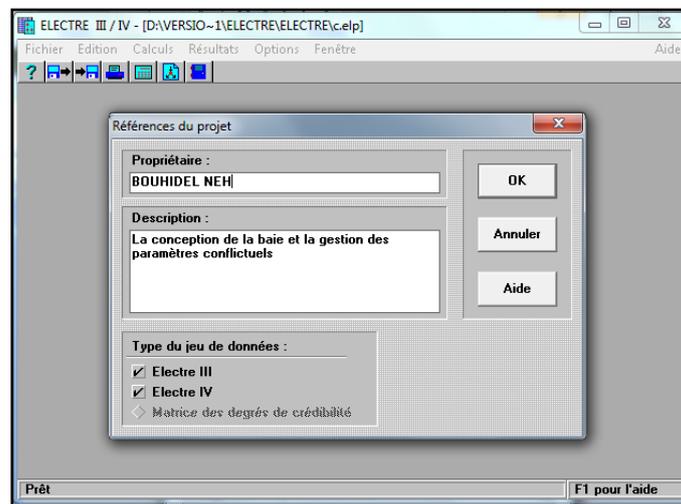


Figure 9.2 : référence du projet.

(Source : Prise d'écran par auteur)

Les actions choisies pour cette étude sont indiquées dans la figure 9.3 comme suit :

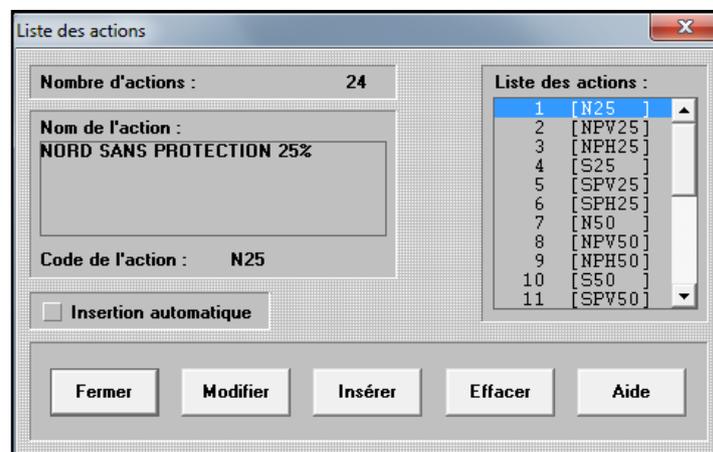


Figure 9.3 : la liste des actions.

(Source : Prise d'écran par auteur)

L'étape suivante consiste à saisir les différents critères illustrés dans la figure 9.4.

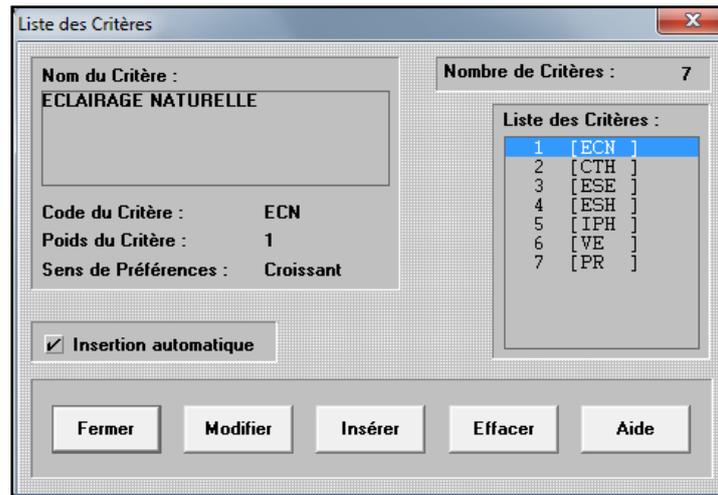


Figure 9.4 : La liste des critères.
(Source : Prise d'écran par auteur)

Nous avons effectué une codification des critères, parce que le logiciel ne prend pas en considération les mots longs (tableau 9.2).

Tableau 9.3 : La codification des critères.
(Source : Auteur).

Nom du critère	Code du critère
L'éclairage naturel	ECN
Le confort thermique	CTH
L'ensoleillement en été	ESE
L'ensoleillement en hiver	ESH
L'isolation phonique	IPH
La vue à l'extérieur	VE
La privacité	PR

Chaque critère est défini par : un poids, un seuil, et un sens de préférence.

Pour déterminer les poids des critères, nous avons préféré de faire un sondage pour un échantillon de 40 architectes de la wilaya de Jijel. Nous avons demandé à chaque architecte d'affecter un poids à chaque critère (voire annexes : le sondage).

Les résultats de ce sondage sont expliqués dans le tableau suivant :

Tableau 9.4 : les résultats des poids des critères d'après le sondage.
(Source : Auteur).

Critère		Poids
L'éclairage naturel		1
L'ensoleillement		1
La ventilation naturelle		0.5
L'isolation phonique		0.5
La vue à l'extérieur		1
La privacité (la vue à l'intérieur)		1
Confort thermique	Dépense thermiques	1
	Gains solaires	

Il faut souligner, néanmoins, que dans notre étude nous n'avons pas considéré des poids distincts pour les différents critères en considérant qu'ils possèdent tous la même importance pour le concepteur. Ainsi, si l'architecte décide de modifier les poids des critères le résultat est forcément différent.

Pour les sens de préférence accordés aux critères, nous l'indiquons dans le tableau suivant :

Tableau 9.5 : le sens de préférence des critères.
(Source : Auteur).

Critères	Sens de préférence
L'éclairage naturel	Croissant
L'ensoleillement en été	Décroissant
L'ensoleillement en hiver	Croissant
L'isolation phonique	Croissant
La vue à l'extérieur	Croissant
La privacité	Croissant
Le confort thermique	Croissant

En ce qui concerne les seuils, nous avons considéré que tous les seuils de tous les critères égales à 0.

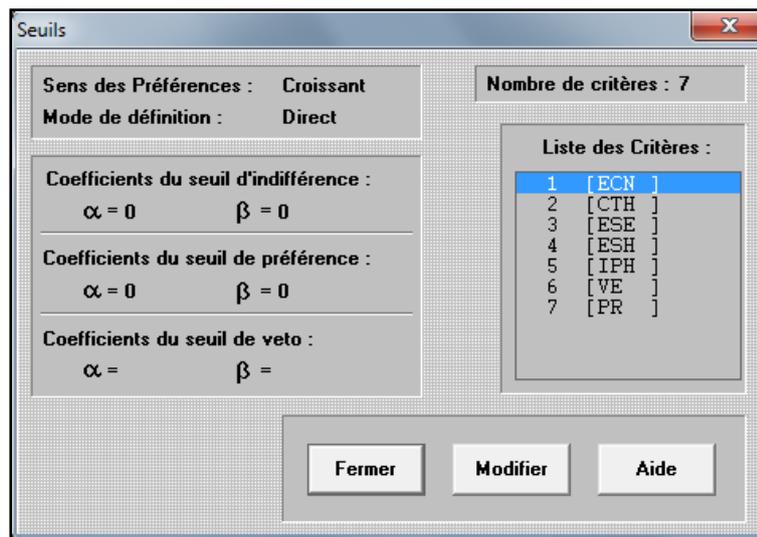


Figure 9.5 : Les seuils des critères.
(Source : Prise d'écran par auteur)

L'étape suivante consiste à saisir les performances de différentes actions pour chaque critère. Les résultats obtenus des simulations avec ECOTECT seront impliqués dans le logiciel ELECTRE (figure 9.6).

	ECN	CTH	ESE	ESH	IPH	VE	PR
N25	0.3	49.4	2	3	7	2	6
NPV25	0.2	49	1	2	7	1	7
NPH25	0.2	49.2	2	3	7	1	7
S25	0.8	47	3	4	7	2	6
SPV25	0.7	48.4	2	3	7	1	7
SPH25	0.6	51.6	3	2	7	1	7
N50	1.3	47.1	4	4	5	4	5
NPV50	1.2	46.6	3	3	6	3	4
NPH50	1	48.1	3	2	6	3	3
S50	1.8	46.9	5	4	5	4	5

Nombre de Critères: 7
 Nombre d'Actions: 24
 49.4
 Fermer Aide

Figure 9.6 : la saisie des performances.
 (Source : Prise d'écran par auteur)

IX.2.2. L'exécution du calcul :

Cette étape consiste à valider la méthode utilisée (pour notre cas sera la méthode ELECTRE III). En suit l'exécution des calculs pour en fin nous donner le rangement final des différentes actions.

Status: **Calculs terminés**

Statistiques :

Actions traitées :	24
Rangs dans la Distillation Descendante :	5
Rangs dans la Distillation Ascendante :	7
Rangs dans le préordre final :	10
Rangs dans le préordre médian :	13

OK

Figure 9.7 : la saisie des performances.
 (Source : Prise d'écran par auteur)

IX.2.3. Les résultats :

1) La matrice des concordances :

La première option Matrice de concordance affiche l'ensemble des indices de concordance globale des paires d'actions (a,b). Cette option n'est disponible que pour les projets de type "ELECTRE III". L'indice de concordance globale c(a,b) est obtenu en effectuant la somme, pondérée par les poids attribués à chaque critère, des indices de concordance $c_j(a,b)$ sur chaque critère.

$c_j(a,b)$ est calculée à partir de la comparaison des actions a et b sur le critère j :

- si a possède une performance supérieure ou égale à celle de b ou si a possède une performance inférieure à celle de b tout en restant indifférente à b: $c_j(a,b)=1$,
- si b est faiblement préférée à a : $c_j(a,b)$ est obtenu par interpolation linéaire et est compris entre **0** et **1**,
- si b est strictement préférée à a : $c_j(a,b)=0$.

Rappelons que cette option ne fait pas apparaître les incomparabilités et ne permet donc, qu'une vue très incomplète du préordre obtenu sur l'ensemble des actions. Il est nécessaire d'étudier le graphe.

	N25	NPV25	NPH25	S25	SPV25	SPH25	N50	NPV50	NPH50	S50	SPV50	SPH50	N75	NPV75	NPH75	S75	SPV75	SPH75	N100	NPV100	NPH100	S100	SPV100	SPH100	
N25	1	0.71	0.86	0.71	0.71	0.57	0.43	0.57	0.57	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43	
NPV25	0.43	1	0.71	0.57	0.71	0.71	0.43	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.29	0.57	0.57	0.29	0.29	0.29	
NPH25	0.57	0.86	1	0.57	0.86	0.71	0.43	0.57	0.57	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43	
S25	0.71	0.57	0.57	1	0.57	0.71	0.43	0.57	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.29	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.43	0.43	
SPV25	0.71	0.71	0.86	0.57	1	0.86	0.43	0.57	0.57	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43	
SPH25	0.57	0.86	0.71	0.57	0.57	1	0.43	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.43	0.29	0.43	
N50	0.57	0.57	0.57	0.71	0.57	0.57	1	0.86	0.71	0.86	0.71	0.71	0.43	0.29	0.29	0.43	0.43	0.29	0.57	0.43	0.43	0.29	0.43	0.43	
NPV50	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.14	1	0.86	0.14	0.71	0.71	0.43	0.43	0.29	0.29	0.29	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43	
NPH50	0.43	0.57	0.43	0.71	0.43	0.71	0.29	0.57	1	0.29	0.57	0.71	0.43	0.43	0.29	0.43	0.43	0.29	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.29	
S50	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.86	0.71	1	0.71	0.71	0.29	0.29	0.43	0.43	0.29	0.29	0.57	0.43	0.43	0.29	0.43	0.29	
SPV50	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.43	0.86	0.71	0.29	1	0.71	0.43	0.29	0.43	0.43	0.29	0.29	0.57	0.43	0.43	0.29	0.29	0.43	
SPH50	0.57	0.71	0.57	0.71	0.57	0.86	0.43	0.71	1	0.29	0.57	1	0.57	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.43	0.43	0.43	
N75	0.57	0.71	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.57	0.71	0.71	0.71	0.57	1	0.71	0.71	0.71	0.57	0.43	0.57	0.57	0.57	0.43	0.43	0.43	
NPV75	0.57	0.57	0.57	0.71	0.57	0.57	0.71	0.71	0.86	0.71	0.71	0.71	0.29	1	0.71	0.43	0.71	0.71	0.43	0.57	0.57	0.29	0.29	0.29	
NPH75	0.71	0.57	0.71	0.71	0.71	0.57	0.71	0.71	0.86	0.57	0.71	0.71	0.29	0.86	1	0.43	0.71	0.71	0.43	0.57	0.57	0.29	0.29	0.29	
S75	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.57	0.57	1	0.57	0.57	0.43	0.57	0.57	0.43	0.43	0.43	
SPV75	0.57	0.57	0.57	0.71	0.57	0.57	0.86	0.71	0.71	0.86	0.86	0.71	0.57	0.71	0.71	0.43	1	0.71	0.57	0.43	0.43	0.29	0.43	0.43	
SPH75	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.86	1	0.71	0.86	0.86	0.57	0.86	0.71	0.43	0.71	1	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43	
N100	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.57	0.43	0.43	0.57	0.57	0.43	0.57	0.57	0.57	0.57	0.43	0.43	1	0.57	0.57	0.57	0.43	0.29	0.29	
NPV100	0.43	0.43	0.43	0.57	0.43	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.71	0.57	0.71	0.57	0.57	0.43	1	0.71	0.29	0.57	0.57	
NPH100	0.43	0.43	0.43	0.57	0.43	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.71	0.57	0.71	0.57	0.57	0.43	1	0.71	0.29	0.57	0.57	
S100	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.57	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.57	0.57	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.86	0.71	0.71	1	0.57	0.57	
SPV100	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.86	0.71	0.57	0.86	0.71	0.71	0.86	0.71	0.71	0.71	0.71	0.86	0.86	0.43	1	0.86
SPH100	0.71	0.71	0.71	0.57	0.71	0.57	0.71	0.71	0.71	0.71	0.86	0.57	1	0.71	0.71	0.86	0.71	0.71	0.71	0.86	0.86	0.86	0.43	0.57	1

Figure 9.8 : Aperçu sur la matrice des concordances.
(Source : Prise d'écran par auteur)

Tableau 9.6 : La matrice des concordances.
(Source : *Prise d'écran par auteur*)

	N25	NPV25	NPH25	S25	SPV25	SPH25	N50	NPV50	NPH50	S50	SPV50	SPH50	N75	NPV75	NPH75	S75	SPV75	SPH75	N100	NPV100	NPH100	S100	SPV100	SPH100
N25	1	0.71	0.86	0.71	0.71	0.57	0.43	0.57	0.57	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
NPV25	0.43	1	0.71	0.57	0.71	0.71	0.43	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.29
NPH25	0.57	0.86	1	0.57	0.86	0.71	0.43	0.57	0.57	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
S25	0.71	0.57	0.57	1	0.57	0.71	0.43	0.57	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
SPV25	0.71	0.71	0.86	0.57	1	0.86	0.43	0.57	0.57	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
SPH25	0.57	0.86	0.71	0.57	0.57	1	0.43	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
N50	0.57	0.57	0.57	0.71	0.57	0.57	1	0.86	0.71	0.86	0.71	0.71	0.43	0.29	0.29	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
NPV50	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.14	1	0.86	0.14	0.71	0.71	0.43	0.29	0.29	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
NPH50	0.43	0.57	0.43	0.71	0.43	0.71	0.29	0.57	1	0.29	0.57	0.71	0.43	0.43	0.29	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.29
S50	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.86	0.71	1	0.71	0.71	0.29	0.29	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
SPV50	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.43	0.86	0.71	0.29	1	0.71	0.43	0.29	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
SPH50	0.57	0.71	0.57	0.71	0.57	0.86	0.43	0.71	1	0.29	0.57	1	0.57	0.57	0.43	0.43	0.43	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
N75	0.57	0.71	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.57	0.71	0.71	0.71	0.57	1	0.71	0.71	0.71	0.57	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
NPV75	0.57	0.57	0.57	0.71	0.57	0.57	0.71	0.86	0.71	0.86	0.71	0.71	0.29	1	0.71	0.43	0.71	0.71	0.43	0.57	0.57	0.29	0.29	0.29
NPH75	0.71	0.57	0.71	0.71	0.71	0.57	0.71	0.86	0.71	0.86	0.71	0.71	0.29	0.86	1	0.43	0.71	0.71	0.43	0.57	0.57	0.29	0.29	0.29
S75	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.57	0.57	1	0.57	0.57	0.43	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
SPV75	0.57	0.57	0.57	0.71	0.57	0.57	0.86	0.71	0.71	0.86	0.86	0.71	0.57	0.71	0.71	0.43	1	0.71	0.57	0.43	0.43	0.29	0.29	0.43
SPH75	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.86	1	0.71	0.86	0.86	0.57	0.86	0.71	0.43	0.71	0.43	0.57	0.57	0.57	0.29	0.29	0.43
N100	0.43	0.57	0.43	0.43	0.43	0.57	0.43	0.57	0.43	0.57	0.43	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.43	0.43	1	0.57	0.57	0.57	0.43	0.29
NPV100	0.43	0.43	0.43	0.57	0.43	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.71	0.57	0.71	0.57	0.57	0.43	1	0.71	0.29	0.29	0.57
NPH100	0.43	0.43	0.43	0.57	0.43	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.71	0.71	0.57	0.71	0.57	0.57	0.43	1	1	0.29	0.57	0.57
S100	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.57	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.57	0.57	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.86	0.71	0.86	1	1	0.57
SPV100	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.86	0.71	0.71	0.86	0.71	0.57	0.86	0.71	0.71	0.86	0.71	0.71	0.86	0.71	0.71	0.86	0.43	1
SPH100	0.71	0.71	0.71	0.57	0.71	0.57	0.71	0.71	0.71	0.71	0.86	0.57	1	0.71	0.71	0.86	0.71	0.71	0.86	0.71	0.71	0.86	0.43	0.57

2) La matrice du préordre final :

La matrice du préordre final offre une vue synthétique des résultats de la méthode de classement, au même titre que le graphe. Il s'agit de deux représentations différentes du même préordre partiel final.

Les actions sont rangées dans l'ordre où elles ont été définies initialement. Le couple (a,b) vérifie une des 4 relations suivantes :

-si a est meilleure que b, le symbole à l'intersection de la ligne de a et de la colonne de b est P pour le jeu de symboles primaire et P' pour le jeu de symboles secondaire,

-Si a est équivalente à b, le symbole est I.

-Si a est moins bonne que b, le symbole est P- .

-Si a est incomparable à b, le symbole est R.

	N25	NPV25	NPH25	S25	SPV25	SPH25	N50	NPV50	NPH50	S50	SPV50	SPH50	N75	NPV75	NPH75	S75	SPV75	SPH75	N100	NPV100	NPH100	S100	SPV100	SPH100
N25	I	I	I	I	I	P	R	P	P	R	P	R	P	P'	P'	P	P'	P'	I	P	P'	I	P'	P'
NPV25	I	I	I	I	I	P	R	P	P	R	P	R	P	P'	P'	P	P'	P'	I	P	P'	I	P'	P'
NPH25	I	I	I	I	I	P	R	P	P	R	P	R	P	P'	P'	P	P'	P'	I	P	P'	I	P'	P'
S25	I	I	I	I	I	P	R	P	P	R	P	R	P	P'	P'	P	P'	P'	I	P	P'	I	P'	P'
SPV25	I	I	I	I	I	P	R	P	P	R	P	R	P	P'	P'	P	P'	P'	I	P	P'	I	P'	P'
SPH25	P'	P'	P'	P'	P'	I	P'	P	P	R	P	P'	P	P'	P'	P	P'	P'	P'	P	P'	P'	P'	P'
N50	R	R	R	R	R	P	I	P	P	P	P	P'	P	P'	P'	P	P'	P'	R	P	P'	R	P'	P'
NPV50	P'	P'	P'	P'	P'	P'	I	P	P'	I	P'	P	P'	P'	P'	P	P'	P'	P	P'	P'	P'	P'	P'
NPH50	P'	P'	P'	P'	P'	P'	I	P	P'	I	P'	P	P'	P'	P'	P	P'	P'	P	P'	P'	P'	P'	P'
S50	R	R	R	R	R	R	P	P	I	P	P'	P	P'	P'	P'	P	P'	P'	R	P	P'	R	P'	P'
SPV50	P'	P'	P'	P'	P'	P'	I	P	P'	I	P'	P	P'	P'	P'	P	P'	P'	P	P'	P'	P'	P'	P'
SPH50	R	R	R	R	R	P	P	P	P	P	P	I	P	R	R	P	R	P'	R	P	P'	R	P'	P'
N75	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P	P'	P'	P'	P'	I	P'	P'	P'	P'	P'	I	P'	P'	P'	P'	P'
NPV75	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	R	P	I	I	P	P'	P'	P	P	P'	P	P'	P'
NPH75	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	R	P	I	I	P	P'	P'	P	P	P'	P	P'	P'
S75	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P	P	P'	P	P'	P	P'	P'	I	P'	P'	P'	P	P'	P'	P'	P'
SPV75	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P'	P	P	P'	P	P	P'
SPH75	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P
N100	I	I	I	I	I	P	R	P	P	R	P	R	P	P'	P'	P	P'	P'	I	P	P'	I	P'	P'
NPV100	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'	P'	I	P'	P'	P'	P'	P'	I	P	P'	I	P'	P'
NPH100	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P'	P	P	I	P	P	I
S100	I	I	I	I	I	P	R	P	P	R	P	R	P	P'	P'	P	P'	P'	I	P	P'	I	P'	P'
SPV100	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	R	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	I	P'
SPH100	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	I

Figure 9.9 : Aperçu sur la matrice du préordre final.

(Source : Prise d'écran par auteur)

Tableau 9.7 : La matrice du préordre final.
 (Source : *Prise d'écran par auteur*)

	N25	NPV25	NPH25	S25	SPV25	SPH25	N50	NPV50	NPH50	S50	SPV50	SPH50	N75	NPV75	NPH75	S75	SPV75	SPH75	N100	NPV100	NPH100	S100	SPV100	SPH100
N25	I	I	I	I	I	I	R	P	P	R	P	R	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
NPV25	I	I	I	I	I	I	R	P	P	R	P	R	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
NPH25	I	I	I	I	I	I	R	P	P	R	P	R	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
S25	I	I	I	I	I	I	R	P	P	R	P	R	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
SPV25	I	I	I	I	I	I	R	P	P	R	P	R	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
SPH25	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	R	P	P	P	P
N50	R	R	R	R	R	R	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	R	P	P	P	P	P
NPV50	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	R	P	P	P	P	P
NPH50	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	R	P	P	P	P	P
S50	R	R	R	R	R	R	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	R	P	P	P	P	P
SPV50	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	R	P	P	P	P	P
SPH50	R	R	R	R	R	R	I	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	R	P	P	P	P	P
N75	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
NPV75	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
NPH75	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
S75	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
SPV75	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
SPH75	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
N100	I	I	I	I	I	I	R	P	P	R	P	R	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P
NPV100	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
NPH100	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
S100	I	I	I	I	I	I	R	P	P	R	P	R	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P	P
SPV100	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P
SPH100	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	I	P	P	P	P

3) Les distillations :

L'algorithme de rangement d'ELECTRE III utilise la matrice des degrés de crédibilité pour construire deux classements selon les procédés dits de distillation descendante et de distillation ascendante : la distillation descendante sélectionne au fur et à mesure les meilleures actions pour terminer avec les plus mauvaises alors que la distillation ascendante sélectionne au fur et à mesure les plus mauvaises actions pour terminer avec les meilleures. On obtient ainsi deux préordres complets sur l'ensemble des actions.

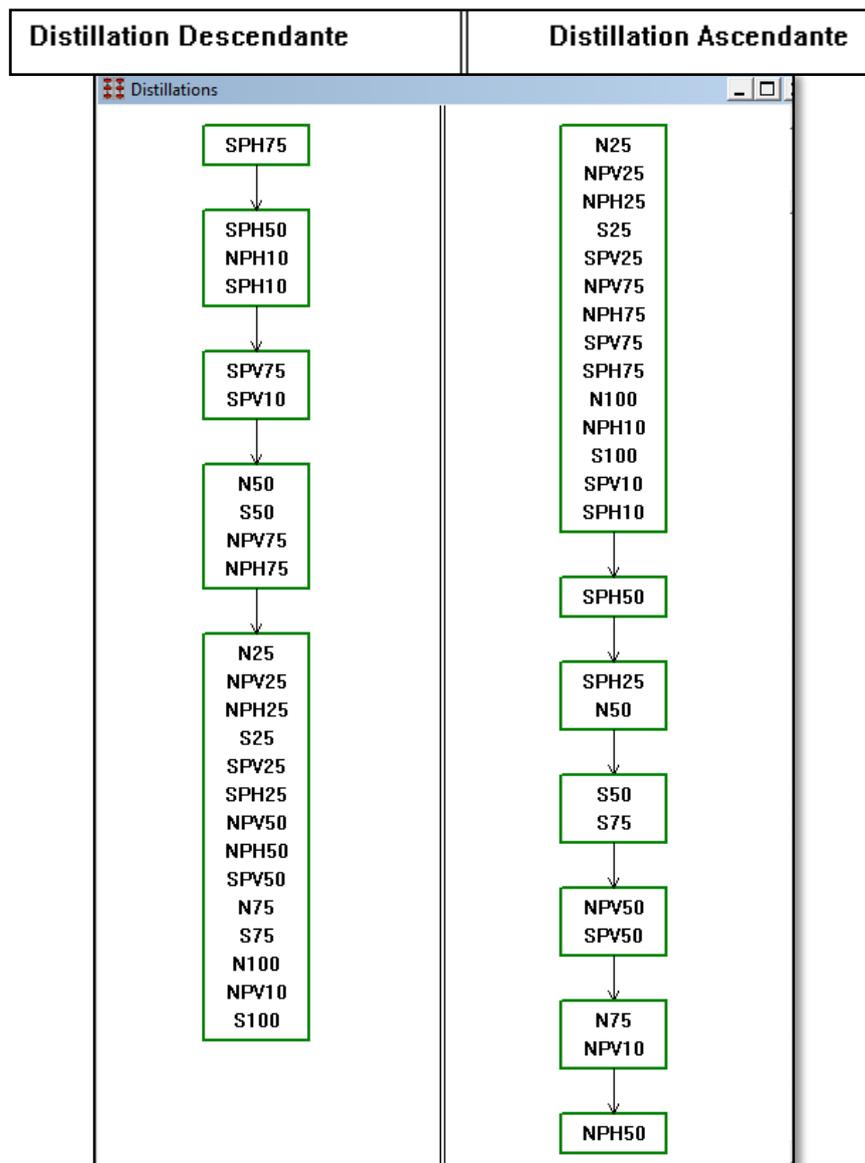


Figure 9.10 : Distillations.
(Source : Prise d'écran par auteur)

4) Le graphe final :

Cette option permet de visualiser le préordre final sous la forme d'un graphe.

Afin d'alléger la représentation, tous les arcs de transitivité sont omis. Il suffit qu'il existe une suite d'arcs consécutifs qui relie une action a vers une action b pour pouvoir affirmer que l'action a est meilleure que l'action b dans le préordre obtenu.. Deux actions non reliées par un arc ou par une succession d'arcs consécutifs sont incomparables.

Le préordre final obtenu sur les actions de l'ensemble de référence est modélisé par le graphe 9.1.

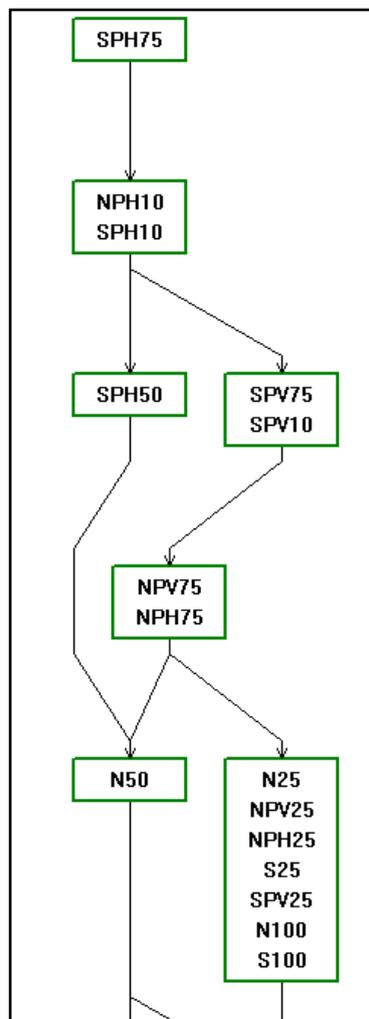
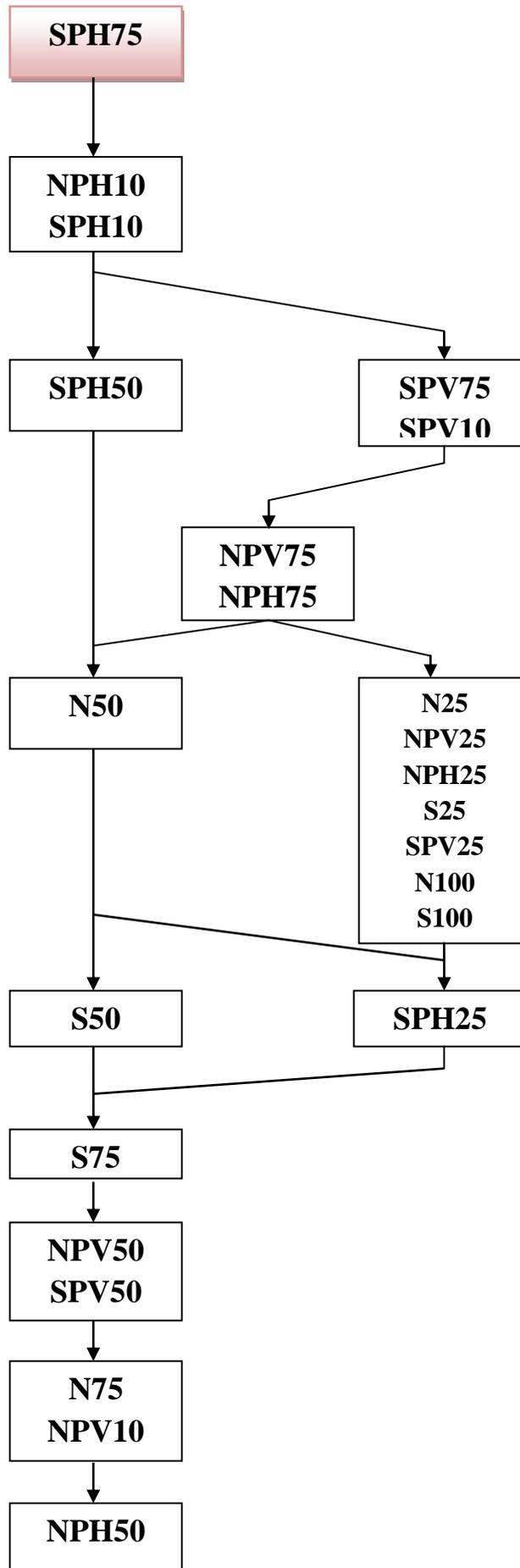


Figure 9.11 : Graphe final.
(Source : Prise d'écran par auteur)



Graphe 9.1 : Graphe final.
(Source : Auteur)

Conclusion :

Finalement, après le calcul du rangement avec la méthode ELECTRE, L'alternative SPH75 serait alors la solution à adopter selon le graphe 9.1.

Si on vérifie à nouveau la performance de l'alternative choisie par rapport à l'ensemble des critères on a :

Tableau 9.8 : les performances de l'alternative choisie.
(Source : Auteur).

Critère	Performance
L'éclairage naturel	2.1%
L'ensoleillement en été	Peu faible
L'ensoleillement en hiver	Peu faible
L'isolation phonique	Modéré
La vue à l'extérieur	Peu élevé
La privacité	Modéré
Le confort thermique	50.40%

En vérifiant la performance de l'alternative classée au top du rangement (SPH75) on constate que vraiment elle présente une bonne performance au niveau de l'éclairage naturel avec un FLJ de 2.1% qualifier comme un niveau modéré. Ainsi pour l'isolation phonique, la vue à l'extérieur, et la privacité.

De même un pourcentage de 50.40% pour le confort thermique peut être moins des espérances souhaitées. Néanmoins, on peut procéder à des solutions architecturales pour améliorer la performance de ce modèle au niveau du confort thermique. Soit par la proposition du renforcement de l'isolation au niveau de la fenêtre pour minimiser les déperditions thermiques en hiver. Ainsi par l'ajout des rideaux ou bien des stores légers en été.

Un bon aménagement (figure 9.10) de l'espace architecturale peut aussi contribuer à la bonne exploitation des résultats obtenus par la simulation en ce qui concerne le confort visuel et la répartition de l'éclairage naturel à travers l'espace. Plus brièvement ça reste des solutions architecturales plutôt que technique.

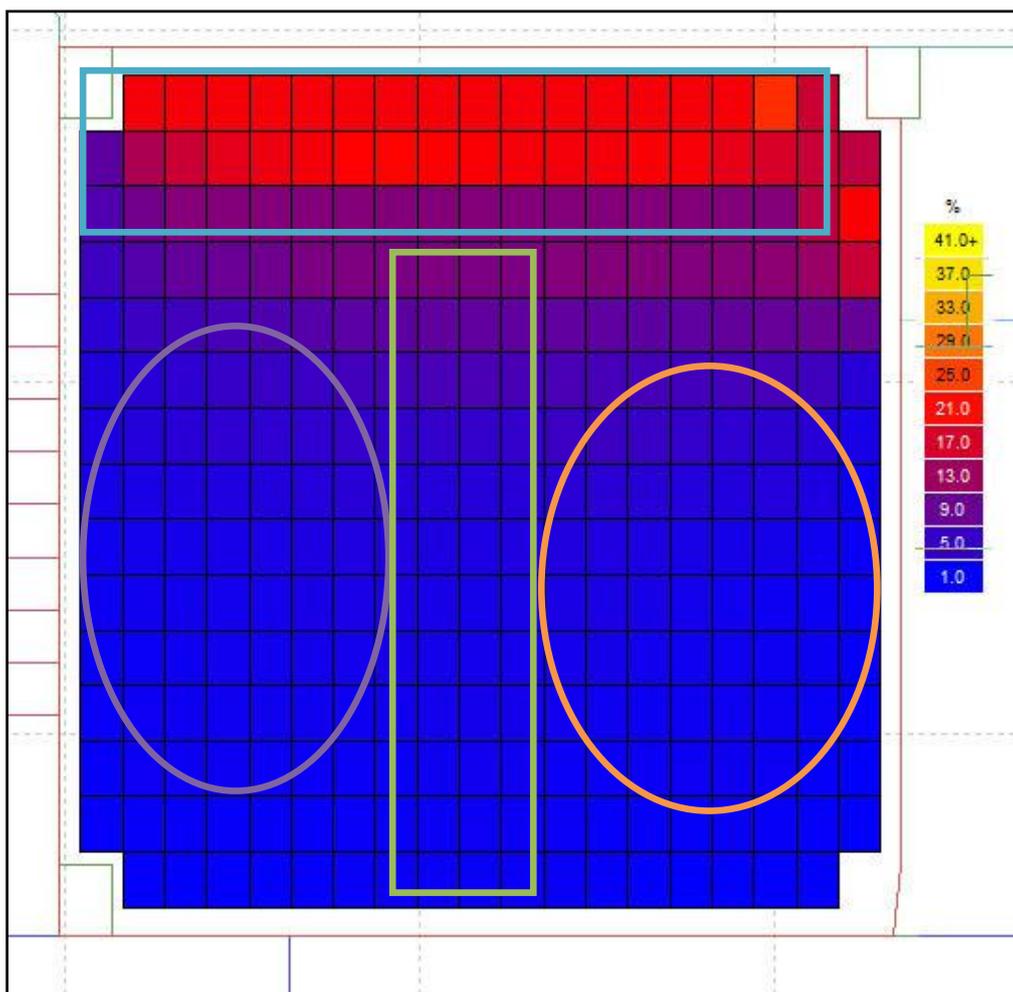
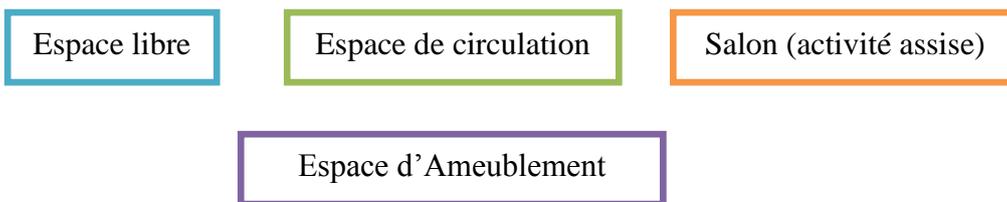


Figure 9.12 : Proposition d'aménagement.
(Source : Auteur)

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale:

On a toujours cherché en effet à ouvrir au maximum les fenêtres. Ce qui a causé des contradictions: les très grandes baies causent une forte déperdition de chaleur en hiver. Les techniques à ce niveau ont beaucoup, ces solutions plutôt techniques que conceptuelles nous obligent à chercher autres approches pour résoudre cette problématique (Simon et Hauglustaine, 2002). Il y a plusieurs critères pour la conception de fenêtre. De même que le cas dans la plupart des décisions un concepteur de bâtiment doit faire.

Ainsi, la fenêtre structure l'espace et joue un rôle essentiel dans la construction de l'atmosphère d'un logement: d'une part, en tant qu'élément constructif possédant ses propres proportions et matériaux, d'autre part, dans la position qu'elle occupe dans le mur, mais également parce que c'est à travers elle que la lumière entre dans la pièce (Séraphin, 2013).

Ce travail a cherché à développer une méthode d'aide à la décision pour la conception d'une baie ciblée pour les phases initiales. Pour cela, nous avons articulé des concepts de conception architecturale, approche multicritère, en obtenant une méthode basée sur l'analyse multicritère d'alternatives.

L'étude du processus de conception a révélé les paramètres qui influencent les comportements de la fenêtre et les critères qui peuvent être utilisés pour une évaluation de sa performance. Nous avons vérifié qu'une méthode basée sur la comparaison de différentes alternatives de projet supplantait les difficultés liées à l'inexistence de paramètres conflictuels pour le classement de des alternatives.

Aussi, la méthode développée fournit des résultats qualitatifs et quantitatifs, en présentant l'avantage de pouvoir être appliquée pour des situations dans lesquelles des indices de ce type sont indisponibles. En outre, le recours à la méthodologie d'analyse multicritère et à la méthode d'aide à la conception permet l'exécution d'études de performance de la baie basées sur des données présentant une certaine imprécision.

Grâce à cela, les données utilisées peuvent provenir de simulations numériques dont la précision est quelques fois défavorisée par les hypothèses utilisées dans la modélisation des ambiances de confort. De cette façon, nous obtenons des rangements qui décrivent la performance de la solution architecturale optimale pour les critères considérés.

Pour l'exécution des simulations, nous avons utilisé le logiciel ECOTECT pour la prédiction de du comportement du séjour vis-à-vis les combinaisons possibles pour les ouvertures.

Ce problème de décision multicritère suppose alors l'existence d'un ensemble d'alternatives, et un ensemble de critères sur lequel se portera la décision.

En vérifiant la performance de l'alternative classée au top du rangement (SPH75) on a constaté qu'elle présente une bonne performance au niveau de l'éclairage naturel, l'isolation phonique, la vue à l'extérieur, et la privacité.

Néanmoins, on peut procéder à des solutions architecturales pour l'optimisation de la performance du modèle choisi au niveau du confort thermique, par la proposition des solutions architecturales plutôt que technique.

Un bon aménagement de l'espace architectural peut aussi contribuer à la bonne exploitation des résultats obtenus par la simulation en ce qui concerne le confort visuel et la répartition de l'éclairage naturel à travers l'espace.

Nous concluons le travail en donnant les avantages et les inconvénients de cette méthode d'aide à la conception architecturale dans la conception de la baie et en présentant les perspectives et des suggestions pour des études ultérieures dans ce domaine d'études.

Finalement, la méthode ELECTRE a été développée pour servir dans la l'aide à la conception, en mettant en œuvre, dans le contexte de la pratique de projet, un outil d'interaction entre le concepteur et le processus d'évaluation des solutions architecturales.

Nous avons cherché à développer un schéma simple et adéquat pour l'utilisation par des architectes. Nous croyons que cet utilitaire, par ses caractéristiques, représente

une grande contribution dans la recherche de bâtiments durables du point de vue environnemental, pour assister, alors que l'on se trouve encore dans la phase d'avant-projet, à la prise de décision (De Castro, 2005).

Quelques limitations de la méthode, néanmoins, ont été perçues : en premier lieu, un nombre très grand de simulations est nécessaire pour la détermination des comportements de l'ouverture et ce nombre grandit au fur et à mesure que le nombre de paramètres sont considérés ; en second lieu, les résultats obtenues lors de la simulation sont limités par les conditions climatiques (ciel couvert) considérées dans le logiciel ECOTECT.

Ainsi, le premier problème peut être traité grâce à une analyse plus détaillée des solutions, pour vérifier s'il y a quelques alternatives typiques de projet qui présentent des comportements qui puissent, sans grand préjudice, être utilisées pour toutes les autres solutions de projet. Si cela est possible, le problème du logiciel de simulation peut être résolu en créant une banque de données contenant les conditions climatiques algérienne pour créer un nouveau logiciel qui combine les deux volets de cette recherche : la simulation des paramètres de conception, et l'application de la méthode ELECTRE. Ces études n'ont pas été réalisées dans le cadre de cette recherche et nous laissons ces améliorations comme des perspectives pour des travaux futurs.

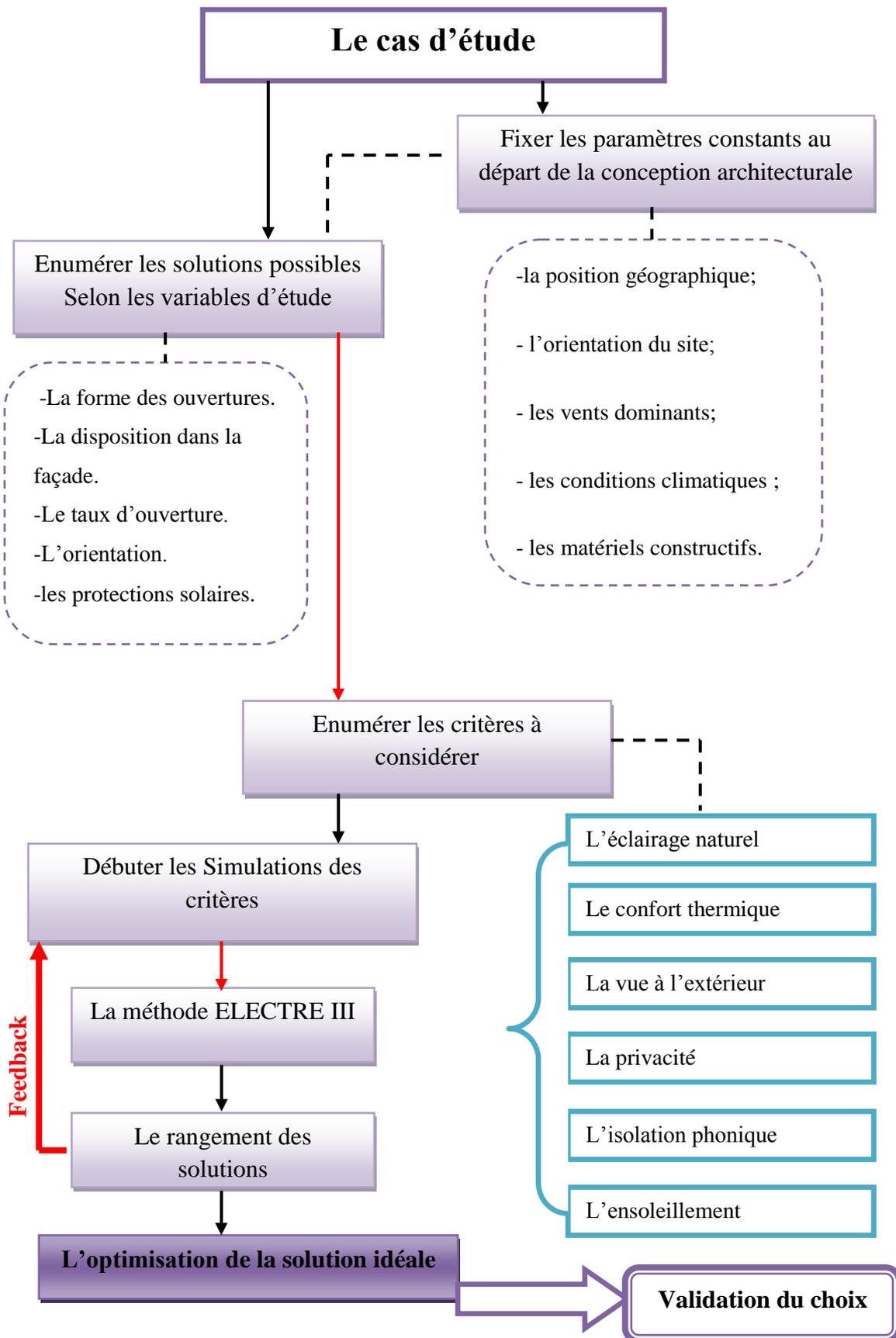


Figure 2: Le modèle conceptuel pour une approche multicritère.
(Source: Auteur)

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie :**Ouvrages et mémoires:**

Adophe L., L'aide à la décision technique dans la conception architecturale, 1991.

Alexander C., Notes on the synthesis of form. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, 1964.

Arnauld A., La logique ou l'art de penser (La Logique de Port Royal). Paris, 1662.

Arnold F., Le logement collectif. Le Moniteur, Paris, 1996.

Arneheim R., Visual thinking. University of California Press, Berkeley, 1969

Baker N., Steemers K., De Herde A., et Bodart M. Chapter 4: The daylight design of spaces. Daylight Design of Buildings. James and James, London, H & Y Printing Ltd, 2002.

Baltus Catherine et Hauglustaine Jean-Marie, Types de Vitrages, Pour le compte de : Ministère de la Région wallonne, Direction Générale de Technologies, de la Recherche et de l'Energie, 2003

Battle G. Mc Carthy C., Sustainable Ecosystems and the built environment. Wiley – Academy ,2000

Behling, S. Behling, S., Solar power, the evolution of sustainable Architecture. Prestel, Munich, London, NY, 2000.

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),

Benharkat Sarah, impact de l'éclairage naturel zénithal sur le confort visuel dans les salles de cours, mémoire de magister, université de Constantine, 2006.

Benzagouta- Debache. S., la conception sonore des bâtiments d'habitations: Cas du logement collectif, Thèse de Doctorat d'état en Architecture, 2004.

Bertrand Jérôme, le châssis de fenêtre en bois, carnet d'entretien, édités par la Direction des Monuments et des Sites de la Région de Bruxelles-Capitale, 2008.

Bollnow Otto Friedrich et **Tür und Fenster**, in: Mensch und Raum, première édition 1963, Königshausen Neumann GmbH, Würzburg, 2011.

Bouvier François, « Eclairage naturel », Technique de l'ingénieur, Vol. C6, n°C 3 315, Paris, 1981.

Bonneaud F ; Bernard P et Adolphe L, Efficience des outils d'aide à la conception, proposition d'une grille d'analyse multicritères. EURAU'04. European symposium on research in architecture and urban planning, Marseille, France, 2004.

Borillo M et Goulette J.-P., Cognition et création: Explorations cognitives des processus de conception, Mardaga. Sprimont, Belgique.

Boudon Philippe, De l'architecture à l'épistémologie -La question de l'échelle-, PUF, 1992.

Boudon Philippe, Sur l'espace architectural. Essai d'épistémologie de l'architecture. Dunod Editeur Bordas, coll. « Aspects de l'urbanisme », Paris, 1971.

Brandi U. et Geissamar C., Lightbook, the practice of lighting design. Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin, 2001.

Breviglieri Eduardo, Méthode d'aide à la conception architecturale basée sur l'analyse multicritère et sur des données simulées des comportements des bâtiments, thèse de doctorat, Université fédérale de Rio De Janeiro, Brésil, 2005.

Brown W.C. et Ruberg K., Facteur de performance des fenêtres, regard sur les sciences du bâtiment. CNRC.NRC. Institut de recherche en construction. pub. Documentation technique, Regard 88 sur la science du bâtiment. Canada, 1988.

Cantin R et al, « complexité du confort thermique dans les bâtiments » in actes du 6^{ème} congrès européen de science des systèmes, Paris du 19 au 22 septembre 2005.

Charbonneau Jean-Yves, Confort thermique à l'intérieur d'un établissement, Bibliothèque nationale du Québec, 2004.

Chiara Silvestri, perception et conception en architecture non-standard, thèse de doctorat, 2009, Université Montpellier II.

Cobelver Adams, le verre et les produits verriers -les fonctions des vitrages-, note d'information technique 214, 1999.

Colquhoun Alain, Architecture moderne et changement historique, édition Pierre Mardagua, 1985.

Courgey S. Oliva JP, La conception bioclimatique des maisons confortables et économes. Terre vivante, Mens, France ,2006.

CNERIB, Document technique réglementaire DTR C3.1.1, Isolation acoustique des parois aux bruits aériens, Règles de calcul, Alger, 2004.

CSTB, Certification HQE des bâtiments tertiaires, millésime 2005, système de management environnemental d'opération (SMO) et exigeants par cible. CSTB, France, 2005.

CSTB, Confort acoustique, Référentiel technique de certification « Bâtiments Tertiaires » Démarche HQE, 2005.

Daniels K., Low tech light tech high tech, Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin,1988.

Daniels K., The technology of ecological building, Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin, 1997.

Deletre J.J. Mémento de prises de jour et protections solaires. Grenoble: Ecole d'Architecture de Grenoble, 2003.

Derek Phillips, Daylighting "Natural light in architecture", ELSEVIER, 2004.

Déribère Maurice, la lumière dans notre vie, diagrammes, n°113-ed- du GAP-Monaco,1966.

Déribère Maurice et Pierrette Chauvel, L'éclairage naturel et artificiel dans le bâtiment, Edition Eyrolles, Paris, 1968.

Dessain et Tolra, Grammaire de l'architecture, Edition Française Corinne Booth, VUEF, 2003.

Depecker P., Constitution et modes de transfert d'un savoir scientifique dans le champ de l'architecture – Le cas de la thermique. Thèse de Doctorat, Institut National des Sciences appliquées de Lyon, France, 1985.

Drozd Céline, Les ambiances dans la conception architecturale : une « histoire » de représentations, Colloque international « Faire une ambiance », CRESSON - Centre de Recherche sur l'Espace Sonore et l'Environnement Urbain, 2009.

Gamba René, Les méthodes d'évaluation de la qualité acoustique des bâtiments tertiaires, Paris, 2011.

Givoni B., « l'homme, l'architecture et le climat », édition le Moniteur, France, 1978.

Hillier B., Space is the machine: A configurational theory of architecture, Space Syntax, London, UK, 2007.

Izard Jean Louis, Architecture d'été : construire pour le confort d'été. Aix-En-Provence : EDISUD.1993.

Izard Jean Louis, Maîtrise des ambiances : contrôle de l'ensoleillement et de la lumière en architecture ». Marseille : Ecole d'Architecture de Marseille Luminy. 1994.

Krippner Roland et Musso Florian, Baies et fenêtres, édition Birkhauser, 2008.

Le Corbusier, Urbanismes, G. Grès et Cie, Paris, 1925.

Liébard Alain, De Herde André, traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques, édition moniteur, 2005.

Mazria Edward, Le guide de l'énergie solaire passive, édition Parenthèses, 1981.

Mayag B., Grabisch M. et Labreuche Ch., A representation of preferences by the choquet integral with respect to a 2-additive capacity. Theory and Decision, 2011.

Mestelan Patrick, L'ordre et la règle: vers une théorie du projet architectural,

Meyer P et Roubens M., Choice, ranking and sorting in fuzzy multiple criteria decision aid. In J. Figueira, S. Greco et M. Ehrgott, éditeurs: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys,. Springer Verlag, New York, 2005.

Miguet F, Paramètres physiques des ambiances architecturales : Un modèle numérique pour la simulation de la lumière naturelle dans le projet urbain. Thèse de doctorat de l'Université de Nantes. Nantes : Université de Nantes, octobre 2000.

Mouffouk Mostapha, les gestions des conditions d'éclairage naturel à travers le vitrage intelligent, mémoire de magister, université Ammar Thelidji Laghouat, 2008.

Mousseau V., Figueira J. et Naux J.-P., Using assignment examples to infer weights for ELECTRE TRI method: Some experimental results. *European Journal of Operational Research*, 2001.

Mousseau V. et Slowinski R., Inferring an ELECTRE TRI model from assignment examples. *Journal of Global Optimization*, 1998.

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,

Murofushi T. et Sugeno M., An interpretation of fuzzy measure and the choquet integral as an integral with respect to a fuzzy measure. *Fuzzy Sets and Systems*, 1989.

Neumeyer Fritz et Die Augen des Hauses, Das Fenster als architektonische Form, in: *Werk, Bauen + Wohnen 9/2007*, Zurich, 2007.

Noebel Walter A., Das Fenster und die Struktur des Hauses, in: MÄCKLER Christoph (collectif), *Dortmunder Architekturheft No. 19 Stadtbaukunst: Das Strassenfenster (Catalogue pour les Dortmunderarchitekturtag No. 8)*, Lehrstuhl Städtebau, Universität Dortmund, 2007.

Obenga Théophile, *La géométrie égyptienne*, , édition l'Harmattan, 1995.

Pasini Ivan et al., *Daylighting guide for Canadian commercial buildings*. Ontario: Travaux Publics et Services Gouvernementaux. Canada, Août 2002.

Pineau C, *Psychologie différentielle du confort; Etude des besoins individuels en matière de confort dans les logements*. Thèse de doctorat, Université Paris V, 1980.

Ravéreau André, *Le M'Zab une leçon d'architecture*, édition Sindbad, 1981.

Reichlin Bruno in: Corrodi Michelle et Spechtenhauser Klaus, Lichteinfall – Tageslicht im Wohnbau, Birkhäuser et ETH Wohnforum, Bâle, 2008.

Reiter S. et De Herde A. L'éclairage naturel des bâtiments (2de édition) Presses universitaires de Louvain ,2004 .

Reyntiens Patrick , The beauty of stained glass, boston bullfinch press book,1990.

Roughi V., Histoire de la lumière; A-colin, Paris 1948.

Roy B., ELECTRE III : Un algorithme de classements fondé sur une représentation floue des préférences en présence de critères multiples. Cahiers du CERO, 1978.

Roy B. et D. Bouyssou, Aide multicritère à la décision: Méthodes et cas. Economica, Paris, 1993.

Roy B., Méthodologie multicritère d'aide à la décision. Ed. Economica, 1985.

Sergent F., Manuel alphabétique du propriétaire et du locataire ou sous-locataire, Roret, Paris, 1829.

Sigrid.R. De. Herde.A, l'éclairage naturel des bâtiments. Ministère de la région de WALONNE, Université catholique de Louvain, Belgique, 2001.

Simon F. et Hauglustaine JM., La fenêtre et la gestion de l'énergie - Guide pratique pour architectes, Ministère de la Région Wallonne, 2002.

Tabet Aouel K., The interaction of view window design and shading devices, unpublished PHD thesis, Sheffield university, UK,1991.

Terrier Christian et Vandevyver Bernard, "L'éclairage naturel", fiche pratique de sécurité, Paris : ED 82, Travail et Sécurité, Mai 1999.

Vandenplas A., Comité National Belge de l'Eclairage- Commission de l'Eclairage Naturel, L'éclairage naturel et ses applications. Bruxelles : S.I.C, 1964.

Vallée Nicole, Architecture et nature: 18 exemples internationaux, édition moniteur, 1980.

Von Miess Pierre, De la forme au lieu : une introduction à l'étude de l'architecture, Presses polytechniques et universitaire romandes, Lausanne, Suisse, 1993.

Wajcman Gérard, Fenêtre "Chroniques du regard et de l'intime", Edition Verdier, 2004.

Zemmouri Noureddine, daylight availability integrated modelling and evaluation: a fuzzy logic based approach, these de doctorat, université de Biskra, 2005.

Zemmouri Noureddine, Daylight optimisation for energy conservation in building: with reference to Algeria, University of bath. school of architecture and building engineering, 1987.

Zurbuchen Anna, Habiter: Une affaire de fenêtre, Enoncé théorique Master EPFL - ENAC Architecture -, 2013.

Articles scientifiques:

Andersen M., Kleindienst S., Yi L., Lee J., Bodart M. et Cutler B., An Intuitive Daylighting Performance Analysis and Optimization approach. Building Research and Information, 36(6), p. 593-607, 2008.

Boudon P., Sur l'espace architectural. Essai d'épistémologie de l'architecture, Ed. Dunod, Paris, 1971.

Bousquet Christian, L'habitation mozabites au m'zab, Editions du CNRS annuaire de l'Afrique du Nord Tome XXV, 1986.

Bresler Henri, Les fenestres de Paris, Atelier parisien d'urbanisme, mars 2002.

Cetegen, D.; Veitch, J.A. et Newsham, "view size and office luminance effects on employee satisfaction", NRCC-50852, 2008, pp. 243-252.

Daniel Siret, L'illusion du brise-soleil par Le Corbusier, publié dans "Colloque langages scientifiques et pensée critique : modélisation, environnement, décision publique, Cerisy : France ,2002.

Dominique Raynaud, Contrainte et liberté dans le travail de conception architecturale, Slightly revised for Revue française de Sociologie, 2004, 45(2): pp 339-366

Fleury et Le Bart, Le projet FASIA, la fenêtre à store intégré automatique et autonome : Enveloppe du bâtiment et RT 2000, Chauffage, ventilation, conditionnement d'air 2002, pp 34 – 36

Floru Robert, éclairage et vision, inrs, note scientifique et technique, NS 149, 1996, p 133.

Giesen M., The window in traditional domestic architecture of the arab world, Document - Swedish Council for Building Research A. 1984, n° 13, pp. 27-33.

Goetzberger A., Schmid J. et Wittwer V., 'Transparent Insulation System for Passive Solar Utilization in Buildings', 1st E.C. Conference on Solar Heating, Amsterdam, 1984.

Gómez and Alcántara A., "The window in the building tradition of the sub humid tropic", International Conference "Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment", May 2005, Santorini, Greece, pp 1073-1076.

Goulette, J. P., Représentation des connaissances spatiales pour la conception architecturale. Contribution au raisonnement qualitatif, Thèse de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, 1997.

Gratia E. et De Herde A., The most efficient position of shading devices in a double-skin façade. Energy and Buildings - 39, 3, 2007. pp. 364-373.

Habets, The integration of the window as a passive solar collector in the architectural design, Document - Swedish Council for Building Research 1984, pp 40-45.

Hamel, R., «A model of the architectural design process, and some implications», in Automation Based Creative Design, édité par A. Tzonis et I. White, Elsevier Science B.V, 1994, pp. 333-347.

Hansen A. J. et **Van Santen C.**, Window and daylighting, Document - Swedish Council for Building Research A. 1984, n° 13, pp. 124-127.

Hasan A et **Khan A. A.**, Solar chart and sunbreak protractor, BUILD international, January/February, 1978, pp.42-52.

Hester Hellinga et **Truus de Bruin-Hordijk**, "A new method for the analysis of daylight access and view out", 2004, p 4.

Kleindienst S., Bodart M. et Andersen M., Graphical Representation of Climate-Based Daylight Performance to Support Architectural Design. Leukos, the Journal of the Illuminating Engineering Society of North America, 5 (1), p. 39-61, 2008.

Liljefors, Window design and perceived interior qualities in dwellings, Document - Swedish Council for Building Research 1984, pp 140 – 143.

Louis M. J. et **Schwartz T. A.**, Designing replacement window systems, Progressive Architecture A. 1992, vol. 73, n° 10, pp. 42-48.

Ludlow A M., the function of windows in building, Lighting Research and technology, Jun 1976, Vol8 N°2, pp.57-68.

Markus Thomas, The function of windows a reappraisal, Build sci. Vol2, 1967, pp. 97-121.

M Boubekri et **L.L. Boyer**, Optimisation of windowdesign forther mal, lighting and occupant appraisal considerations, Solar world congress, 1991, pp.2741-2746.

Mc Gowan Alex, Conception, sélection et mise en service des fenêtres, société canadienne d'hypothèque et de logement, 2008, p 24.

Monique Eleb et **Philippe Simon**, Entre confort, désir et normes: le logement contemporain, UMR/AUSSER C.N.R.S./MCC n°3329, Aout 2012.

Richter Greer N, Windows are far from what they used to be, A. 1987, vol. 76, n° 3, pp. 60-63.

Smith Peter R., Windows and sunlight penetration, BUILD international, May/June 1972, pp. 173-177.

Tabet Aouel K., Windows and lighting: design of visual comfort. Proceedings of CIE conference on "Comfort and efficiency within interior and exterior lighting systems", Bucharest Romania. Vol 1,2002, pp 122-131.

Talmy L., «How language structures space», in Spatial orientation: theory research and application, édité par H. L. Pick et L. P. Acredolo, Plenum Publishing Corporation, New-York,1983.

Tiller Dak, Qualité de l'éclairage regard sur la science du bâtiment 1992,10p. disponible sur: www.rnc.ca/irc/bsi/92-5.f.html.

Valette et Jean-René, « Les Fenêtres – Architecture et écriture romanesque », in Lancelot ou le Chevalier de la charrette, L'École des Lettres, mars 1997, n°10.

Sites d'internet:

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.

Eugène Viollet-le-Duc, Dictionnaire raisonné de l'architecture française du XIe au XVIe siècle - Tome 5, Édition Bance- Morel de 1854 à 1868. Disponible en ligne sur: http://fr.wikisource.org/wiki/Dictionnaire_raisonn

Energie+: <http://energie.wallonie.be/energieplus/entree.htm>.

Outils solaires : <http://www.outilssolaires.com/archi/default.htm>.

<http://www.satel-light.com>.

Serre Jean-François, De la signification de l'architecture à la sémiologie urbaine, Publié le 20 octobre 2013, disponible sur : <http://urbainserre.blog.lemonde.fr/2013/10/20/xiv-de-la-signification-de-larchitecture-a-la-semiologie-urbaine/>

Annexes

Résumés

Résumé:

La baie est un des plus complexes composants du bâtiment en raison du grand nombre de rôles contradictoires qu'elle doit jouer: éclairage et occultation, vue dehors et recherche d'intimité, pénétration du soleil et protection solaire. Il a toujours été difficile de répondre à toutes ces demandes surtout que la conception de la baie exige la gestion de tous ces paramètres conflictuels.

Avec l'avènement du développement durable les architectes ont entrepris de chercher l'optimisation et la gestion des différents paramètres de la baie mais la plupart des solutions se rangent plutôt dans la catégorie technique que conceptuelle. La prise en compte de cet aspect dans l'acte de bâtir va de soi puisque l'architecte se doit de concevoir une ambiance confortable. Notre travail consiste à chercher un modèle conceptuel pour la baie qui permet la gestion de tous ses paramètres, tout en basant sur un langage architectural qui aide les architectes à la conception de la baie tout en répondant aux exigences techniques de cette dernière.

Nous avons fixé comme objectifs à atteindre ce qui suit:

Proposer un outil d'aide pour la conception de la baie adaptée au projet architectural.

En outre, la gestion des différents paramètres conflictuels à travers un langage architectural. Tout en Adoptant une approche qui facilite la tâche de l'architecte lors de la conception de la baie en répondant aux différentes exigences conceptuelles.

Pour répondre à la problématique posée et suivant les hypothèses proposées nous avons choisi d'intervenir par les démarches suivantes :

Une analyse conceptuelle Dans un premier lieu et dans le but de comprendre la naissance et l'essence du concept de la baie.

En suite une méthode expérimentale dialectique qui vise à établir un rapport de cause à effet entre les variables, en adoptant une Approche multicritères qui vise à lier les différents paramètres à étudier.

Mots clés: la baie, la conception architecturale, l'approche multicritère, l'optimisation, gestion des paramètres, langage architectural, le développement durable, l'énergie renouvelable.

Summary:

The window is one of the most complex components of the building due to the large number of the conflicting roles it should play: lighting and shading, and view out looking for privacy, sun penetration and sun protection. It has always been difficult to meet all these demands especially the design of the rack which requires the management of these conflicting settings.

With the concept of the sustainable development, architects seeking the optimization and management of the various parameters of the window but it are rather technical and conceptual solution. Taking into account this aspect in the act of building, of course, because the architect must create a comfortable atmosphere. Our job is to get a conceptual model for the window that allows the management of all its parameters. While based on an appropriate architectural language for the architects to help them design the window while meeting the technical requirements of the latter.

We fix such objectives as follows:

- Find or offer a tool for the design of the window suitable for the architectural design.
- The management of the various conflicting parameters through an architectural language.
- Adopt an approach that facilitates the task of the architect in the design of the window meet different design requirements.

To address the issues raised and the following hypotheses proposed we chose to intervene by the following steps:

- Conceptual approach in the first place, and the butts of the birth and understand the essence of the concept of the window.
- Dialectical experimental method which aims to establish a cause and effect relationship between variables.
- Multicriteria approach which aims to link the different parameters to be studied.

Keywords: Window, Design, Multi-criteria Approach, Optimization, Parameter, Management, Architectural language, The sustainable development, Renewable energy.

المخلص:

تعدّ النافذة أحد أعقد مكونات البناية، وذلك للأدوار العديدة والمتناقضة التي تؤديها والتي نذكر منها: الإضاءة والحجب، المظهر الخارجي والبحث عن الخصوصية، استقطاب أشعة الشمس والحماية منها. وقد كان دائما من الصعب الاستجابة لكل هذه المطالب خاصة وأن تصميم النافذة يستدعي تسيير كل هذه العوامل المتناقضة بينها.

تطور وبروز مفهوم التنمية المستدامة، جعل المهندسين المعماريين يحاولون تسيير مختلف عوامل تصميم النافذة والبحث عن الحلول القصوى، لكن معظم هذه الحلول تعتبر تقنية أكثر منها تصميمية. مع أن أخذ هذا المبدأ بعين الاعتبار يعد بديهيا وأوليا بما أن الهندسة المعمارية تجربنا على تصميم أجواء مريحة بالضرورة. عملنا يتلخص مبدئيا هنا على البحث عن نموذج تصميمي للنافذة يسمح بتسيير كل العوامل المؤثرة فيها وذلك بلغة هندسية بحتة مع مراعاة المتطلبات التقنية.

وقد حددنا كأهداف لهذه الدراسة ما يلي:

- بحث أو اقتراح أداة مساعدة للتصميم الهندسي للنافذة وتكون مناسبة للمشروع الهندسي.
- تسيير مختلف العوامل المتناقضة للتصميم الهندسي للنافذة عبر اللغة الهندسية.
- تبني منهجية تسهل عمل المهندس المعماري عند تصميم النافذة مع مراعاة المتطلبات التقنية.

وللإجابة عن الإشكالية المطروحة حسب الفرضيات المقترحة اخترنا في هذه الدراسة أن نتبع الخطوات الآتية:

- أولا منهجية مفاهيمية لدراسة أصل وجوهر مفهوم النافذة.
- طريقة جدلية تجريبية التي تهدف إلى تأسيس علاقة السبب والنتيجة بين المتغيرات.
- منهجية متعددة المعايير التي تهدف إلى ربط المعايير المختلفة لدراساتها.

الكلمات المفتاحية: النافذة، التصميم الهندسي، المنهجية المتعددة المعايير، تسيير العوامل المتناقضة، التعبير الهندسي، التنمية المستدامة، الطاقة المتجددة.