

Introduction

Le présent polycopié est un support de cours adressé aux étudiants du master II, Architecture, Environnement et Technologie.

Il regroupe l'ensemble des cours de la matière d'appui « Evaluation du confort dans le bâtiment et diagnostic énergétique » présentés durant les deux années universitaires 2019-2020 et 2020-2021.

L'objectif de cette matière est l'initiation et l'acquisition des notions de base concernant les outils conceptuels, méthodologiques et logistiques nécessaires à l'établissement des diagnostics en rapport avec la thématique. Son objectifs d'apprentissage est d'initier l'étudiant aux méthodes d'évaluations et de diagnostics et aux « logiciels » de simulation et de modélisation. Elle contient le calcul et l'évaluation des notions de confort dans l'espace architectural. Les déperditions thermiques, consommation d'énergétique et confort thermique, le taux de ventilation et confort olfactif naturel, l'éclairage naturel et confort visuel, niveau de bruit et confort acoustique....

Ce polycopié est un outil d'aide pour intégrer les aspects énergétiques dans le processus de conception architecturale afin de réduire l'impact environnemental du projet, d'optimiser la performance énergétique et d'améliorer les conditions du confort et du bien-être.

Ce manuscrit représente également la synthèse et le fruit de plusieurs années d'enseignement des modules : Habitat bioclimatique et habitat écologique (2013-2018) et atelier de projet, master II au sein du département d'architecture d'Annaba

Table des matières

ARCHITECTURE, CONFORT ET ENERGIE/Cours N°01.....	13
1. Introduction :.....	13
2. Définition de l'énergie.....	13
3. Le confort.....	13
4. L'avènement de la problématique énergétique :.....	14
a. Réchauffement climatique et dégradation de l'environnement :.....	14
b. Les crises pétrolières.....	14
5. Consommation énergétique dans le monde.....	15
6. Consommation énergétique en Algérie.....	16
7. Facteurs explicatifs de la consommation énergétique d'une agglomération urbaine :.....	16
8. Energie et enjeux :.....	17
a. Enjeu réglementaire.....	17
b. Enjeu comportemental.....	18
c. Enjeu économique.....	18
d. Enjeu environnemental.....	18
9. Impact du bâtiment sur l'environnement :.....	18
a. Impacts du bâtiment sur son environnement extérieur :.....	18
b. Impact du bâtiment sur son environnement intérieur :.....	19
10. La transition énergétique :.....	19
11. Architecture et efficacité énergétique :.....	19
a. Efficacité énergétique / mesures « passives ».....	19
b. Efficacité énergétique / mesures « actives » :.....	20
12. D'autres forme d'énergie : Les énergie renouvelables :.....	20
13. Diagnostic de performance énergétique (DPE) du bâtiment :.....	21
14. Le bilan d'énergie d'un bâtiment :.....	21
15. Calcul du bilan énergétique du Bâtiment :.....	23
16. Règlementation thermique Algérienne du bâtiment :.....	23
b- Vérification d'été.....	24
LE LOGICIEL RETA.....	24
17. Bibliographie :.....	25
ARCHITECTURE ET ENERGIE, APPROCHES ET OUTILS/ COURS N°02.....	26
1. Introduction :.....	26
2. Stratégies d'intégration de la composante énergétique :.....	26
3. Architecture/ Energie/Approches :.....	26
3.1. L'approche bioclimatique : « LOW - TECH » :.....	26

3.2.	L'approche : « HIGH-TECH » :	27
3.3.	Approche : « SOFT-TECH » (ou encore Eco-tech) ; Cette approche offre :	27
4.	Intégration des aspects énergétiques dans la conception du projet	28
5.	Les méthodes et outils de diagnostic énergétique (Weissenstein, 2012) :	29
5.1.	Les approches d'accompagnement à l'écoconception :	29
5.2.	Les approches dynamiques	29
5.3.	Les approches inventaires,	29
5.4.	Les approches par listes/référentiels :	29
5.5.	Les approches par matrices.....	30
5.6.	Les approches par bases de connaissances.....	30
5.7.	Les approches génératives	30
6.	Application du BIM et la conception paramétrique dans le diagnostic énergétique	31
6.1.	La modélisation paramétrique/le design computationnel :	31
6.2.	Le BIM (Building Information Modeling) :	31
6.3.	Les types de modeleurs de la conception paramétrique :	31
	Les outils paramétriques les plus utilisés et leurs fonctions respectives en architecture sont illustrés dans le tableau suivant (Panya, Kim, & Seungeon, 2020) :	32
	Du design.....	32
7.	Bibliographie.....	33
	ELEMENTS DU CLIMAT/Cours N°03.....	34
1.	Définitions du climat	34
2.	Climatologie urbaine : une science pluridisciplinaire :	34
3.	Prise en compte du climat urbain dans l'aménagement et l'architecture.....	34
4.	Classification des climats.....	35
	.....	35
5.	Le climat en Algérie	36
6.	Echelles du climat	38
7.	Echelle temporelle :	38
8.	Bibliographie.....	39
	ANALYSE CLIMATIQUE DU SITE / Cours N°04.....	40
1.	Objectifs :	40
2.	Les composants :	40
3.	Intégration des données climatologiques et environnementales dans la démarche du projet : .	40
4.	Variation des données climatiques dans le temps et dans l'espace :	41
5.	Données climatiques et mesures : Quelles données dans quel but ?	41
6.	Rayonnement solaire :	42

7.	L'impact du relief sur le rayonnement	43
8.	La température:.....	44
9.	Humidité.....	45
10.	Le vent:	45
11.	Bibliographie.....	47
	Man group limited, London 1980.....	47
	SOLEIL ARCHITECTURE ET ENERGIE/Cours N°05	48
1.	Importance et effet du rayonnement solaire en architecture :	48
2.	Elan solaire au tout début du vingtième siècle : Marqué par Source spécifiée non valide. :	48
3.	L'ensoleillement sur un site :	49
4.	Aspect géométrique :	50
4.1.	La latitude.....	50
4.2.	Les projections solaires	50
•	Diagramme solaire :	50
5.	Aspect énergétique :	51
6.	L'irradiation solaire incidente.....	51
7.	L'impact du rayonnement sur la construction :	52
8.	L'ensoleillement en milieu urbain :	53
9.	L'ensoleillement dans les espaces extérieurs urbains :	53
10.	La maîtrise des accès solaires.....	53
10.1.	La règle du prospect :	53
10.2.	Périmètre d'ombre fictive :	54
10.3.	L'enveloppe solaire :	54
11.	Stratégies d'ensoleillement :	55
	Forme et orientation	55
	Facteur de forme	56
	La compacité	57
12.	Zoning thermique	58
13.	Les protections solaires	59
14.	Forme et dimensionnement d'une protection solaire selon l'orientation :	59
15.	Bibliographie.....	61
	LE CONFORT THERMIQUE /Cours N°06.....	62
1.	Définitions	62
2.	Les phénomènes physiques en jeu :	62
3.	Paramètres physiologiques du confort thermique	63
4.	L'impact des paramètres climatiques et non climatiques sur le bilan thermique	64

5.	Evaluation du confort thermique :.....	65
6.	Les modèles du confort thermique.....	66
6.1.	L'approche analytique (FANGER) :.....	66
6.2.	L'approche adaptative :.....	66
6.3.	Les modèles de la vitesse d'air.....	67
7.	Diagrammes et méthodes bioclimatiques.....	67
16.	Bibliographie.....	70
	VENT, ARCHITECTURE, ENERGIE/ COURS N°07.....	71
1.	Le vent :.....	71
2.	La formation du vent.....	71
3.	Les changements d'échelle :.....	72
4.	Echelle de Beaufort:.....	73
5.	La ventilation en architecture.....	74
6.	METHODOLOGIE DES PROJETS.....	75
7.	A l'échelle urbaine :.....	75
8.	Les aménagements complémentaires.....	77
9.	Description de l'écoulement du vent autour d'un obstacle bâti.....	77
10.	Influence des constructions sur les écoulements :.....	79
11.	Comment provoquer la ventilation :.....	82
12.	Les dispositions architecturales :.....	83
13.	Dimensionnement des ouvertures.....	83
14.	Les types de ventilation :.....	84
15.	Bibliographie.....	85
	De Luc Adolphe,.....	85
	Editions Parenthèses, 1998.....	85
	CONFORT VISUEL ET ENERGIE/ Cours N°08.....	86
1.	Introduction.....	86
2.	Les Paramètres de confort visuel sont :.....	86
3.	Sources de l'éclairage naturel.....	87
4.	Sources de lumière diurnes :.....	87
	Les sources de lumière diurnes peuvent être classées en sources directe et indirectes :.....	87
5.	Les grandeurs photométriques :.....	88
6.	Le champ visuel :.....	88
7.	Type d'éclairage naturel.....	88
7.1.	Eclairage zénithal.....	89
	.....	89

7.2. Eclairage latéral	91
..... Eclairage unilatéral	
.....	92
•	92
8. Stratégies de la lumière naturelle	92
8.1. Capter	93
8.2. Transmettre	93
8.3. Distribuer	94
8.4. Se protéger	94
8.5. Contrôler	94
9. Projet architectural et comportement lumineux	94
Les Caractéristiques générales du projet architectural qui ont des répercussions sur son comportement lumineux sont :	94
10. Evaluation de la lumière naturelle en architecture.....	95
11. Méthodes de calcul par simulation numérique	95
12. Méthodes d'évaluation à l'aide des maquettes :	95
13. Méthodes de redimensionnement.....	95
14. Bibliographie.....	96
De Luc Adolphe,	96
Editions Parenthèses, 1998.....	96
LE CONFORT ACOUSTIQUE EN ARCHITECTURE/Cours N°09	97
1. Introduction :	97
2. L'acoustique en architecture :	97
3. Eléments de la conception acoustique :	97
4. Analyse d'un bruit.....	98
5. Sensibilité de l'oreille	98
6. Types de bruits	99
6.1. Les bruits aériens.....	99
6.2. Les bruits d'impact / solidiens	99
6.3. Comportement des bruits dans le bâtiment	99
6.4. Réverbération d'un local	100
6.5. Isolation et correction acoustique	101
6.6. Principes de correction acoustique	101
6.7. PRINCIPES D'ISOLATION ACOUSTIQUE.....	102
7. Bibliographie.....	104
Loïc Hamayon	105
MATERIAUX ET ENERGIE GRISE/Cours N°10	105

1. Introduction :.....	106
2. Les enjeux du choix d'un matériau de construction	106
2.1. Contraintes du projet	106
2.2. Choix induits par le projet	106
2.3. Choix induit par l'environnement	106
3. Stratégies pour le choix des matériaux de construction :.....	107
4. Analyse du Cycle de Vie (A.C.V.).....	108
5. Les différents types de ressources disponibles.....	108
5.1. Matériaux non-renouvelables	108
5.2. Matériaux renouvelables.....	108
Ressource durable dont l'utilisation doit être encouragée. Ces ressources doivent nous inspirer pour inventer de nouveaux systèmes de construction.	108
5.3. Matériaux recyclés	108
6. Matériaux de construction et îlot de chaleur urbain :	109
6.1. Albédo des matériaux :.....	109
7. Les surfaces des façades.....	110
8. Bibliographie.....	111
De Luc Adolphe,	111
Editions Parenthèses, 1998.....	111
LES SOLUTIONS ET TECHNIQUES D'EFFICACITE ENERGETIQUE/ Cours N°11.....	112
1. Solutions passives :.....	112
1.1. La Façade :	112
1.2. LA FENETRE.....	113
1.3. La forme de bâtiments	116
1.4. Inertie thermique	116
1.5. Les serres.....	117
1.6. Mur capteur accumulateur	118
1.7. Les protections solaires	118
1.8. La végétation :	119
1.9. Toits verts	120
1.10. Les matériaux à changement de phase :.....	121
1.11. La tour a vent.....	121
1.12. La cheminée solaire	122
1.13. Echangeur air/sol.....	122
1.14. Rafraîchissement passif : PATIO	123
1.15. Atrium.....	123

2. Les solutions actives	123
3. Les énergies renouvelables : à titre d'exemple :.....	123
3.1. Bibliographie.....	126
De Luc Adolphe,	126
Editions Parenthèses, 1998.....	126
Conclusion :	127
Références des figures	128

Liste des Figures

Figure 1 Consommation mondiale d'énergie par source d'énergie (wikipedia.org).....	16	
Figure 2 Consommation d'énergie finale en Algérie (APRUE 2009).....	16	
Figure 3: Architecture, énergie et enjeux.....	17	
Figure 4 Comportement thermique du bâtiment(Minassian, 2011)	22	
Figure 5 Equilibre thermique.....	23	
Figure 6 Exemple d'Insertion des stratégies passives et actives (Khalil, Fikry, & Abdeaal, 2018)	27	
Figure 7 Classification des assistances à l'éco-conception (Weissenstein, 2012).....	31	
Figure 8 Classification climatique de Köppen.....	35	
Figure 9 Zones climatiques en Algérie.....	36	
Figure 10 Intégration des données climatologiques et environnementales dans la démarche du projet (PACER, 1996)	40	
Figure 11 Le spectre de la radiation solaire.....	42	
Figure 12Le rayonnement solaire.....	42	
Figure 13 Composantes du rayonnement solaire globale	Figure 14 Les échanges radiatifs en milieu urbain	43
Figure 15 Evaluation des radiations moyennes selon les pentes.....	44	
Figure 16 Variation de la température en fonction de la pente	44	
Figure 17 Diagramme simplifié de l'air humide	45	
Figure 18 Plan et coupe d'un site comportant une colline avec ses divers microclimats (PACER, 1996)	46	
Figure 19Réaménagement héliothermique d'un quartier de Paris (Siret & Harzallah, 2006).....	49	
Figure 20 La latitude d'un lieu	50	
Figure 21 Diagramme solaire	51	
Figure 22 Aspects énergétique du soleil	51	
Figure 23 L'impact du rayonnement sur la construction	52	
Figure 24 L'ensoleillement en milieu urbain	53	
Figure 25 Enveloppe solaire et logements à Southpark - source: Knowles	55	
Figure 26 Les masques solaires	55	
Figure 27 Le coefficient de forme	56	
Figure 28 Le zonage des activités et la thermique passive	58	
Figure 29 Les protections solaires	59	
Figure 30 Profondeur et largeur d'une occultation.....	60	
Figure 31 Les échanges thermiques	62	
Figure 32 Les différents mécanismes d'échanges thermiques pour le corps humain	63	
Figure 33Les changes thermiques entre l'ambiance et l'homme	63	
Figure 34 L'impact de l'humidité sur le confort thermique	64	
Figure 35 La température opérative idéale en fonction du métabolisme et l'habillement.....	65	
Figure 36 Les diagrammes bioclimatiques	69	
Figure 37 Les échelles du vent.....	71	
Figure 38 Profil de rugosité du vent	72	
Figure 39 Les effets du vent (Mazouz, 2014)	73	
Figure 40 Répartition des zones de pression	83	
Figure 41 Ventilation par tirage thermique.....	83	

Figure 42 Courbes de visibilité spectrale relative de l'œil humain	87
Figure 43 The process of designing for daylight in buildings	93
Figure 44 Vibration dans l'air	98
Figure 45 Sensibilité de l'oreille au bruit.....	99
Figure 46 Types de bruit.....	99
Figure 47 critère de la sélection d'un matériau durable (Aghdam, Rad, Shakeri, & Sardroud, 2018) 108	108
Figure 48 Infrastructures routières / Pavés à hauts albédos	109
Figure 49 Solution architecturales passives et actives.....	112
Figure 50 Les fonctions de la façade (Alkhatib, Lemarchand, Norton, & O'Sullivan, 2021)	113
Figure 51 Impact de la forme du bâtiment sur la charge du chauffage	116
Figure 52 Réaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaires (Source: A. Liebard et A. De Herde, 1996)	116
Figure 53 Fonctionnement et types de serres	117
Figure 54 Les dispositifs de protection solaire	119
Figure 55 La stratégie d'implantation des arbres.....	120
Figure 56 Le mur végétal	120
Figure 57 Le complexe de végétalisation	121
Figure 58 La tour à vent.....	122
Figure 59 La cheminé solaire	122
Figure 60 Principe de fonctionnement du puits canadien	122
Figure 61 Fonctionnement et typologie des atriums	123

Liste des tableaux

Tableau 1. Facteurs explicatifs de la consommation énergétique (Baker & Steemers, 2003)	17
Tableau 2 Production de l'énergie renouvelable	21
<i>Tableau 3 Formes et orientations des bâtiments isolés selon différentes zones climatiques (Mark DeKay, 2013)</i>	<i>36</i>
Tableau 4 Zones climatiques en Algérie	37
Tableau 5 Les échelles du climat (Tabeaud, 2000)	38
Tableau 6 Importance des variations des données climatiques de base en fonction de l'échelle d'observation (PACER, 1996)	41
Tableau 7 les pourcentages de lumière interceptée par une surface pour différents angles d'incidence	52
Tableau 8 Les six catégories d'habitat et consommation énergétique.....	57
Tableau 9 Les échelles du vent.....	72
Tableau 10 Echelle de Beaufort.....	73
Tableau 11 Les exigences de la ventilation	74
Tableau 12 Influence de la topographie sur le vent.....	75
Tableau 13 Schéma d'écoulement du vent autour d'un bâtiment	77
Tableau 14 Les obstacles aérauliques (Lièbard & De herde, 2006).....	79
Tableau 15 Type de ventilation	84
Tableau 16 Rapports de Louden.....	102
Tableau 17 La façade à haute performance énergétique	113
Tableau 18 Les fonctions d'une fenêtre	114
Tableau 19 Choix des vitrages en fonction de l'orientation.....	115
Tableau 20 Avantages et inconvénients des châssis.....	115
Tableau 21 Stratégies à adopter en fonction des variations saisonnières de la serre.....	117

ARCHITECTURE, CONFORT ET ENERGIE/Cours N°01

1. Introduction :

L'architecte conçoit des formes et des espaces définis par des limites qui les séparent de l'environnement extérieur. Le traitement de ces limites conditionnera les transferts énergétiques et la qualité des différentes ambiances thermiques dans la construction. Ainsi, la maîtrise de la consommation d'énergie dans le bâtiment ne dépend pas seulement des connaissances scientifiques et techniques, mais aussi du savoir-faire architectural.

2. Définition de l'énergie

Selon Larousse Le mot énergie est d'origine latine, « energia » qui veut dire « puissance physique qui permet d'agir et de réagir » et est capable de produire soit du travail, soit de la chaleur. En réalité la définition de l'énergie varie selon les domaines étudiés, on trouve alors :

- Les physiciens et les naturalistes considèrent que l'énergie est la puissance matérielle du travail, tandis que,
- Les économistes la considèrent comme la quantité mécanique commercialisée, ce qui inclut toutes les sources et formes d'énergie qui peuvent être utilisées à grande échelle, tant pour produire de la chaleur que pour faire fonctionner des machines.

Puisqu'elle est essentielle au confort, l'énergie peut être introduite dans l'architecture à travers deux axes principaux :

- Le coût énergétique « initial » de la construction à partir du coût énergétique des matériaux et de la construction.
- Le coût énergétique « vécu » de la consommation de chauffage, de climatisation, d'éclairage et d'électricité.

3. Le confort

La question énergétique est au cœur de la conception et touche plusieurs aspects techniques liés au confort et aux paramètres sensibles de l'occupant.

Aujourd'hui, 50 % de la population mondiale vit dans des villes où 90 % du temps est passé à l'intérieur. Les bâtiments deviennent de véritables machines thermiques dont l'objectif est le maintien des conditions de confort. Ils représentent environ 40 % de la consommation totale

d'énergie, ce qui en fait un secteur très énergivore. Cette énergie est principalement utilisée pour le chauffage et la climatisation.

Selon Moser, la notion du confort est complexe et dépend de plusieurs paramètres physiques, psychologiques, physiologiques, culturels et personnels :

- ✓ Le confort sensoriel : se rapporte à la qualité de l'environnement et se décompose en confort visuel, confort acoustique, confort thermique ou hygrothermique et confort olfactif, etc.
- ✓ Le confort existentiel : concerne la qualité environnementale du cadre de vie avec des répercussions sur le plan psychologique (en lien avec son identité ou son épanouissement)
- ✓ Le confort matériel : correspond à la satisfaction des besoins primaires et matériels
- ✓ Le confort esthétique : subjectif et dépend des perceptions individuelles
- ✓ Le confort social : équilibre entre le besoin d'être avec les autres et le besoin d'intimité
- ✓ Le confort de conformité : concerne l'appartenance à un groupe social.

4. L'avènement de la problématique énergétique :

a. Réchauffement climatique et dégradation de l'environnement :

Les nombreuses crises environnementales des dernières décennies ainsi que le changement climatique ont contribué à une prise de conscience de la fragilité des écosystèmes et des défis à relever dans les années à venir.

La question environnementale est liée à trois problèmes majeures : la *croissance démographique*, le *réchauffement climatique* et l'*épuiement des ressources* naturelles non renouvelables. Le secteur du bâtiment est responsable de près de 19% des émissions de gaz à effet de serre et consomme près de 40% de l'énergie. C'est pourquoi La question écologique doit être la clé du savoir et du savoir-faire architectural. A tous les stades du cadre bâti, de la ville au bâtiment, le produit architectural doit assurer une performance environnementale et contribuer significativement à la lutte contre le changement climatique.

b. Les crises pétrolières

Depuis plusieurs siècles, l'utilisation des combustibles fossiles a permis un développement sans précédent de l'industrie, ainsi que des transports routiers et aériens. L'énergie fossile a remplacé l'énergie des moulins à eau et l'énergie thermique produite par la combustion du bois.

Après la découverte du pétrole, les pays industrialisés ont connu une croissance économique intense, basée essentiellement sur l'utilisation du pétrole comme principale source d'énergie, dont l'accès était abondant et bon marché.

Le déclin de cette période a été marqué par le premier choc pétrolier en 1973, initié par des conflits géopolitiques et la modification du rapport de force entre les compagnies pétrolières et les pays producteurs. On assiste alors à une flambée des prix accompagnée d'un ralentissement de l'économie mondiale.

Le "rapport Meadows" publié en 1972 sur la question de la croissance zéro a été le point de départ d'un débat sur le modèle de croissance. Cette date marque le début de la crise énergétique qui conduit à une prise de conscience du rôle que joue l'énergie dans la vie de chacun. Les crises économiques se sont succédées (1980, 2000, 2008) rappelant les mêmes aspects du contexte énergétique précédent, par conséquent, l'énergie est apparue comme une préoccupation mondiale majeure. Ces défis énergétiques imposent aux pays consommateurs d'intensifier la transition énergétique, et aux pays producteurs de penser à l'après-pétrole.

Du militantisme de quelques organisations écologistes, on est passé au stade des décisions internationales, principalement :

1972 Stockholm : première conférence internationale sur l'environnement,

1987 protocole de Montréal : protection de la couche d'ozone par l'interdiction de certains fluides frigorigènes,

1992 Rio : introduction de la notion de développement durable,

1997 protocole de Kyoto : lutte contre les changements climatiques.

2002 – Sommet mondial pour le développement durable à Johannesburg où le développement de partenaires avec la société civile (collectivités locales, administrations, citoyens, associations, entreprises, etc.) prend une dimension importante.

2012 – Sommet Rio+20 – Conférence des Nations unies sur le développement durable (UNCSD) 2 thèmes : l'économie verte dans le contexte du développement durable et le cadre institutionnel du développement durable.

5. Consommation énergétique dans le monde

Aujourd'hui dans le monde, environ 90% de l'énergie consommée par l'homme pour ses activités de production, ses déplacements, son confort et ses besoins quotidiens provient des combustibles fossiles (fig 01)

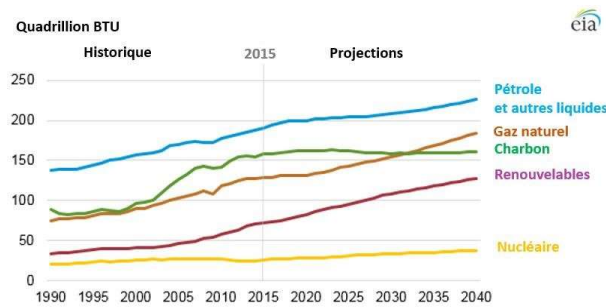


Figure 1 Consommation mondiale d'énergie par source d'énergie (wikipedia.org)

L'énergie est au cœur de nombreux enjeux mondiaux et locaux en termes d'approvisionnement, d'efficacité et de pollution. Les bâtiments ne font pas exception car ce secteur est le plus grand consommateur d'énergie. Selon LEVIN (LEVIN, 1997), la contribution des bâtiments à la charge environnementale totale se situe entre 15 et 45 % :

Consommation des ressources	Pollution
- 30% utilisation des matières primaires	- 20% Les effluents d'eau
- 42% énergie	- 40 % pollution atmosphérique.
- 25% eau	- 25 % Les déchets solides
- 12% occupation des sols	- 13% Autres rejets

L'utilisation des réserves en combustibles fossiles est incontestablement limitée dans le temps. En effet l'utilisation rationnelle de l'énergie n'est plus une option, mais une nécessité.

6. Consommation énergétique en Algérie

En Algérie, la consommation d'énergie est de 41% pour le secteur résidentiel, 33% pour le transport, 19% pour le secteur industriel et 7% pour l'agriculture (fig 02)

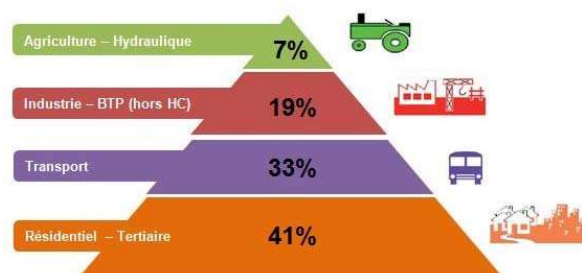


Figure 2 Consommation d'énergie finale en Algérie (APRUE 2009).

7. Facteurs explicatifs de la consommation énergétique d'une agglomération urbaine :

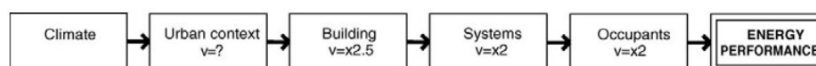
Forme urbaine : Bâtiments, espaces verts et naturels, activités, réseaux

Comportements des habitants : Mobilités résidentielles, mobilités quotidiennes, autres comportements de la vie quotidienne

Climat urbain : Températures, vents, humidité...etc

Tableau 1. Facteurs explicatifs de la consommation énergétique (Baker & Steemers, 2003)

Variabiles	Region	Aire urbaine	Quartier	Bâtiment
Structure de l'aire urbaine (taille et étendue)	x			
Réseaux entre les aires urbaines	x			
Taille de l'aire urbaine	x	x		
Forme de l'aire urbaine (circulaire, linéaire...)	x	x		
Réseau à l'intérieur de l'aire urbaine	x	x		
Densité		x	x	
Répartition des activités, occupation du sol		x	x	
Degré de centralisation des équipements		x	x	
Plan			x	
Orientation du bâti et groupe de bâti			x	x
Implantation relative au microclimat				x
Conception				x



8. Energie et enjeux :

Les principaux enjeux du bâtiment en matière de consommation d'énergie sont (fig 03) :

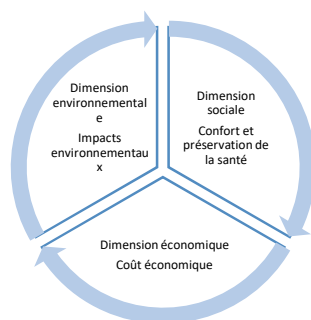


Figure 3: Architecture, énergie et enjeux

a. Enjeu réglementaire

La mise en œuvre de changements législatifs qui reconnaissent le rôle de l'architecture pour l'amélioration significative de l'efficacité énergétique des bâtiments. La mise en œuvre des politiques publiques de l'énergie et du bâtiment avec des acteurs individuels ou collectifs, des institutions, des processus, des résultats (programmés, attendus et réalisés), des représentations et des évaluations. La politique algérienne en matière d'efficacité énergétique, principalement dans le secteur du bâtiment se traduit par les actions de certaines entités telles que l'APRUE soutenue par son bras financier le Fonds National pour la Maîtrise de l'Energie (FNME) et le Programme National de Maîtrise de l'Energie (PNME). Les centres de recherches liés au

domaine du bâtiment sont le centre de développement des énergies renouvelables (CDER) et le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) .

b. Enjeu comportemental

Une prise de conscience individuelle et collective est essentielle et peut influencer efficacement nos modes de vie. L'utilisateur joue un rôle fondamental dans la consommation énergétique d'un bâtiment. Il est considéré comme un maître d'usage et un consommateur irresponsable qu'il faut modéliser. Ainsi le changement du comportement et d'usage présente un enjeu majeur dans la transition énergétique.

c. Enjeu économique

L'enjeu économique se traduit par :

- Le parc immobilier existant énergivore nécessitant des opérations de réhabilitation énergétique où des efforts doivent être fournis tant sur les constructions neuves que sur les bâtiments existants.
- La nécessité d'acquérir de nouvelles compétences par les acteurs de la construction de bâtiments pour l'amélioration de l'efficacité énergétique. La consommation de matériaux s'élève à 3 tonnes par m² de bâti. L'énergie nécessaire à leur fabrication atteint 2 500 kWh par m², ce qui équivaut à la consommation énergétique moyenne d'une maison sur une période de 20 ans.

d. Enjeu environnemental

L'amélioration de l'efficacité énergétique peut contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre. L'architecte doit gérer trois grands domaines qui sont liés à l'environnement :

- ✓ L'espace : prendre en considération du sol sur lequel le bâtiment sera implanté.
- ✓ Le climat : chercher à utiliser les avantages du climat tout en maîtrisant ses contraintes
- ✓ La gestion des ressources : optimiser l'utilisation des sources d'énergie renouvelables ou recyclables tout en produisant un minimum de déchets et de pollution.

9. Impact du bâtiment sur l'environnement :

a. Impacts du bâtiment sur son environnement extérieur :

1. Echelle mondiale : Emission de gaz à effet de serre (chauffage et cuisson) et épuisement des ressources naturelles (combustibles fossiles et matériaux rares).

2. Echelle régionale : liée à la zone géographique et climatique, à la création d'îlots de chaleur urbains, à la pollution de l'air et de l'eau et à la production de déchets.
3. Echelle locale : Modification de l'utilisation des sols et des surfaces, modification des conditions de ventilation et d'ensoleillement.

b. Impact du bâtiment sur son environnement intérieur :

Son impact sur le confort : Dégradation des conditions de confort : hygrothermique, acoustique, visuel, olfactif et psychosociologique.

Son impact sur la santé : Pollution des sols et de l'air et exposition aux rayonnement radioactifs. Syndrome de bâtiments malsains.

10. La transition énergétique :

Les principaux objectifs du passage du système énergétique actuel à un nouveau système énergétique basé sur les ressources renouvelables sont les suivants :

- ✓ Protéger le climat et la santé.
- ✓ Réduire la consommation de combustibles fossiles dans diverses activités : industrie, transport, éclairage, etc.
- ✓ Modifier le mix énergétique en utilisant des énergies peu ou pas émettrices de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques, produites localement dans les territoires et dont les risques pour la santé environnementale sont nuls.
- ✓ Faire évoluer la politique énergétique tout en contribuant à une meilleure efficacité énergétique.

11. Architecture et efficacité énergétique :

En physique, l'efficacité énergétique est le rapport entre l'énergie utile produite par un système et l'énergie totale consommée pour le faire fonctionner, « Faire mieux avec moins ».

En général, il s'agit d'utiliser moins d'énergie qu'auparavant pour fournir des services énergétiques équivalents.

a. Efficacité énergétique / mesures « passives »

De nombreux paramètres peuvent être pris en compte lors de la construction d'un bâtiment. Ils consistent à augmenter les qualités intrinsèques d'un bâtiment afin d'optimiser l'utilisation des

énergies qui lui sont fournies. Les nouveaux concepts du vocabulaire architectural tels que : l'architecture bioclimatique, le solaire passive, l'architecture climatique visent une conception consciente de l'énergie en prenant compte des mécanismes du confort et d'économie de l'énergie.

b. Efficacité énergétique / mesures « actives » :

Ces mesures visent à utiliser l'énergie « juste nécessaire » pour une gestion active des équipements grâce à des systèmes technologiques intelligents. Ces systèmes intelligents permettent de mesurer, contrôler et réguler la consommation d'énergie des bâtiments à l'aide de capteurs de température, de capteurs de présence pour l'éclairage, de capteurs d'émission de CO2 pour la ventilation et de systèmes de chauffage électrique intelligents tels que des systèmes de contrôle électronique qui détectent l'ouverture des fenêtres. Ces solutions intelligentes pourraient réduire la consommation énergétique globale d'un bâtiment de 10 à 20 %

12. D'autres forme d'énergie : Les énergie renouvelables :

La raréfaction des ressources fossiles (pétrole, gaz, charbon), la recherche d'une moindre dépendance énergétique et la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre, ont conduit à la recherche d'une nouvelle forme d'énergie qui soit renouvelable.

Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement et qui est considérée comme inépuisable.

Sources d'énergies renouvelables :

Parmi les sources d'énergie résultant de phénomènes naturels réguliers, on trouve :

- L'énergie hydraulique (hydroélectricité)
- Le vent (énergie éolienne)
- La chaleur du sous-sol (énergie géothermique)
- Le soleil : Pour chauffer de l'eau à destination sanitaire ou pour le chauffage (énergie solaire thermique) et pour produire de l'électricité (photovoltaïque)
- La biomasse : Les déchets des industries de transformation du bois, ainsi que certaines cultures énergétiques (bois-énergie); Les effluents d'élevage et de l'industrie agro-alimentaire (biométhanisation) ; Les cultures énergétiques et les déchets des industries de transformation du bois (biocarburants).

Ces sources d'énergie permettent de produire les éléments résumés dans le tableau 02.

Tableau 2 Production de l'énergie renouvelable

La chaleur	<ul style="list-style-type: none">- Le bois.- Le solaire thermique- Le bio gaz issu des végétaux ou des déchets organiques (le méthane)- La géothermie.
L'électricité	<ul style="list-style-type: none">- L'eau.- Les marées.- Le solaire photovoltaïque.- Les éoliennes.
Le transport	<ul style="list-style-type: none">- Le vent : Bateau à voile.- Les biocarburants (production de bio éthanol ou huile végétale en substitution de l'essence).- L'eau et les marées (voitures électriques)

13. Diagnostic de performance énergétique (DPE) du bâtiment :

Le diagnostic de performance énergétique (DPE) démontre l'efficacité de l'enveloppe du bâtiment, de son système d'isolation et la quantité totale d'énergie nécessaire au bon fonctionnement du bâtiment.

Il donne également aux acteurs et utilisateurs des bâtiments une classification entre A et G par rapport à la consommation et aux impacts environnementaux. Il est composé de deux parties :

- ✓ Une étiquette indiquant la consommation d'énergie (chauffage, climatisation, ECS).
- ✓ Une autre étiquette affichant l'impact de ces consommations sur les émissions de gaz à effet de serre.

Un bon diagnostic DPE du bâtiment doit assurer les éléments suivants :

- ✓ Identifier la méthode de construction du bâtiment.
- ✓ Connaître son fonctionnement thermique avec ses dispositions actives et passives.
- ✓ Avoir une approche bioclimatique du bâtiment afin d'interpréter les consommations.
- ✓ Étudier conjointement son comportement thermique en hiver et son confort thermique en été.
- ✓ Considérer que les dispositions les plus efficaces énergétiquement sont les dispositions passives.
- ✓ Éviter les ponts thermiques dans les constructions.

14. Le bilan d'énergie d'un bâtiment :

L'enveloppe bâtie n'est pas seulement considérée comme une frontière séparant deux espaces distincts, elle présente un élément flexible chargé de transformer un climat extérieur fluctuant

et inconfortable en un climat intérieur agréable. Elle devient une troisième peau entre l'homme et les conditions climatiques extérieures. Le climat intérieur est également soumis aux différents modes de transferts thermiques avec le climat extérieur. Ces transferts de masse et de chaleur avec l'environnement sont fonction des conditions climatiques et correspondent aux transferts par l'enveloppe, aux transferts aérauliques liés au renouvellement d'air et aux apports solaires à travers les vitrages (fig 04).

L'ensemble de ces échanges varient dans le temps et dépendent des caractéristiques du bâtiment et des conditions météorologiques telles que la température de l'air extérieure, la vitesse de l'air extérieure, l'humidité relative et le rayonnement solaire.

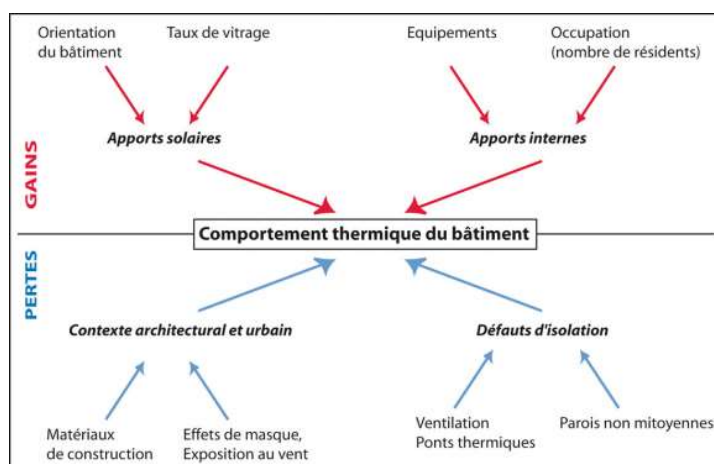


Figure 4 Comportement thermique du bâtiment **Source spécifiée non valide.**

Les grandeurs énergétiques (quantités d'énergie) qui influencent le bilan thermique d'un bâtiment sont les suivantes :

- **Conduction à travers l'enveloppe** : Ce terme est proportionnel au coefficient U moyen de l'enveloppe, et représente une perte d'énergie en hiver et un gain d'énergie en été.
- **Renouvellement d'air** : Nous avons les infiltrations qui dépendent de la perméabilité de l'enveloppe et le renouvellement d'air pour le maintien de la qualité de l'air intérieur dans le bâtiment. Ce renouvellement d'air représente une perte de chaleur en hiver, et un gain de chaleur en été.
- **Gains solaires à travers les vitrages** : Ceci représente la quantité d'énergie solaire qui entre dans le bâtiment à travers les fenêtres et autres surfaces vitrées. Il représente toujours un gain de chaleur, aussi bien en été qu'en hiver.
- **Gains internes** Ceci représente toutes les sources de chaleur situées à l'intérieur du bâtiment, y compris les : occupants, les installations, les appareils et autres équipements. Ces sources sont le résultat d'activités intérieures et représente également un gain de chaleur.

- **Sources d'énergie** : Quantité d'énergie délivrée par tout équipement de chauffage ou de refroidissement.

15. Calcul du bilan énergétique du Bâtiment :

Le bilan énergétique permet de définir précisément la quantité totale d'énergie nécessaire et consommée pour chaque bâtiment. Le bilan énergétique est calculé pour la saison d'hiver à partir de l'équation: $Q_{aux} = Q_{le} + Q_{lv} - Q_{gs} - Q_{gi}$

Alors que le bilan énergétique d'été est calculé à partir de l'équation :

$$Q_{aux} = Q_{le} + Q_{lv} + Q_{gs} + Q_{gi}$$

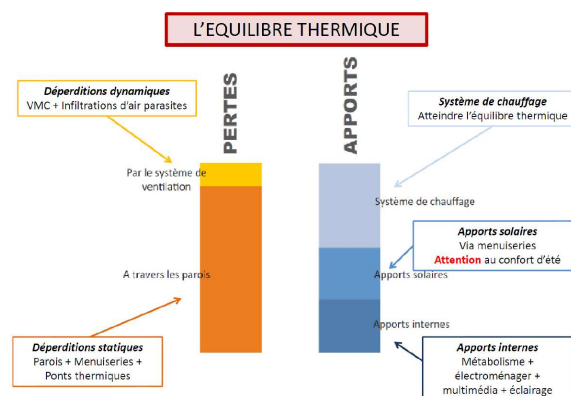


Figure 5 Equilibre thermique

Où

Q_{aux} : le bilan d'énergie

Q_{le} : pertes par conduction de l'enveloppe

Q_{lv} : pertes par renouvellement d'air

Q_{gs} : gains solaires

Q_{gi} : gains internes

16. Règlementation thermique Algérienne du bâtiment :

En 1999, le Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme a publié le premier code énergétique algérien pour les bâtiments. Ce dernier comprenait deux fascicules ; un pour l'hiver DTR C3.2 et un second pour l'été DTR C3.4 avec pour objectif de réduire la consommation d'énergie pour le chauffage et la climatisation de 20 à 30% (Imessad & al, 2017).

a- Vérification d'hiver

Le DTR stipule que pendant la période d'hiver, les déperditions calorifiques par transmission à travers les parois doivent être inférieures à une valeur de référence D_{ref} .

$$DT \leq 1.05 D_{ref} \quad (1)$$

$$D_{ref} = a.S1 + b.S2 + c.S3 + d.S4 + e.S5$$

Où a, b, c, d, e représentent les coefficients de transmission thermique des différentes parois, respectivement le toit, le plancher, les murs, les portes et les fenêtres.

Et S1 ,S2 , S3 , S4 , S5 représentent les surfaces respectives de ces parois.

b- Vérification d'été

Pour la période estivale, les apports de chaleur à travers les parois opaques (APO) et vitrées (AV) sont calculés à 15 h de chaque jour du mois de Juillet, considéré comme le mois le plus chaud de l'année. Ces gains doivent être inférieurs à une limite appelée 'Apport de Référence' (Aréf).

$$Apo(15h) + Av(15h) \leq 1.05Aréf$$

Coefficients de référence										
Zone	Bâtiment individuel					Bâtiment passif				
	a	B	c	d	e	a	b	c	d	e
A	0.9	2	1.2	3	3.8	0.9	2	1.2	3	3.8
AI	0.9	2	1.2	3	3.8	0.9	2	1.2	3	3.8
B	0.9	2	1	3	3.8	0.75	2	1	3	3.8
C	0.9	2	1	3	3.8	0.75	2	1	3	3.8
D	0.9	2	1.2	3	3.8	0.9	2	1.2	3	3.8

LE LOGICIEL RETA

En 2016, *une nouvelle version de la réglementation thermique algérienne pour le bâtiment est éditée par le Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville.* Afin de faciliter l'utilisation et l'application de cette réglementation une application nommée RETA {REglementation Thermique Algérienne} est développée et mise en pratique.

17. Bibliographie :

Titre de l'ouvrage	Auteur	Éditeur et année d'édition
Architecture et efficacité énergétique : Principes de conception et de de construction	Roberto Gonzalo, Karl J. Habermann	Springer Science & Business Media, 2008
L'architecture écologique	GAUZIN-MULLER. Dominique	Le Moniteur, novembre, 2002.
pour une construction éco énergétique en Algérie	APRUE GIZ	Ministère de l'énergie, 2014
Physique du bâtiment Construction et énergie	De Christoph Zürcher, Thomas Frank	VDF, 2014
Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements & méthodes	Pierre Fernandez, Pierre Lavigne	Édition. le Moniteur, 2009

ARCHITECTURE ET ENERGIE, APPROCHES ET OUTILS/ COURS N°02

1. Introduction :

« Le concept de bâtiment durable conduit à l'analyse de toutes les options disponibles pour l'optimisation du bâtiment. Les bâtiments intelligemment conçus et exploités, parfois appelés à tort 'bâtiments intelligents' ne se distinguent pas par la présence d'un haut degré d'automatisation des systèmes d'information, de communication et de construction, mais plutôt par le fait qu'ils peuvent répondre aux besoins des utilisateurs directement à partir de l'environnement en évitant l'utilisation des installations techniques » Klaus Daniels

2. Stratégies d'intégration de la composante énergétique :

L'objectif des stratégies d'intégration de la composante énergétique est de :

- Réduire l'utilisation des énergies non renouvelables, et développer une architecture capable de s'adapter à son environnement en améliorant l'enveloppe (les limites), dans une logique de développement durable.
- Appliquer une approche "intégrée" qui liera les aspects bioclimatiques et les nouvelles technologies.

3. Architecture/ Energie/Approches :

Les premières approches datent des années 1970 avec l'avènement de la question énergétique suite aux différents chocs pétroliers et 1990 au sommet de Rio, où la question environnementale est apparue à travers l'architecture bioclimatique dite approche " passive ". Les recherches sur l'efficacité énergétique durant les années 2000 basées sur des mesures techniques et les avancées technologiques ont permis d'intégrer de nouveaux procédés et des systèmes efficaces à travers des approches de conception " actives ". Ces approches peuvent être décrites comme suit : LOW-TECH, HIGH-TECH et ECO-TECH

3.1. L'approche bioclimatique : « LOW - TECH » :

« Le Beau n'a pas besoin de la technique. L'architecte, toujours garant de l'esthétique, peut produire sans technique ». (Les professeurs Ruth et Mockbee (Rural Studio) de l'école d'architecture d'Auburn (Alabama, États-Unis)

« Ce n'est pas le bâtiment qui est intelligent, ce sont ses habitants » (Philippe MADEC)

Une démarche low-tech, encourage la sobriété, la simplicité, et la frugalité des ressources et de la technicité. Basée sur l'utilisation des ressources naturelles et le recours à des stratégies passives pour offrir un environnement confortable, tout en utilisant des méthodes de construction simples.

3.2. L'approche : « HIGH-TECH » :

Ici, l'architecture invente et propose de nouvelles formes à matérialiser. La technique soutenue par d'importants moyens financiers est l'outil qui permet de concrétiser les images les plus inattendues.

3.3. Approche : « SOFT-TECH » (ou encore Eco-tech) ; Cette approche offre :

- Une réconciliation entre l'architecture et la technologie.
- Une utilisation de techniques douces et non traumatisantes.
- Un équilibre entre le high-tech et le low-tech.
- Une utilisation des technologies douces nécessaires tout en ayant un impact minimal sur l'environnement.
- Les solutions techniques ne sont pas coûteuses.

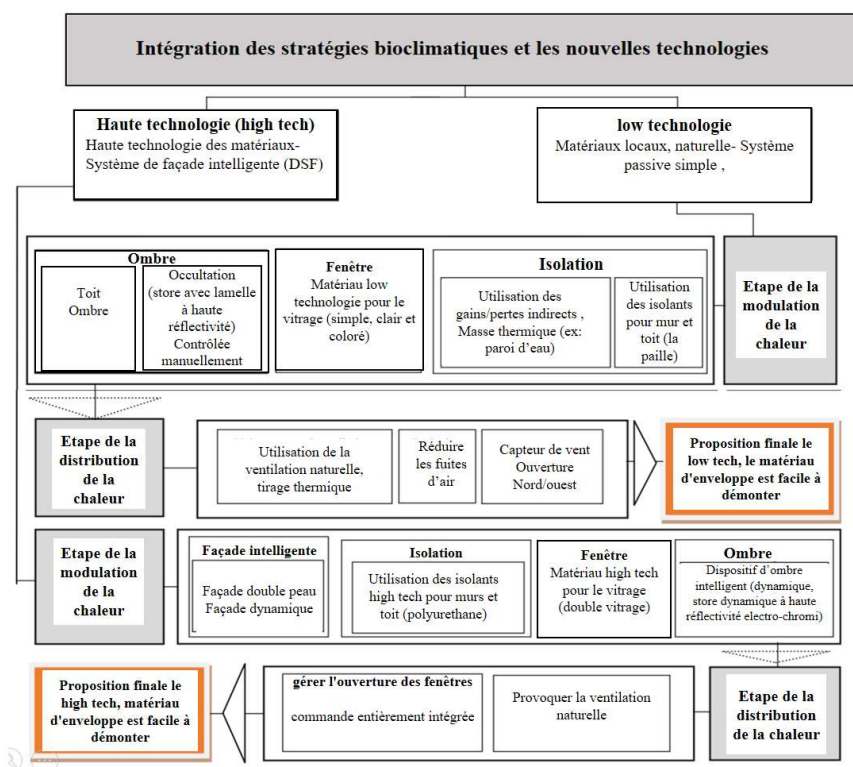


Figure 6 Exemple d'Insertion des stratégies passives et actives (Khalil, Fikry, & Abdeaal, 2018)

4. Intégration des aspects énergétiques dans la conception du projet

L'énergie dans le bâtiment est consommée dans :

- Le chauffage : Production et distribution de chaleur.
- Le refroidissement : Production et distribution de froid
- La ventilation : Renouvellement de l'air intérieur.
- La production d'eau chaude sanitaire : Production et distribution d'eau chaude.
- L'éclairage : Source d'éclairage artificiel.

En outre, les éléments ayant une influence sur la consommation énergétique sont :

1. L'emplacement du bâtiment
 - a. Le climat et le microclimat du site
 - b. L'ombrage provenant des bâtiments environnants ou de la végétation (arbre, parc..)
 - c. Densité urbaine (site très abrité, moins abrité)
 - d. La topographie du terrain
 - e. La nature du sol
 - f. Le bruit environnant.
2. Géométrie :
 - a. Orientation du bâtiment
 - b. Dimensions du bâtiment
 - c. Répartition des espaces intérieurs
3. Enveloppe :
 - a. Murs de l'enveloppe
 - b. Baies vitrées
 - c. Protections solaires
 - d. Toitures
 - e. Planchers bas
4. Matériaux :
 - a. Parois intérieures
 - b. Planchers intermédiaires.
5. Systèmes :

- a. Ventilation mécanique
- b. Refroidissement
- c. Chauffage.
- d. Production de l'eau chaude.

5. Les méthodes et outils de diagnostic énergétique (Weissenstein, 2012) :

5.1. Les approches d'accompagnement à l'écoconception :

L'objectif de ces outils est de fournir au concepteur des éléments de décision qui l'aideront lors de la sélection et du dimensionnement des éléments influençant la performance énergétique du bâtiment. Ainsi, On distingue :

5.2. Les approches dynamiques

Les approches dynamiques permettent d'anticiper le comportement futur du bâtiment au moyen d'une simulation. On retrouve dans cette catégorie d'approche, les logiciels suivants : Ecotect, TRNSYS (Transient System Simulation Tool), Pleiades+COMFIE , Eco Designer, etc.

5.3. Les approches inventaires,

Également appelées analyse de cycle de vie (ACV) ou éco-bilan, permettent de réaliser une évaluation précise des impacts environnementaux des bâtiments, sur un certain nombre d'enjeux tels que l'épuisement des ressources, le réchauffement global, les déchets produits, etc. Parmi ces approches, on peut citer Envest , Equer , TEAM , LEGEP, Environmental Impact, Estimator, etc.

5.4. Les approches par listes/référentiels :

Les approches par listes ou référentiels sont des méthodes qui énumèrent un certain nombre d'enjeux environnementaux. Ces approches peuvent être représentées par les méthodes suivantes : Certification NF-Démarche HQE, Certification LEED, Certification BREAM, etc. Elles englobent les cibles suivantes :

BREEAM	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion • Santé et bien-être • Energie • Transport • Innovation • Eau • Déchets • Occupation du sol et écologie • Pollution
---------------	---

LEED	<ul style="list-style-type: none"> • Aménagement écologique des sites • Gestion de l'eau • Energie et atmosphère • Matériaux et ressources • Qualité de l'environnement intérieur • Innovation dans la conception • Priorité régionale
-------------	---

HQE	<ul style="list-style-type: none"> Eco-construction <ul style="list-style-type: none"> • Relation du bâtiment avec son environnement immédiat • Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction • Chantier à faible impact environnemental Eco-gestion <ul style="list-style-type: none"> • Gestion de l'énergie • Gestion de l'eau • Gestion des déchets d'activités • Maintenance - Pérennité des performances environnementales Confort <ul style="list-style-type: none"> • Confort hygrothermique • Confort acoustique • Confort visuel • Confort olfactif Santé <ul style="list-style-type: none"> • Qualité sanitaire des espaces • Qualité sanitaire de l'air • Qualité sanitaire de l'eau
------------	---

5.5. Les approches par matrices

Les approches par matrices sont des tableaux à deux ou plusieurs entrées, mettant en évidence les relations de cause à effet. Elles sont essentiellement utilisées pour l'identification des impacts et des enjeux environnementaux liés à un contexte donné. Les Tables de Mahoney et le diagramme bioclimatique de Givoni sont des exemples de ces approches.

5.6. Les approches par bases de connaissances

Consistent en un ensemble d'informations plus ou moins ordonnées, apportant des connaissances spécialisées. Des indications de l'ordre de bonnes pratiques, de caractéristiques ou d'enjeux écologiques peuvent être renseignées. Elles peuvent se trouver sous forme de guides, de livres, ou encore de forums.

5.7. Les approches génératives

Les Approches génératives également appelées « generative system » (système génératif) utilisent un "mécanisme évolutif" à des fins d'optimisation créative.

Le concepteur énonce les propriétés environnementales que le projet doit respecter. Le système génératif, à partir de ces énoncés et d'autres algorithmes, propose une grande variété de configurations architecturales, formelles, techniques, etc.

Le concepteur instance les propriétés environnementales auxquelles devraient répondre le projet. Le système génératif, sur la base de ces déclarations et d'algorithmes, propose une grande diversité de configuration (architecturales, formelles, techniques, etc.).

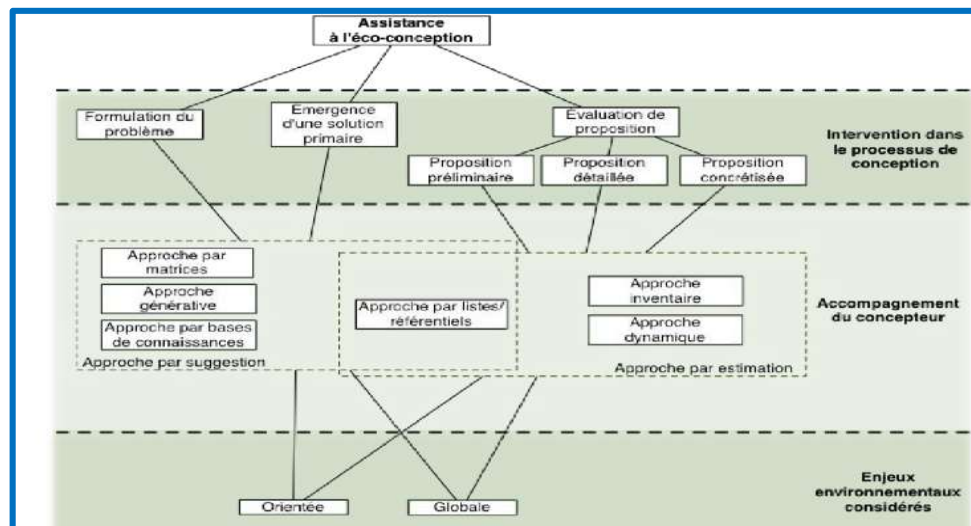


Figure 7 Classification des assistances à l'éco-conception (Weissenstein, 2012)

6. Application du BIM et la conception paramétrique dans le diagnostic énergétique

La conception paramétrique est une méthodologie de conception qui permet de générer des formes à partir de l'exploitation et la manipulation d'un grand nombre de données environnementales, acoustiques, structurelles, sociales ou urbaines.

6.1. La modélisation paramétrique/le design computationnel :

La modélisation paramétrique est définie comme l'intégration direct de données dans un processus de morphogénèse, également appelé le **design** computationnel et repose sur la modélisation algorithmique (Autodesk Dynamo, Mc Neel Grasshopper et Bentley GenerativeComponents)

6.2. Le BIM (Building Information Modeling) :

L'intégration des données dans le processus BIM est prise en charge par l'ajout d'un ensemble d'informations supplémentaires au modèle géométrique, contenant les données des éléments statiques complémentaires. Elle est basée sur la modélisation associative (Autodesk Revit, Graphisoft ArchiCAD).

6.3. Les types de modeleurs de la conception paramétrique :

Il existe plusieurs types de modeleurs de conception paramétrique, tels que :

- Les modeleurs développés pour la profession d'architecte : Basés sur l'utilisation d'objets architecturaux (mur, porte, fenêtre...etc.) tels que ArchiCad et Revit.

- Les modeleurs développés pour d'autres métiers (aéronautique, mécanique) tels que Auto CAD et 3Dmax.
- Les modeleurs généralistes accompagnés des extensions (plugins) spécifiques aux modèles numériques comme le plugin Grasshopper dans Rhinocéros.

Les outils paramétriques les plus utilisés et leurs fonctions respectives en architecture sont illustrés dans le tableau suivant (Panya, Kim, & Seungeon, 2020) :

Tableau 3 Les outils paramétriques les plus utilisés et leurs fonctions respectives

	Géométrie et modélisation des données	Énergie et Simulation thermique, Analyse du climat	Simulation éclairage naturel	Simulation de la dynamique des fluides
Objectif	Créer géométrique et de données qui supportent la simulation	Prévoir l'impact de la conception architecturale sur la consommation d'énergie et les émissions	Anticiper la qualité de la de la lumière naturelle et confort visuel en fonction de la géométrie de l'espace et des matériaux de surfaces	Modéliser les flux d'air à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments, prévoir le confort.
Concept du design	Rhino, Sketchup, Vasari	Ecotect Sun Tool, Ecotect, Vasari(Beta), Climate Consultant, EcoDesigner, ComFen	Ecotect, Velux Daylighting Visualizer, Radiance, DIVA	Vasari Wind Tunnel(Beta), Design Builder CFD
Développement Du design	Revit, Archicad	OpenStudio, EnergyPlus, DesignBuilder, IES-VE, eQuest, TRNSYS	3Ds Max, Radiance, Daysim, DIVA	Fluent, Virtual Wind Parametric
Conception paramétrique	Design Grasshopper, Dynamo	JePlus, JePlus EA	Grasshopper and various plug-ins	

7. Bibliographie

Titre de l'ouvrage	Auteur	Éditeur et année d'édition
Architecture et efficacité énergétique : Principes de conception et de et de construction	Roberto Gonzalo, Karl J. Habermann	Springer Science & Business Media, 2008
L'architecture écologique	GAUZIN-MULLER. Dominique	le Moniteur, novembre, 2002.
pour une construction éco énergétique en Algérie	APRUE GIZ	Ministère de l'énergie, 2014
L'éco-conception dans le bâtiment	Jean-Luc Menet, Ion Cosmin Gruescu	DUNOD 2014
Physique du bâtiment Construction et énergie	De Christoph Zürcher, Thomas Frank	VDF, 2014
Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements & méthodes	Pierre Fernandez, Pierre Lavigne	Édition. le Moniteur, 2009

ELEMENTS DU CLIMAT/Cours N°03

1. Définitions du climat

- Le climat est un concept très ancien, car il y a bien longtemps, les Grecs ont découvert que les conditions atmosphériques, la faune et la flore changent d'un endroit à l'autre. Pour eux, ce changement dépend de l'inclinaison des rayons solaires.
- Le climat est défini comme une série d'états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu, dans leur succession habituelle.
- L'état atmosphérique varie à chaque instant et en chaque lieu, les paramètres météorologiques tels que l'humidité, la température et le vent varient considérablement au cours d'une même journée, cette variation est appelée : le temps.
- Au milieu de ces changements il existe une constante appelée « Climat ». Ce terme peut être défini comme étant une caractéristique constante au milieu de plusieurs changements

2. Climatologie urbaine : une science pluridisciplinaire :

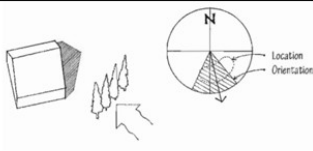
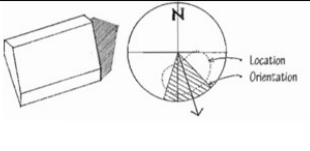
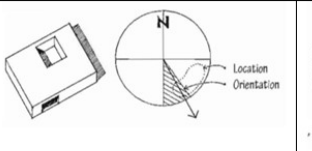
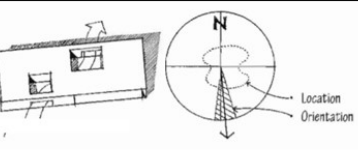
La climatologie urbaine est aujourd'hui un champ de recherche dont se sont emparés les climatologues et les géographes, mais aussi les architectes et les urbanistes. Chacun d'entre eux s'est approprié ce sujet en fonction de différentes échelles, variables ou objets d'étude.

3. Prise en compte du climat urbain dans l'aménagement et l'architecture

Alors que les climatologues et les géographes se sont concentrés sur la formation du climat urbain, les architectes se sont intéressés à l'impact des conditions climatiques et environnementales sur les bâtiments. Parallèlement, les architectes, initialement focalisés sur les questions de confort intérieur et les besoins énergétiques pour le maintenir, se sont progressivement ouverts aux conditions extérieures au bâtiment. Le contexte urbain, modifiant les apports solaires et le comportement du vent, a ainsi progressivement intégré les pratiques.

Selon Givoni, il est possible de modifier le climat urbain à travers les règles d'urbanisme et la conception des zones périurbaines voisines et des villes nouvelles en mettant en avant différents critères tels que la situation géographique de la ville, sa taille, la densité des constructions, la nature de la surface, la taille des bâtiments, l'orientation et la largeur des rues, etc.

Tableau 3 Formes et orientations des bâtiments isolés selon différentes zones climatiques (Mark DeKay, 2013)

Régions froides	Régions tempérées	Régions chaudes et arides	Régions chaudes et humides
<p>- Minimiser la surface exposée du bâtiment réduit l'exposition aux basses températures.</p> <p>-Maximiser l'absorption du rayonnement solaire.</p> <p>-Réduire les pertes de chaleur par rayonnement conduction et évaporation.</p> <p>-Fournir une protection contre le vent.</p>	<p>L'allongement de la forme du bâtiment le long de l'axe Est-Ouest maximise les surfaces orientées vers le Sud.</p> <p>Réduire au minimum les expositions Est et Ouest, qui sont généralement plus chaudes en été et plus fraîches en hiver.</p> <p>Équilibrer les gains de chaleur solaire.</p> <p>Favoriser le mouvement de l'air par temps chaud ; se protéger contre le vent par temps froid</p>	<p>Des bâtiments avec des cours intérieures.</p> <p>Réduire les gains de chaleur</p> <p>Favoriser le refroidissement par évaporation à l'aide de jeux d'eau et de plantations.</p> <p>Prévoir des protections solaires pour les fenêtres et les espaces extérieurs</p>	<p>La forme du bâtiment allongée le long de l'axe Est-Ouest minimise les expositions à l'Est et à l'Ouest.</p> <p>Réduire les gains de chaleur solaire.</p> <p>Utiliser le vent pour favoriser le refroidissement par évaporation.</p> <p>Prévoir des protections solaires pour les fenêtres et les espaces extérieurs.</p>
			

5. Le climat en Algérie

L'Algérie occupe une vaste étendue territoriale, sa superficie dépasse les deux millions de Km². Plus des 4/5 de sa surface sont désertiques d'où une grande variété géographique et climatique de la côte au désert. La classification climatique en Algérie permet de distinguer quatre zones principales (Mazouz, 2014)

:

Zone A : côte de la mer Méditerranée

Zone B : Montagnes de l'arrière-côte

Zone C : Hauts plateaux

Zone D : Présaharienne et saharienne

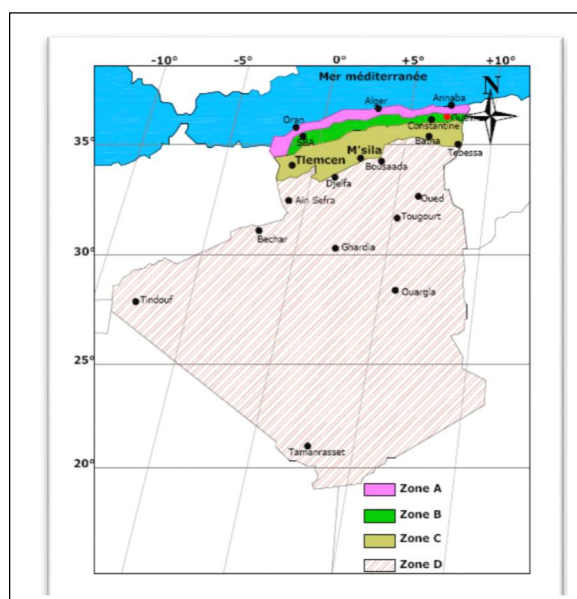


Figure 9 Zones climatiques en Algérie

Le tableau ci-dessous donne les caractéristiques spécifiques de chaque zone.

Tableau 4 Zones climatiques en Algérie

Zone A : littoral marin	
Localisation	Latitude : entre la limite supérieure de 35°N à l'ouest à 37°25N à l'est La limite inférieure de 35°15 à l'ouest à 37° 35 à l'est,
Variations saisonnières	spectre climatique varié de chauds étés avec soleil abondants et peu de pluies et des hivers modérés,
Températures	20 à 25 °C,
Précipitations	assez pluvieux de 500 mm,
Humidité	peu élevée,
Vents	modérés, nord à nord-ouest en hiver.
Zone B : Arrière littoral montagne	
Localisation	Latitude: entre la limite supérieure de 35°10 N à l'ouest à 37°35N à l'est La limite inférieure de 35°25 à l'ouest à 36° 25 à l'est,
Variations saisonnières	avec des hivers plus frais.
Zone C : Hauts plateaux	
Localisation	Latitude: entre la limite supérieure de 35°25N à l'ouest à 36°25N à l'est La limite inférieure de 34°50 à l'ouest à 35° à l'est,
Température	supérieure à 30°C. Ecart important (15-18). En hiver, les températures tombent en dessous de 0,
Précipitations	environ 300mm mais très variable,
Humidité	peu élevée,
Conditions célestes et rayonnement	ciel clair avec des périodes de nuage léger. Rayonnement diffus modéré, des nuages et rayonnement réfléchi par le sol de modéré à élevé,
Vents	Essentiellement de direction ouest. Tendent à être forts débutant en fin de matinée atteignent le maximum dans l'après midi. Nuits calmes.
Zone D : Pré-Sahara et Sahara	
Localisation	Latitude: entre la limite supérieure de 34°50N à l'ouest à 35°N à l'est. La limite inférieure de 19° à l'est et à l'ouest,
Variations saisonnières	02 saisons, chaude et froide,
Température	T°Moy, Max : 45°C et entre 20-30°C en hiver, variation saisonnière de 20°C. L'effet de la latitude les hivers deviennent de plus en plus froids,
Précipitations	Pluies rares, torrentielles par moments,
Humidité	réduite entre moins 20% après midi à plus de 40% la nuit,
Conditions célestes et rayonnement	ciel clair pour une grande partie de l'année, mais les vents sable et les tempêtes sont fréquents, arrivant généralement les après midi. Rayonnement solaire intense augmenté par les rayons réfléchis par le sol,
Végétation	extrêmement clairsemée,
Vents	généralement locaux.

6. Echelles du climat

L'échelle du climat est considérée à l'échelle spatiale et temporelle. La définition du type de climat se réfère à un ordre de surface déterminé de la surface terrestre et selon une période définie, plus la description est détaillée, plus la surface concernée est limitée, plus la marge temporelle est réduite

La variabilité spatio-temporelle du climat dépend d'un grand nombre de facteurs (bilan radiatif, circulation atmosphérique et océanique, occupation des sols, relief,...), dont la prépondérance dépend fortement de l'échelle spatiale considérée.

Tableau 5 Les échelles du climat (Tabeaud, 2000)

Echelles Du climat	Ex. mécanismes caractéristiques	Espace géographique	Extension horizontale	Extension verticale	Durée de vie Des processus
Global	Radiation solaire, Circulation générale	Planète	20 000 Km	40 Km	1 an
Zonal	Flux d' W^{12} Mousson, CIT ¹³	Zone	5 000 Km	15 Km	Quelques semaines
Synoptique	Anticyclone, Perturbation	Portion de Continent/Océan	3 000 à 1 000 Km	15 Km	90 h
Régional Mésoclimat	Ascendance Orographique (relief) Brise de mer Tempête	"Pays"	300 à 50 Km	12 à qq Km	48 à 5 h
Local Topoclimat	Orage brise de versant, Inversion Thermique	Vallée, ville	5 Km	100 m	24 à 1 h
microclimat		Site de clairière, rue	10 Km	2 m	Quelques minutes

7. Echelle temporelle :

- 1- Rotation de la terre autour de son axe
- 2- Le mouvement de la terre autour du soleil

8. Bibliographie

Titre de l'ouvrage	Auteur	Éditeur et année d'édition
Bioclimatologie: concepts et applications	Sané de Parcevaux, Laurent Huber	Editions Quae, 2007
Introduction à la climatologie; le rayonnement et le température l'atmosphère l'eau le climat et l'activité humaine	André Hufty	Ed.De Boeck université 2001
pour une construction éco énergétique en Algérie	APRUE GIZ	Ministère de l'énergie, 2014
Elément de conception architecturale	Mazouz S.	Offices des publications universitaires 2004
La climatologie	Martine Tabeaud	Armand colin ; 2000
Soleil, nature, architecture	Wright.D	Parenthèses, 1979.
des bâtiments bioclimatiques, fondements & méthodes	Pierre Fernandez, Pierre Lavigne	Édition. le Moniteur, 2009

ANALYSE CLIMATIQUE DU SITE / Cours N°04

1. Objectifs :

Pour l'architecte, l'analyse climatologique vise essentiellement à mettre à jour les caractéristiques du climat susceptibles d'influencer les dispositions et les formes du projet.

Par conséquent, elle ne vise pas à recueillir des données exhaustives sur les éléments de la climatologie générale, puis de la climatologie du site et de la climatologie urbaine. Elle doit à partir d'une lecture et d'une interprétation sélective des résultats de ces disciplines scientifiques opérer le choix des informations pertinentes, permettant une bonne adaptation climatique du bâtiment projeté.

2. Les composants :

Pour décrire et prévoir le phénomène atmosphérique, la climatologie utilise des mesures météorologiques qui concernent principalement : Le vent, la température et l'humidité de l'air, les précipitations et le rayonnement solaire enregistrés par des stations météorologiques.

3. Intégration des données climatologiques et environnementales dans la démarche du projet :

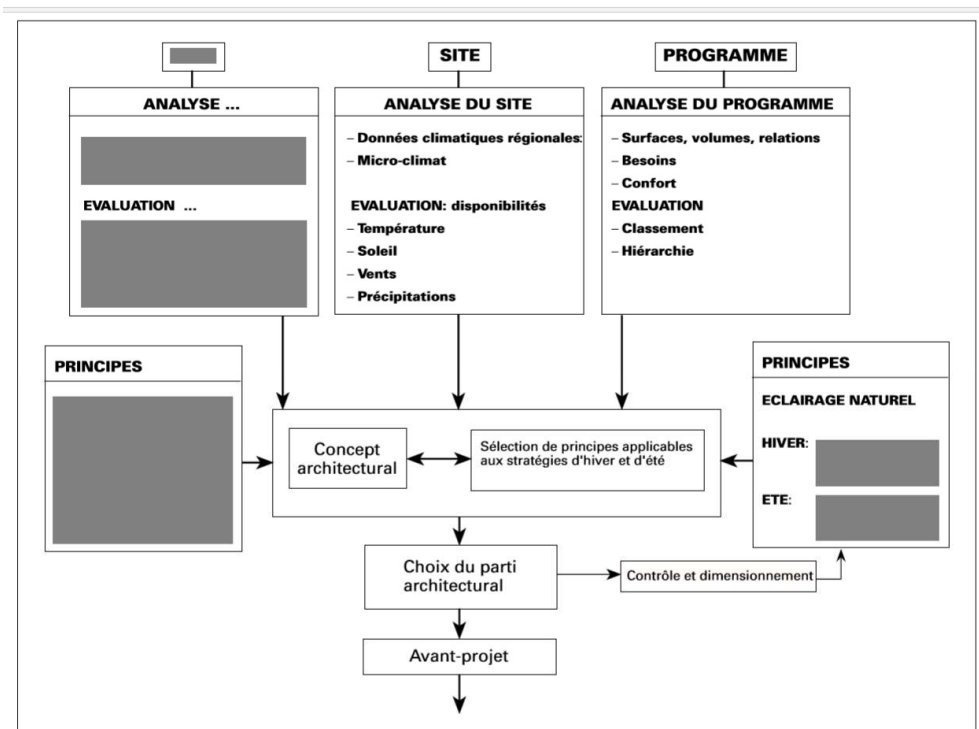


Figure 10 Intégration des données climatologiques et environnementales dans la démarche du projet (PACER, Architecture climatique équilibrée Conception, démarche et dimensionnement, 1996)

Les données climatologiques et environnementales doivent être intégrées de manière naturelle dans l'approche du projet à partir de :

- La compréhension du phénomène de base.
- Intégrer le climat et la topographie dans la conception du projet par l'analyse combinée du site et du programme.
- Apprendre à faire des choix par la hiérarchisation des priorités.
- Echapper aux normes purement restrictives et à la stratégie de formalisation.

4. Variation des données climatiques dans le temps et dans l'espace :

Toutes les données climatiques varient dans l'espace et dans le temps. La détermination des données climatiques se fait d'abord à l'échelle mésoclimatique ou régionale, puis des corrections microclimatiques sont apportées (altitude, situation locale) et enfin des corrections pour le site lui-même.

La connaissance de l'évolution journalière d'une donnée climatique est également importante car son amplitude est généralement aussi élevée que la variation annuelle et plus élevée que la variation spatiale.

Les données pour l'ensemble de la saison ou de l'année sont nécessaires pour évaluer la performance énergétique globale du bâtiment (tab. 06).

Tableau 6 Importance des variations des données climatiques de base en fonction de l'échelle d'observation (PACER, Architecture climatique équilibrée Conception, démarche et dimensionnement, 1996)

	Température	Ensoleillement	Vent	
Variation spatiale:				
- région	*	*	*	
- altitude	***	**	*	
- situation locale	***	-	****	
- site	*	****	***	
- orientation	-	***	***	
Variation temporelle:				
- annuelle	***	**	-	
- nycthémérale	***	****	**	

- = très faible
 * = faible
 ** = moyenne
 *** = importante
 **** = très importante

5. Données climatiques et mesures : Quelles données dans quel but ?

Plusieurs données climatiques sont mesurées par les stations météorologiques. Elles sont disponibles sous forme de moyennes mensuelles ou horaires. L'interaction de chacune de ces données avec le bâtiment est très différente et seule une petite partie de ces informations est nécessaire à l'architecte.

6. Rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique émis par le soleil sous forme de lumière et de chaleur. Le spectre du rayonnement solaire (fig 11) s'étend de 0,25 micron (UV) à 3 microns (IR). Sur la grande quantité d'énergie solaire, la terre ne reçoit que 1390w/m^2

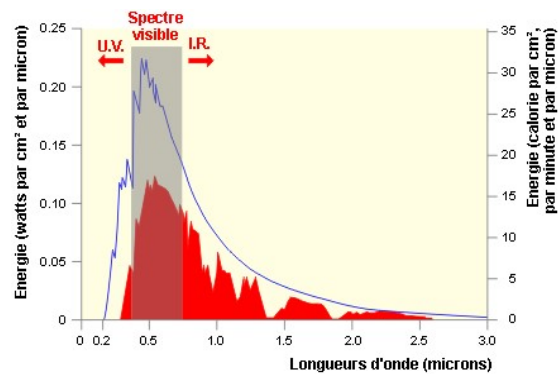


Figure 11 Le spectre de la radiation solaire

De l'énergie interceptée par la terre, 60% est réfléchi directement par l'atmosphère (Fig.12) ; 16% contribue à l'évaporation des océans ; 11,5% est réfléchi à la surface de la terre (selon son coefficient d'albédo), seulement 9,5% est absorbée par la masse terrestre et les masses d'air, et environ 3% alimente la photosynthèse. Une petite partie participe à la formation des réserves d'énergie fossile (0,02%).

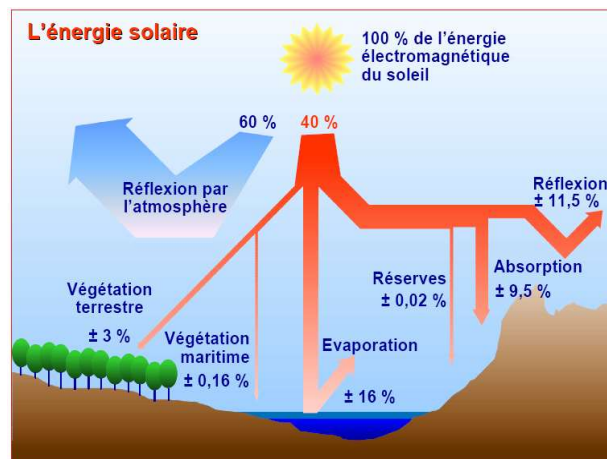


Figure 12 Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire qui atteint le sol est composé d'un rayonnement direct et d'un rayonnement diffus. Le rayonnement direct arrive directement du disque solaire après avoir traversé l'atmosphère. Son intensité dépend de la masse d'atmosphère traversée et du coefficient de brume atmosphérique.

Le rayonnement diffus est prélevé sur le rayonnement direct par les molécules et particules diffusantes. Il n'a pas d'orientation privilégiée et atteint le sol depuis tous les points du ciel. Il dépend de la part prise par la diffusion moléculaire, responsable de la couleur bleue foncée du ciel pur, et de la part prise par la diffusion par les aérosols, donnant au ciel pollué sa couleur blanche laiteuse. Toutes choses égales par ailleurs, le rayonnement diffus est multiplié par trois lorsque la couleur du ciel passe du bleu foncé au blanc laiteux (fig.12).

La surface urbaine constitue une interface d'échange spécifique avec l'atmosphère. Les propriétés physiques des surfaces diffèrent en fonction de la nature de ces surfaces (morphologie, types de sols et de matériaux), (fig.014).

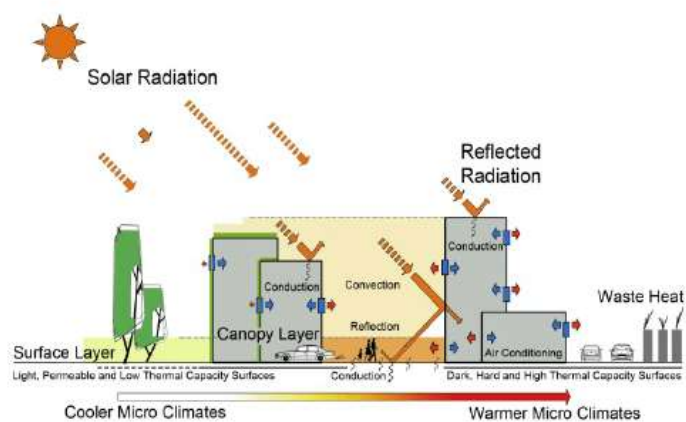
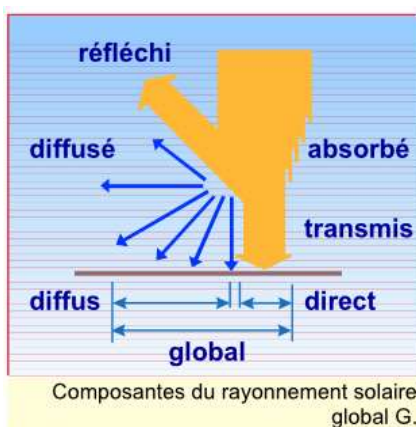


Figure 13 Composantes du rayonnement solaire globale

Figure 14 Les échanges radiatifs en milieu urbain

Les stations climatiques ne mesurent généralement que le rayonnement global reçu par un plan horizontal. C'est celui-ci qui sera déterminé en premier lieu pour le site. Ensuite, nous calculerons le rayonnement global sur des plans (façades, toits) de toute orientation et inclinaison.

7. L'impact du relief sur le rayonnement

- Une baisse de de température de 0,7°C pour 100m
- Une grande amplitude
- Une exposition au vent
- Les vallées sont plus chaudes dans la journée que les pentes ou les sommets

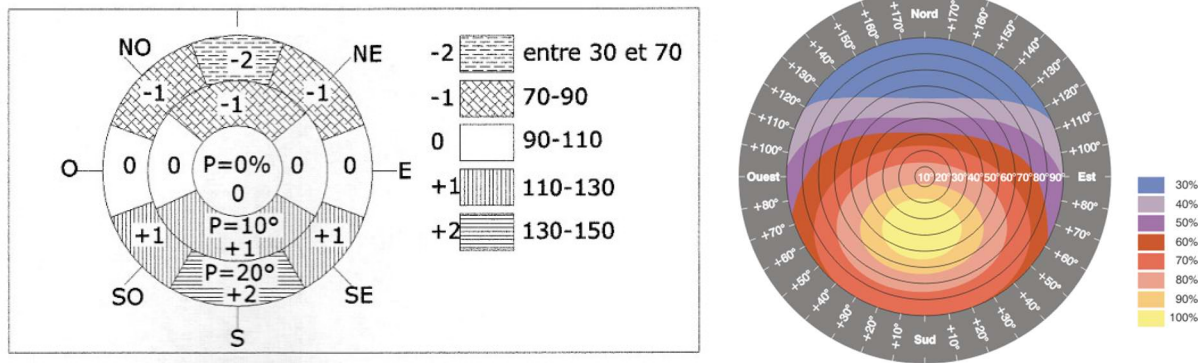


Figure 15 Evaluation des radiations moyennes selon les pentes

Une pente de 10% vers le sud reçoit 20% de plus de rayonnement hivernal qu'un terrain plat et reçoit le printemps deux semaines avant. De même, une pente de 20% reçoit 40% de rayonnement en plus qu'un terrain plat et reçoit le printemps trois semaines et demie avant (fig15).

8. La température:

C'est la quantité de rayonnement solaire reçue et absorbée par le sol qui détermine la température de l'air et le climat. La chaleur du sol est transférée aux masses d'air essentiellement par convection, ce transfert étant largement conditionné par le vent.

La température conditionne les déperditions en hiver et une part souvent importante des apports de chaleur en été, soit par renouvellement d'air, soit par transmission à travers les parois.

La mesure de la température de l'air extérieur, appelée température sèche, se fait soit par des thermomètres à mercure, soit par des sondes électroniques. On peut effectuer deux types de mesure de température :

La température minimale quotidienne θ_{min} et la température maximale quotidienne θ_{max} entre 18 h la veille et 18 h le jour de référence. À partir de ces deux mesures, on calcule la température moyenne journalière :

$$\theta_{moy} = (\theta_{min} + \theta_{max})/2 \text{ et l'amplitude diurne : } A = \theta_{max} - \theta_{min}$$

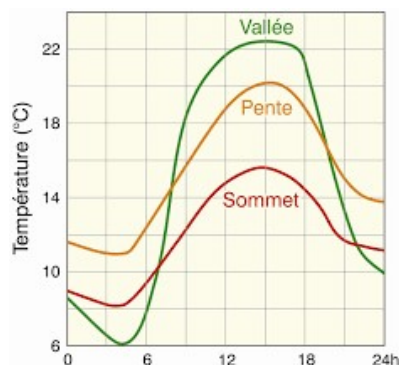


Figure 16 Variation de la température en fonction de la pente

Les mouvements d'air à proximité du sol, l'épaisseur et les caractéristiques de la couche essentiellement turbulente, sont liés aux caractéristiques du sol, c'est-à-dire à sa taille, sa disposition, sa répartition et le nombre d'obstacles présents.

La vitesse du vent est mesurée par un anémomètre à coupelle entraînant un alternateur dont la tension de sortie est fonction de la vitesse du vent. La direction du vent est indiquée en 18 positions par une girouette.

Un site peut générer différents microclimats en fonction de ses caractéristiques (relief, végétation, eau...etc.)

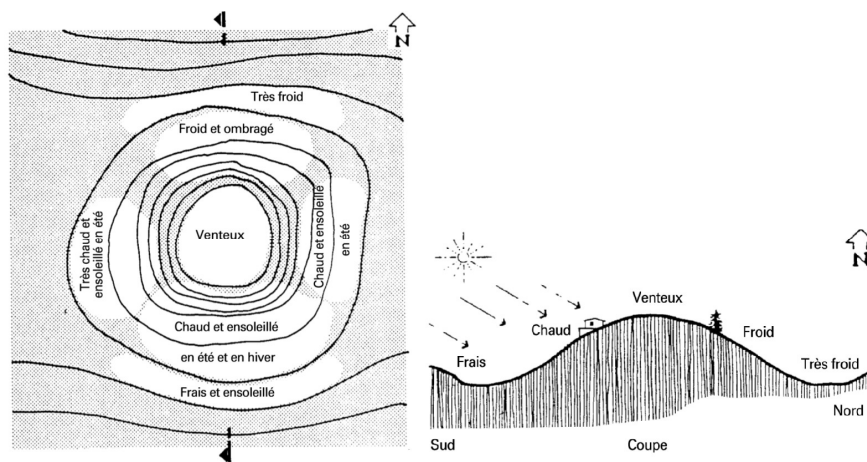


Figure 18 Plan et coupe d'un site comportant une colline avec ses divers microclimats (PACER, Architecture climatique équilibrée Conception, démarche et dimensionnement, 1996)

Il existe trois familles de vents dans chaque hémisphère : les alizés, les vents d'ouest et les vents polaires. À cela s'ajoutent les vents dits "de mousson" qui résultent des différences annuelles de réchauffement entre les surfaces des continents et des mers. Il existe également des régimes de vent dans les montagnes et les vallées, ainsi que des brises diurnes et nocturnes le long des côtes.

11. Bibliographie

Titre de l'ouvrage	Auteur	Éditeur et année d'édition
Bioclimatologie: concepts et applications	Sané de Parcevaux, Laurent Huber	Editions Quae, 2007
Introduction à la climatologie; le rayonnement et le température l'atmosphère l'eau le climat et l'activité humaine	André Hufty	Ed.De Boeck université 2001
pour une construction éco énergétique en Algérie	APRUE GIZ	Ministère de l'énergie, 2014
Housing and building	Konenisberger,O.H, TGIngersoll, Alam mayhew et SVSzokolay	Man group limited, London 1980
Architecture climatique équilibrée Conception, démarche et dimensionnement	PACER	Office fédéral des questions conjoncturelles,Berne, 1996.
Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements & méthodes	Pierre Fernandez, Pierre Lavigne	Édition. le Moniteur, 2009

SOLEIL ARCHITECTURE ET ENERGIE/Cours N°05

Il y'a dans l'inconscient de tout architecte mais aussi de tout consommateur d'architecture, un esthétisme du soleil et de sa lumière. (F.Bouvier)

1. Importance et effet du rayonnement solaire en architecture :

Le soleil est l'une des sources d'énergie les plus abondantes et les plus écologiques, sans impact majeur sur le climat et les écosystèmes (Hasting et Wall, 2007b). L'exploitation de l'énergie solaire en architecture présente un potentiel énorme pour l'Algérie. Les composants solaires doivent être intégrés dans le design architectural de tout Bâtiment. L'utilisation correcte de l'énergie solaire peut réduire les coûts énergétiques des bâtiments pendant leur exploitation. Enfin, sachant que l'esthétique de l'architecture influence grandement l'opinion publique (InternationalEnergy Agency, 2009), le développement d'une architecture solaire supérieure permettrait de sensibiliser davantage la population aux qualités et aux avantages de l'exploitation de l'énergie solaire.

2. Elan solaire au tout début du vingtième siècle : Marqué par Source spécifiée non valide. :

- Les théories hygiénistes du début du siècle, et la théorie héliothermique (A. Rey, 1928) (fig 19) sont censées conduire à une optimisation solaire des tracés urbains, et à la définition d'une nouvelle unité de mesure qui est la valeur héliothermique.
- Les immeubles à gradins de H. Sauvage :
 - ✓ Elargir progressivement le profil de la rue de bas en haut,
 - ✓ Superposer les marches pour favoriser le renouvellement de l'air,
 - ✓ Augmenter l'ensoleillement des étages inférieurs
 - ✓ Offrir à chaque appartement une terrasse aérée et lumineuse.
- Le contrôle de l'ombre et la genèse du brise-soleil par l'architecte Le Corbusier qui, suite aux difficultés thermiques posées par les premiers panneaux de verre des années 1930, a développé des méthodes architecturales pour contrôler l'ombre ; c'est ainsi qu'est né le dispositif brise-soleil.
- La méthode de la grille climatique et les tracés solaires de I. Xenakis :
Définition de l'ambiance climatique en fonction de quatre variables (température de l'air, humidité relative, vitesse de l'air et température des parois dont l'objectif est de trouver, en fonction des données climatiques et des résultats théoriques préétablis, les procédures architecturales de correction.

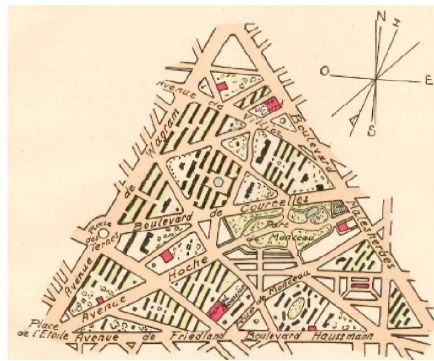


Figure 19 Réaménagement héliothermique d'un quartier de Paris **Source spécifiée non valide.**

3. L'enseillement sur un site :

L'étude de l'enseillement des bâtiments porte sur la relation objective entre trois éléments : le soleil, le site et le bâti. Son objectif est de prédire les influences du soleil sur le bâtiment (période d'isolation des surfaces, énergie reçue, ombre portée) et de définir les moyens techniques d'évaluation et de contrôle de l'enseillement dans le projet, en relation avec les données physiques du site d'implantation (localisation, forme du terrain) (Mazouz, 2014).

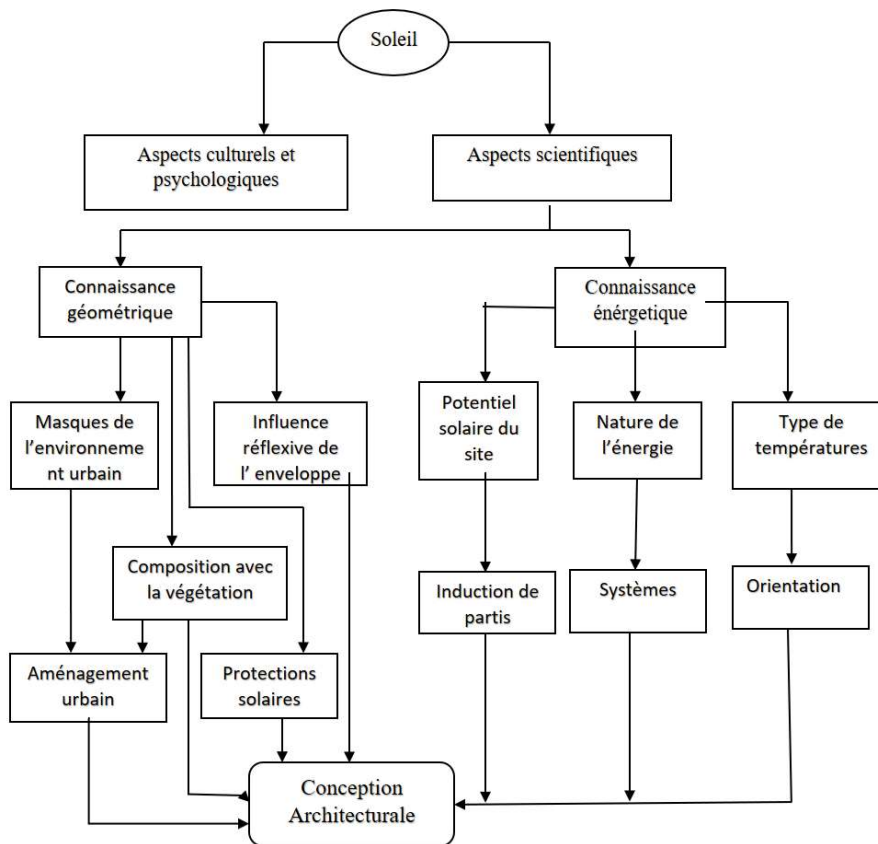


Figure 20 Les aspects de l'enseillement en Architecture (Mazouz, 2014)

4. Aspect géométrique :

La connaissance des mouvements et positions du soleil pour un observateur terrestre, permet de mettre à jour les principales spécificités de l'ensoleillement et des ressources solaires d'un site. Ces données solaires impliquent un certain nombre de contraintes ou d'attitudes à adopter pour la prise en compte des facteurs solaires dans le projet. Au-delà, elles facilitent l'utilisation de techniques simples pour contrôler et évaluer le rayonnement solaire des différents composants du bâtiment.

4.1. La latitude

La position d'un lieu sur la terre est déterminée par sa latitude. L'ensemble des points terrestres de mêmes latitudes constitue un parallèle terrestre (perpendiculaire à l'axe des pôles et parallèle au plan de l'équateur). Du fait de la rotation diurne de la terre autour de son axe des pôles, chacun des points d'un même parallèle se trouve donc, avec un décalage horaire, dans une situation d'ensoleillement identique.

Selon le lieu, c'est-à-dire de la latitude, les conditions d'ensoleillement sont différentes au cours de l'année. On peut, à chaque latitude, déterminer précisément ces conditions et obtenir les coordonnées terrestres correspondantes du soleil.

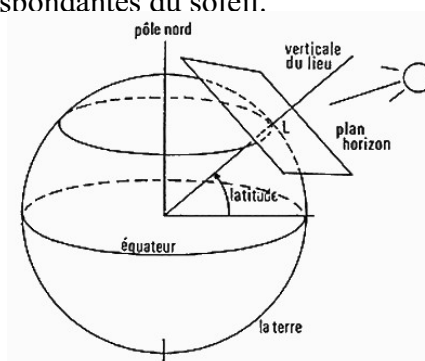


Figure 21 La latitude d'un lieu

4.2. Les projections solaires

A un moment donné, la hauteur et l'azimut du soleil déterminent la position du soleil dans le ciel. Ainsi, la direction du rayonnement solaire est connue et les zones ensoleillées du bâtiment peuvent être calculées.

- **Diagramme solaire :**

En joignant les différentes positions du soleil à différents moments de la journée, on obtient la trajectoire du soleil.

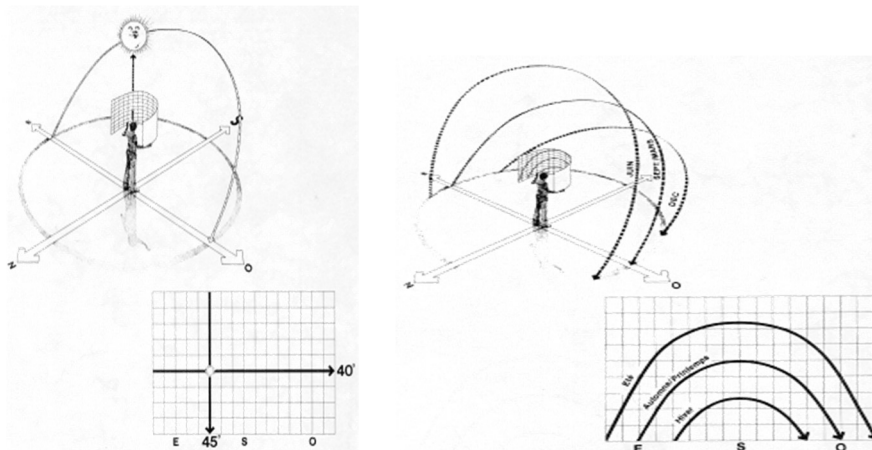


Figure 22 Diagramme solaire (Mazria, 1981)

5. Aspect énergétique :

Le rayonnement provenant du soleil et atteignant un plan comprend trois composantes :

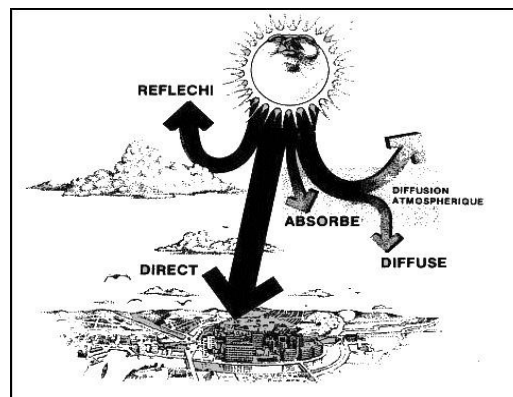


Figure 23 Aspects énergétique du soleil (Mazria, 1981)

Le rayonnement direct : Qui provient directement (en ligne droite) du soleil et qui peut être nul par temps couvert.

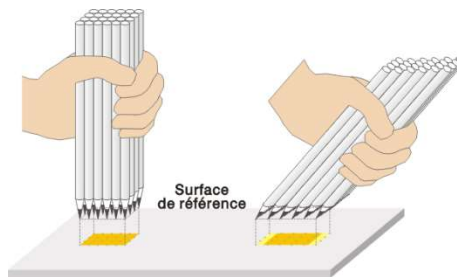
Le rayonnement diffus : Qui provient de la diffusion du rayonnement solaire par les particules de l'atmosphère et qui est en quelque sorte « émis par la voûte céleste », étant faible par ciel très clair, ce rayonnement n'est jamais nul.

Le rayonnement réfléchi ou albédo : Provient de la réflexion sur l'environnement des deux rayonnements précédents

6. L'irradiation solaire incidente

Le rayonnement total reçu sur une surface, est la somme de trois composantes : L'irradiation directe, l'irradiation diffuse, et l'irradiation réfléchi. L'angle que font les rayons du Soleil

avec une surface détermine la densité énergétique reçu. Une surface perpendiculaire à ces rayons intercepte la densité maximale d'énergie. Son éclairage diminue en fonction de l'inclinaison de la surface à partir de la position perpendiculaire.

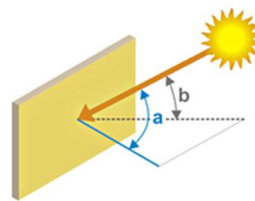


Le tableau ci-dessous donne les pourcentages de lumière interceptée par une surface pour différents angles d'incidence.

Tableau 7 les pourcentages de lumière interceptée par une surface pour différents angles d'incidence

Pourcentage du rayonnement intercepté par une paroi en fonction de l'angle d'incidence

Angle d'incidence (degré)	Rayonnement intercepté (pourcentage)
0	100,0
5	99,6
10	98,5
15	96,5
20	94,0
25	90,6
30	86,6
35	81,9
40	76,6
45	70,7
50	64,3
55	57,4
60	50,0
65	42,3
70	34,2
75	25,8
80	17,4
85	8,7
90	0,0



a : angle d'incidence
 b : hauteur angulaire

7. L'impact du rayonnement sur la construction :

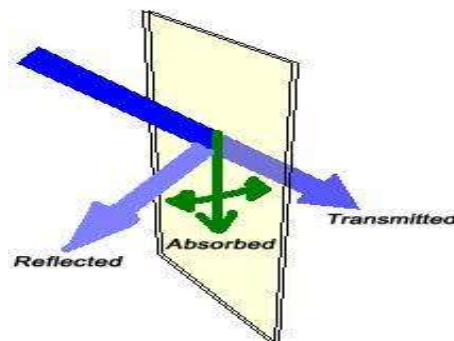


Figure 24 L'impact du rayonnement sur la construction

Les matériaux opaques absorbent une certaine proportion de l'insolation et réfléchissent le reste. Les matériaux transparents non seulement absorbent et réfléchissent, mais transmettent également ce rayonnement. Une équation très simple peut exprimer la relation entre le rayonnement absorbé (a), réfléchi (r) et transmis (t) de l'énergie reçue : $a + r + t = 1$

8. L'enseillement en milieu urbain :

Les recherches effectuées en climatologie sur l'insolation et le rayonnement solaire dans les villes montrent généralement des variations sensibles par rapport à l'espace rural environnant

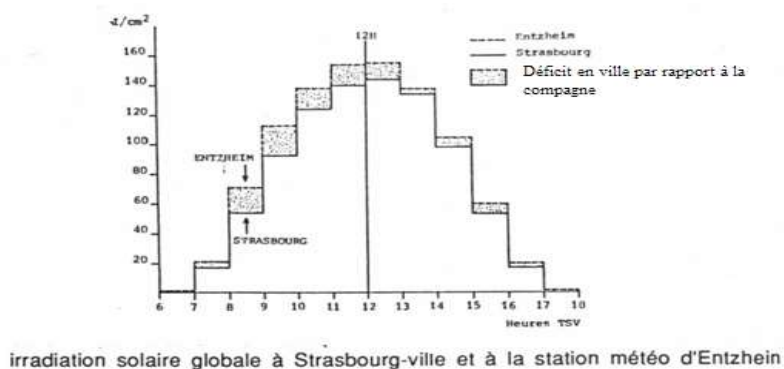


Figure 25 L'enseillement en milieu urbain

9. L'enseillement dans les espaces extérieurs urbains :

La distribution de l'éclairement énergétique dépend des principaux facteurs suivants :

- L'éclairement énergétique incident au-dessus du quartier (repéré sur le toit de référence)
- L'état du ciel (ciel couvert, ciel clair)
- La position des points d'observation par rapport à l'environnement bâti et aménagé
- L'exposition de ces points au soleil.

10. La maîtrise des accès solaires

Le contrôle de l'accès au soleil est important pour créer des microclimats urbains confortables et pour garantir le potentiel d'utilisation de l'énergie solaire

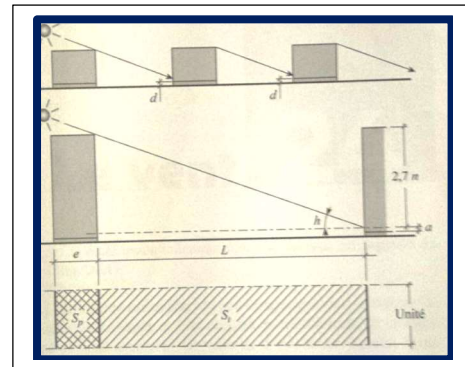
10.1. La règle du prospect :

La règle du prospect définit l'implantation des constructions par rapport aux limites séparatives des parcelles. Elle détermine la distance minimale d'une construction par rapport à la limite mitoyenne en fonction de sa hauteur afin de garantir un bon ensoleillement et une bonne ventilation .

$$\tan(h) = (2,7n-a)/L \quad \text{d'où } L=(2,7n-a)/ \tan (h)$$

$$\frac{Sp}{St} = \frac{k}{\frac{1}{h} + \frac{2,7-a/n}{e \times \tan(h)}}$$

10.2. Périmètre d'ombre fictive :



Le périmètre d'ombre a été défini dans les années 1960 en complément de la notion de prospect, afin de définir des règles d'urbanisme permettant une meilleure prise en compte de l'ensoleillement.

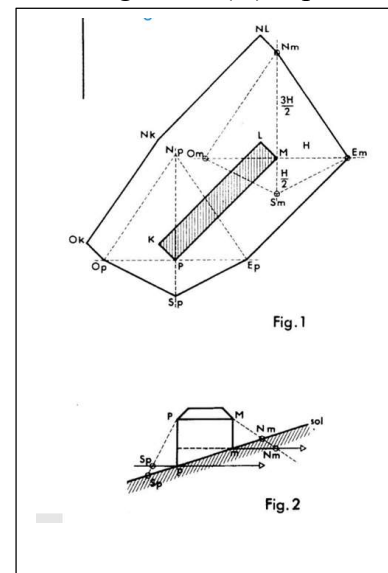
Le POF est construit en dessinant (fig.1), à partir de chaque sommet du niveau supérieur (acrotère, avant-toit, faitage), des quadrilatères dont la longueur des diagonales (D) dépend de l'orientation et de la hauteur du sommet (H) ;

Nord : $D=3/2H$;

Est : $D=H$;

Sud : $D=1/2H$;

Ouest : $D=H$.



10.3. L'enveloppe solaire :

L'enveloppe solaire est une enveloppe tridimensionnelle imaginaire construite pour un site donné. Elle offre au bâtiment et à son environnement la possibilité d'utiliser des stratégies solaires passives et actives. Les concepts de contrôle solaire englobent à la fois le besoin d'accès au soleil et le besoin d'ombrage en fonction des caractéristiques climatiques du site. Ainsi, la délimitation de cette enveloppe est conditionnée par les règles de l'enveloppe solaire et les règles de l'enveloppe d'ombrage.



Figure 26 Enveloppe solaire et logements à Southpark - source: Knowles

11. Stratégies d'ensoleillement :

L'identification des masques gênants permet non seulement de connaître la meilleure implantation mais aussi de déduire l'orientation et le potentiel d'ensoleillement du site.

Les masques solaires peuvent être occasionnés par le relief, la végétation existante, les bâtiments voisins, ou encore par des dispositifs architecturaux liés au bâtiment lui-même.

En hiver, les apports solaires peuvent être considérablement réduits. En effet, pendant les mois d'hiver, environ 90% des apports solaires se produisent entre 9h00 et 15h00. Tout masque dans l'environnement, bâtiments ou grands arbres, qui intercepte le soleil pendant ces heures, entrave considérablement l'utilisation des gains solaires.

Les bâtiments agissent comme des écrans fixes pour leurs voisins. Ils peuvent jouer un rôle positif si l'on souhaite se protéger du soleil : c'est le cas dans les villes traditionnelles méditerranéennes, où l'étroitesse des rues et la hauteur des bâtiments réduisent considérablement le rayonnement direct et fournissent une ombre bienvenue

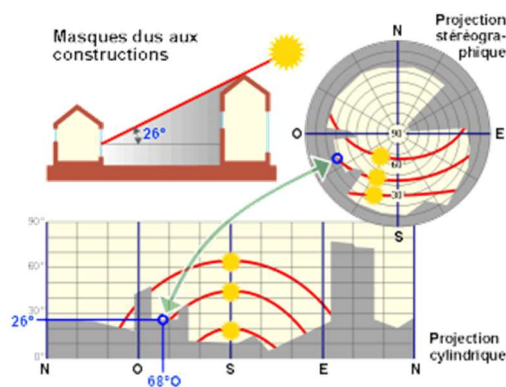


Figure 27 Les masques solaires

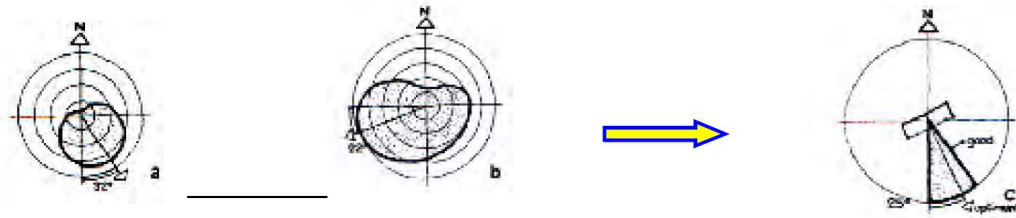
D'autre part, ce rôle peut être négatif si les bâtiments voisins bloquent le soleil lorsque le gain solaire est souhaité. Il est donc très important de mesurer l'impact de cet effet de masquage et d'évaluer les distances adéquates entre les bâtiments ou tout type d'aménagement.

Forme et orientation

Quelle que soit la latitude de la zone tempérée, c'est la façade sud qui reçoit le maximum de rayonnement solaire en hiver et les façades ouest et est ainsi que le toit en été.

Facteur de forme

Du point de vue de la consommation d'énergie, la forme optimale d'un bâtiment est celle qui permet un minimum de gains solaires en été et un maximum de gains solaires en hiver.



a = radiation totale durant la période froide

b = radiation totale durant la période chaude

c = à partir du diagramme un compromis détermine l'orientation optimale

L'effet de la forme de l'enveloppe peut être évalué par le facteur de forme, qui est défini comme la surface de l'enveloppe en contact avec l'air extérieur divisée par le volume du bâtiment.

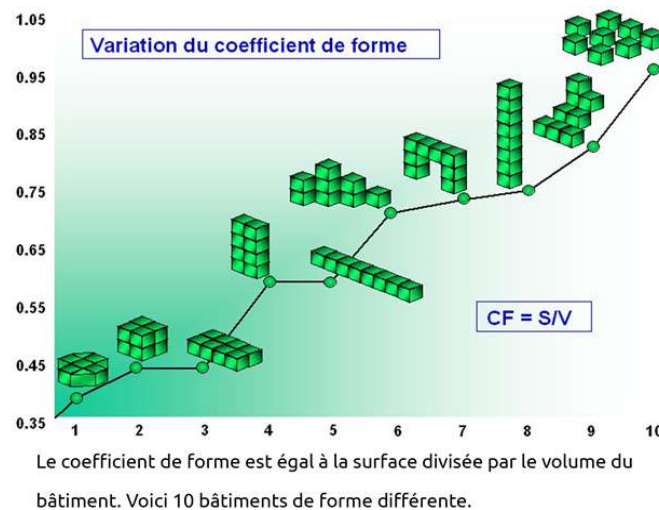


Figure 28 Le coefficient de forme

Les conclusions de base proposées par Olgyai pour la forme du bâtiment sont :

1. Le bâtiment carré n'a pas une forme optimale où que l'on soit,
2. Toutes les formes allongées le long de l'axe nord-sud fonctionnent en hiver et en été avec une efficacité énergétique inférieure à celle du bâtiment carré.
3. Dans tous les cas, l'optimum est une forme allongée dans une direction proche de l'axe est-ouest.

La compacité





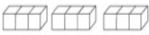


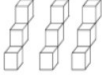
	Maison individuelles (RDC+Sous-sol)	Deux bandes de maisons mitoyennes(RDC+Sous-sol)	Immeuble collectif (RDC+Un étage+Sous-sol)
			
Emprise au sol	100%	70%	34%
Surface d'enveloppe	100%	74%	35%
Coût de construction	100%	87%	58%

Tableau 8 Les six catégories d'habitat et consommation énergétique

Comparaison entre typologies	Maison individuelle	Maison en bande	Petit collectif	Tour d'habitation	Maisons en terrasses
Orientation : nord/sud Volume du bâtiment : 4320 m ³ Proportion de surfaces vitrées : nord 20% est 30% ouest 30% sud 50%					
Rapport S/V (surface/volume) [1/m]	0,78	0,65	0,43	0,49	0,78
Ensemble de l'enveloppe [m ²]	3384	2808	1848	2104	3384
Surface en contact avec l'air ext. [m ²]	2664	2088	1608	2024	2124
Surface en contact avec le sol [m ²]	720	720	240	80	1260
Surface de toiture utilisable pour l'énergie solaire [m ²]	720	720	240	80	720
Rapport air ext./sol [-]	3,7 : 1	2,9 : 1	6,7 : 1	26,3 : 1	1,7 : 1
Proportion de surfaces vitrées [%]	23	21	27	30	20
Déperditions thermiques de l'enveloppe [H ₁ ']	0,49	0,46	0,56	0,63	0,45
Demande spécifique en chauffage q _s [kWh/m ² a]	72 (100%)	60 (83%)	48 (66%)	56 (77%)	66 (9%)
Demande totale en énergie primaire Q _p [kWh/a]	168000 (100%)	136000 (81%)	113000 (67%)	126000 (75%)	146000 (87%)
Eclairage	+	o	o	+	-
Surfaces libres utilisables techniquement	+	o	o	o	o
Aspects énergétiques spécifiques	rapport S/V élevé consommation importante de surfaces	rapport S/V faible pour des surfaces solaire utiles constantes	rapport S/V faible optimisation de l'équipement technique	forte demande en équipement technique vitesse d'air augmentée en façade	surfaces terrassées importantes, apparition d'eau de drainage

Selon Serge SALAT, avec une densité par îlot proche de 1, les grands ensembles sont quatre fois plus denses que les lotissements de maisons individuelles (densité de 0,25) mais quatre fois moins denses que les centres anciens traditionnels (densité entre 4 et 5). Le tissu urbain européen traditionnel, correspondant à des blocs de 3 à 6 étages, densément répartis pour créer un tissu urbain continu, avec des rues de taille moyenne, semble être le plus efficace sur le plan énergétique. En effet, une fois isolés thermiquement, ces blocs consomment 30 à 40% d'énergie en moins par mètre carré que les maisons individuelles pour le chauffage, l'électricité et l'eau chaude. La densification du tissu peut être vue comme un processus d'augmentation de la

hauteur, de la profondeur des bâtiments et/ou de réduction des prospects, ce qui réduit la part de la voûte céleste visible entrant dans le calcul du rayonnement solaire direct et diffus.

Steemers, considère que deux paramètres modifiant la densité peuvent perturber le bilan énergétique du bâtiment. L'augmentation de la profondeur du bâtiment a pour effet, dans la plupart des cas, d'accroître les besoins en ventilation naturelle ou mécanique (et donc les pertes de chaleur) et, du fait d'une plus grande surface de plancher par étage, d'imposer des besoins plus importants en chauffage et en éclairage artificiel. Une telle configuration génère 5 à 10% supplémentaires des besoins énergétiques totaux du bâtiment.

L'augmentation de la hauteur des bâtiments, ou la réduction des prospects entraîne l'amplification de l'angle d'obstruction limitant l'exploitation du gisement solaire. Les apports solaires, constituant une part relativement faible du bilan des besoins de chauffage (en fonction de certaines conditions de taux de vitrage), génèrent une consommation supplémentaire entre 6 et 15%

12. Zoning thermique

L'élaboration d'un zonage climatique permet, en fonction du type d'activité et du taux de fréquentation de l'espace, d'agencer les espaces en fonction des besoins énergétiques, selon que l'espace est chauffé, chauffant ou tampon. Cela permet de réduire les besoins de chauffage et de refroidissement des bâtiments et d'augmenter leur confort. Les différents types de zone sont les suivants :

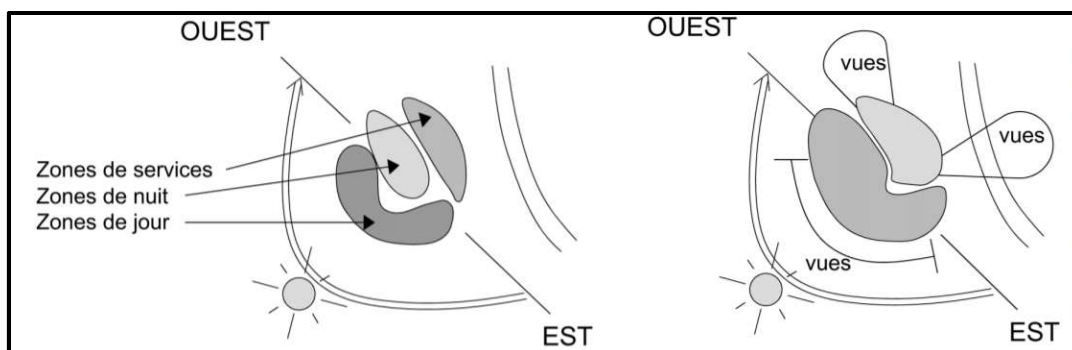


Figure 29 Le zonage des activités et la thermique passive

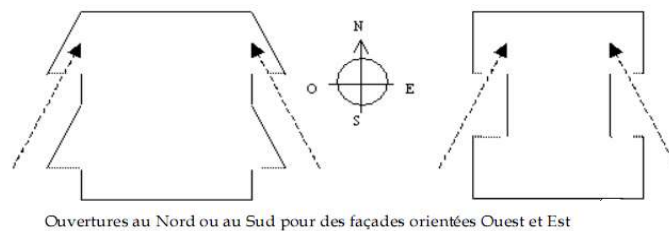
- Les zones de jour : Orientées vers le sud et vers les vues à privilégier et sont protégées du nord par des espaces de service et des espaces nocturnes tampons.
- Les zones de services : de préférence situées à l'opposé des espaces de vie, afin de les protéger des nuisances extérieures telles que le froid et le bruit.

- Les zones de nuit : zones de repli et de protection sur les faces les moins ensoleillées. Ces zones serviront d'accumulation de chaleur mais de façon modérée pour assurer une température qui ne varie pas beaucoup du fait de leur inertie.

13. Les protections solaires

Le diagnostic énergétique doit inclure une évaluation des éventuelles protections solaires en place (type, emplacement, état général).

L'apport solaire par les ouvertures peut être contrôlé par leur orientation, leur taille et leur inclinaison. Les ouvertures orientées au sud favorisent les apports solaires en hiver et peuvent être facilement protégées en été. La protection des orientations est et ouest présente des difficultés en raison de la faible hauteur du soleil dans le ciel. D'autre part, les ouvertures orientées à l'ouest sont associées, sous nos latitudes, à des conditions de température extérieure et de rayonnement solaire élevées. Pour cette orientation, il est recommandé de minimiser le nombre d'ouvertures ou de créer des ouvertures au sud ou au nord sur cette façade comme le montre la figure suivante :



Ouvertures au Nord ou au Sud pour des façades orientées Ouest et Est

Figure 30 Les protections solaires

14. Forme et dimensionnement d'une protection solaire selon l'orientation :

Il existe deux types d'angles d'ombrage :

L'angle horizontal d'ombre : (Horizontal Shadow angle) est l'angle horizontal entre la normale sur la vitre de la fenêtre ou du mur et l'azimut courant du soleil. Il est décrit par la formule :

$$\text{HSA} = \text{azimut} - \text{orientation}$$

L'angle vertical d'ombre : (vertical Shadow angle) est l'angle vertical entre la normale sur la vitre de la fenêtre ou du mur et la hauteur solaire. Il est décrit par la formule :

$$\text{VSA} = \arctan (\tan (\text{altitude}) / \text{Cos}(\text{HSA}))$$

h : hauteur de l'ombre portée par l'auvent
W : largeur de l'ombre portée par l'élément vertical
D-auv : profondeur d'une occultation horizontale (auvent)
D-occ vert: largeur d'une occultation verticale

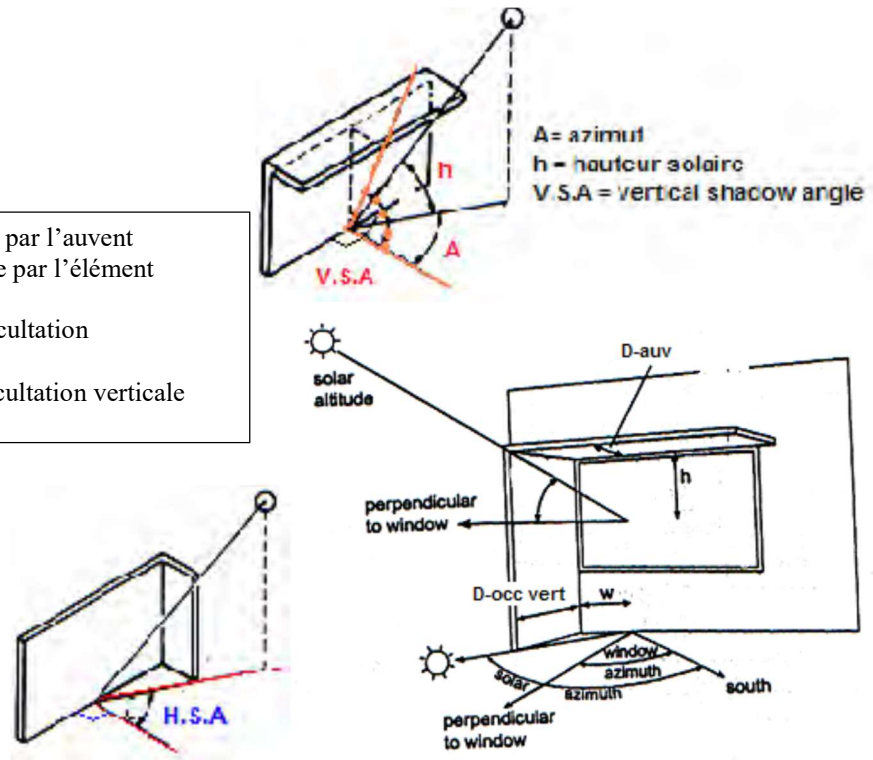


Figure 31 Profondeur et largeur d'une occultation.

Si la valeur de la hauteur se réfère à la distance verticale entre l'auvent et le support de la fenêtre, alors la profondeur de l'ombrage et sa largeur de chaque côté de la fenêtre peuvent être déterminées à l'aide des simples relations trigonométriques suivantes :

$$\text{Profondeur} = \text{hauteur} / \tan(\text{VSA})$$

$$\text{Largeur} = \text{profondeur} \times \tan(\text{HSA})$$

15. Bibliographie

Titre de l'ouvrage	Auteur	Éditeur et année d'édition
Elément de conception architecturale	Mazouz.S	Offices des publications universitaires 2004
L'Homme l'architecture et le climat	Givoni .B .	Moniteur, 1978.
L'architecture d'été: Construire pour le confort d'été	Isard Jean Louis	EDISUD, 1993.
Archi bio	Izard.j.L, Guyot.A	éditions parenthèses 1979.
Traité D'architecture Et D'urbanisme Bioclimatiques	Liébard. A & De Herde. A	Observ'er, (2005).
Environmental science handbook for architects and builder	Zokolay. S.v,	Lacastre, london, new york: the construction press, 1980
Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements & méthodes	Pierre Fernandez, Pierre Lavigne	Édition. le Moniteur, 2009
Soleil, nature, architecture	Wright.D	Parenthèses, 1979.
Le guide de l'énergie solaire passif	Mazria Edward	parenthèses, 1981.

LE CONFORT THERMIQUE /Cours N°06

1. Définitions

- Le terme "confort" vient du mot anglais "Comfort", apparu en 1816, qui signifie "contribue au bien-être des individus par la commodité de la vie, matérielle, intellectuelle et sociale" (Depecker)
- "Un environnement confortable est un environnement pour lequel l'organisme humain peut maintenir sa température corporelle constante, sans mettre en jeu, de manière perceptible, ses mécanismes thermorégulateurs instinctifs de lutte contre la chaleur et le froid" (Depecker).
- Une ambiance architecturale et urbaine est l'ensemble des phénomènes physiques qui génèrent et modifient la perception sensible de l'environnement bâti des usagers. Elle est appréhendée à travers plusieurs dimensions, liées aux différents paramètres physiques, esthétiques, psychologiques et émotionnels.
- La notion de confort thermique dans un bâtiment est liée non seulement à la qualité de l'environnement intérieur, mais aussi à la quantité d'énergie à fournir par les équipements.

Récemment, le confort "hygrothermique" ou "thermo hygrométrique" est devenu le nouveau nom utilisé par les nouvelles tendances qui sont apparues dans le monde. L'habitat sain au Canada, la bio-construction en Belgique, le village solaire en Allemagne et la HQE "Haute Qualité Environnementale" en France sont quelques exemples de cette tendance.

2. Les phénomènes physiques en jeu :

Les échanges thermiques entre le bâtiment et son environnement, comme pour le corps humain avec l'environnement, se font selon trois modes :

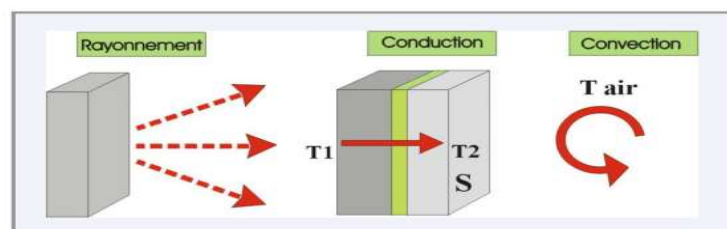


Figure 32 Les échanges thermiques

Conduction : La chaleur se transmet sans déplacement de matière, par contact moléculaire entre un ou plusieurs corps qui se touchent.

Convection : Mécanisme propre aux fluides. Au contact d'un corps chaud, le fluide se met en mouvement et se déplace vers le corps froid où il perd son énergie calorifique.

Rayonnement : Quelle que soit sa température, un corps rayonne de la chaleur vers d'autres corps plus froids. Le Rayonnement a la particularité de se déplacer dans le vide comme le rayonnement solaire. L'énergie électromagnétique reçue par le système est absorbée et convertie en énergie thermique (chaleur).

3. Paramètres physiologiques du confort thermique

Le corps humain tend à maintenir sa température interne à environ 37°C. Il possède un système de thermorégulation qui lui permet de régler les échanges de chaleur avec son environnement. L'exposition à la chaleur entraîne certaines manifestations pathologiques, soit en raison de l'activation des mécanismes de régulation, soit en raison de leur défaillance. Ainsi, les effets résultant d'une sudation abondante et prolongée sont principalement : la déshydratation, la carence en sel, les crampes de chaleur et l'épuisement thermique. La syncope de chaleur est le résultat d'une vasodilatation cutanée importante. Lorsque le système de régulation de la température est décompensé, on parle de coup de chaleur.

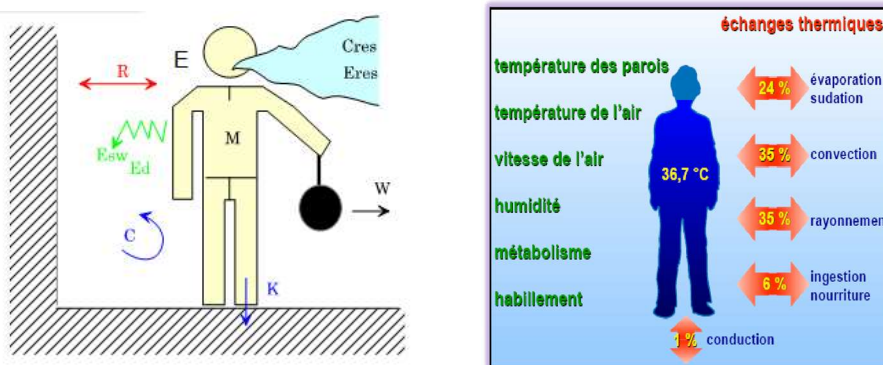


Figure 33 Les différents mécanismes d'échanges thermiques pour le corps humain

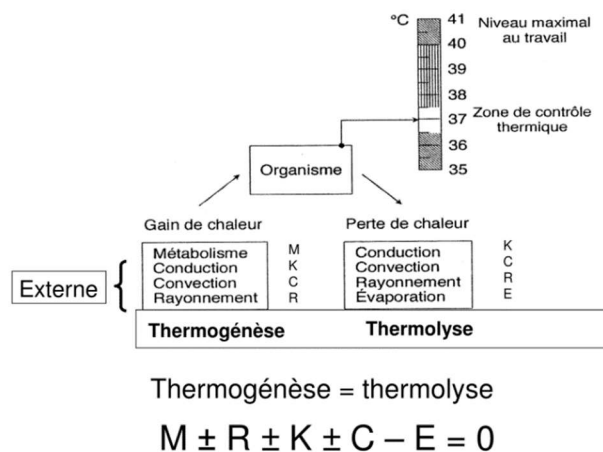


Figure 34 Les changes thermiques entre l'ambiance et l'homme

4. L'impact des paramètres climatiques et non climatiques sur le bilan thermique

Les paramètres climatiques et non climatiques qui affectent le bilan thermique sont les suivants :

- **Température radiante**

Intercepté par le corps et les vêtements, le rayonnement est converti en chaleur sensible (mouvement moléculaire) qui est ensuite transférée au corps par conduction.

- **Humidité**

Dans les climats chauds et secs, une faible humidité peut entraîner une gêne due à la sécheresse des lèvres et des muqueuses du système respiratoire supérieur.

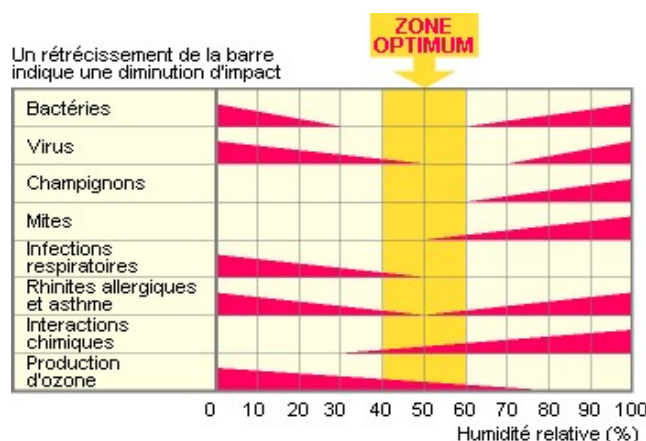


Figure 35 L'impact de l'humidité sur le confort thermique

- **Vitesse de l'air**

La vitesse de l'air participe à l'augmentation de la capacité d'évaporation et du rendement de la sueur ainsi qu'à la réduction de l'humidité de la peau. Elle est inférieure à 5m/s et est :

- Positive lorsque la température de l'air (T_a) < température de la peau.
- Négative lorsque la température de l'air (T_a) > température de la peau.

- **Vêtements :**

Lorsque la température de l'air est inférieure à 35°C ($T_a < 35^\circ\text{C}$), l'échauffement augmente et les déperditions diminuent.

Lorsque la température de l'air est supérieure à 35°C ($T_a > 35^\circ\text{C}$), les échanges thermiques

Convectifs et radiatifs diminuent, la vitesse du vent diminue ainsi que le pouvoir d'évaporation.

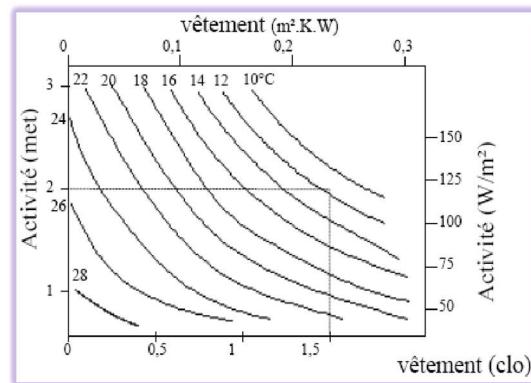


Figure 36 La température opérative idéale en fonction du métabolisme et l'habillement

- **Rayonnement solaire :**

La surface du corps soumise au rayonnement, la couleur des vêtements, l'albédo, la vitesse du vent affectent le bilan thermique.

- **Métabolisme :**

Entre autre l'activité physique

- **Age et sexe** (métabolisme)

- **Adaptation** (acclimatation)

5. Evaluation du confort thermique :

Au cours des cinquante dernières années, les chercheurs s'intéressant au confort, en particulier au confort thermique, ont eu pour objectif de normaliser une référence de confort appelée "indice de confort thermique" ou "échelle de confort". Les premières recherches étaient basées sur les systèmes de questionnaires en classant la sensation thermique entre deux extrémités : très chaud et très froid, ainsi que sur les tests de laboratoire dans des conditions climatiques artificielles.

On peut distinguer deux familles d'indices thermiques comme suit :

- **Les indices empiriques :**

Plusieurs indices thermiques ont été développés à partir d'approches empiriques telles que l'indice de refroidissement éolien (WCI) (Auliciems 1997). Les indices empiriques sont dérivés à la fois d'études déclaratives du confort dans des conditions climatiques contrôlées et d'une étude du bilan thermique. Par exemple, le WCI est utilisé dans les climats froids pour refléter l'effet de refroidissement éolien (Tair doit être supérieur à -50°C et inférieur à 10°C, et Vair doit être supérieur à 1,5 m.s-1).

- Les indices analytiques :

Ce type d'approche est basé sur une modélisation plus ou moins fine du transfert de chaleur chez l'homme.

6. Les modèles du confort thermique

6.1. L'approche analytique (FANGER) :

Le modèle de Fanger traduit l'équation de l'équilibre thermique du corps humain comme suit :

$$M - W = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + (S_{sk} + S_{cr})$$

Avec

M : Taux métabolique, W/m².

W : Travail externe, W/m².

$C + R$: Perte de chaleur sensible par la peau, W/m².

C_{res} : Taux de perte de chaleur par convection respiratoire, W/m².

E_{res} : Taux de perte de chaleur par évaporation respiratoire, W/m².

S_{sk} : Taux de stockage de la chaleur dans la peau, W/m².

S_{cr} : Taux de stockage de la chaleur dans le noyau (corps), W/m².

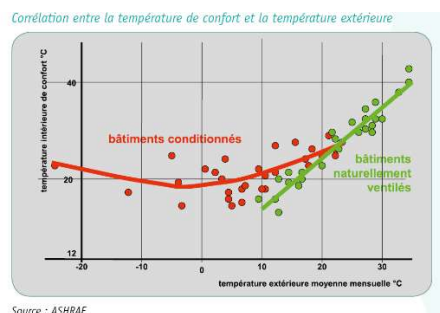
L'indice du confort développé est le PMV (Predicted Mean Vote) complété par le PPD (pourcentage prévu des insatisfaits) dont l'équation est :

$$P.P.D. = 100 - 95 \cdot \exp[-(0,03353 \cdot PMV^4 + 0,2 \cdot PMV^2)]$$

la norme NF EN ISO 7730 est basée sur le modèle de Fanger, et est en vigueur aujourd'hui.

6.2. L'approche adaptative :

Au début des années 2000, les travaux de l'ASHRAE ont montré que le modèle de Fanger est valable en été pour les bâtiments climatisés mais pas du tout pour les bâtiments à ventilation naturelle.



Corrélation entre la température de confort et la température extérieure

La norme ASHRAE 55 de 2004 propose une correction de la zone de confort en fonction de la température extérieure moyenne mensuelle selon l'équation suivante :

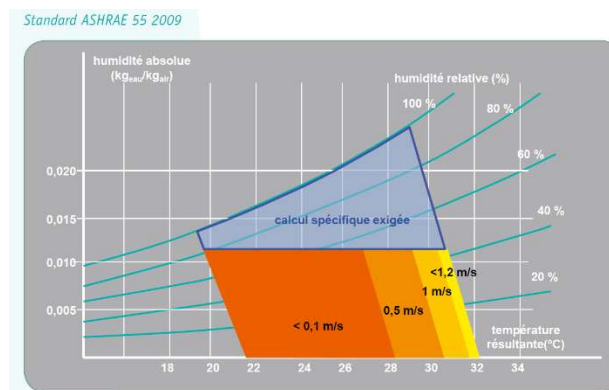
$$T_c = 0.31 \times T_o + 17.8 \text{ (} T_o \text{ temp ext mon)}$$

Et La norme EN15251 en fonction de l'équation :

$$T_c = 0.33 \times T_{rm} + 18.8$$

6.3. Les modèles de la vitesse d'air

Ils reproduisent sensiblement les plages de confort de Givoni pour les humidités relatives faibles et modérées.



Standard d'ASHRAE 55 2009

7. Diagrammes et méthodes bioclimatiques

Les diagrammes utilisés dans l'évaluation du confort thermique sont les suivants :

- Diagramme d'olgyay
- Diagramme de Givoni
- Diagramme de Szokolay
- Tables de Mahoney
- Méthode de Novell
- « The confort triangles » Evans

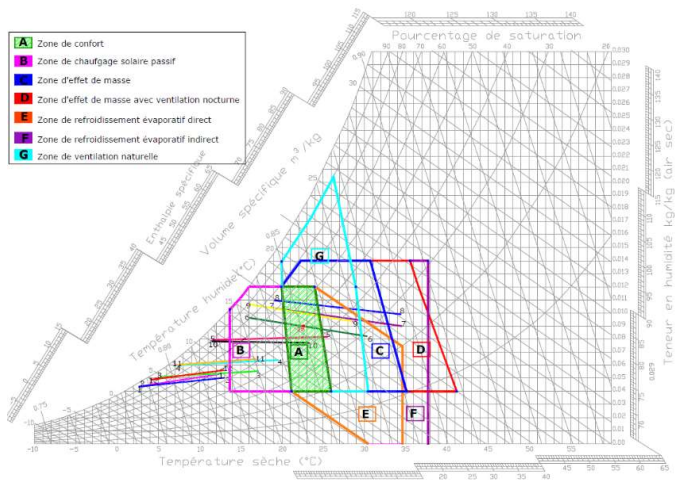


Diagramme de S. V. SZOKOLAY

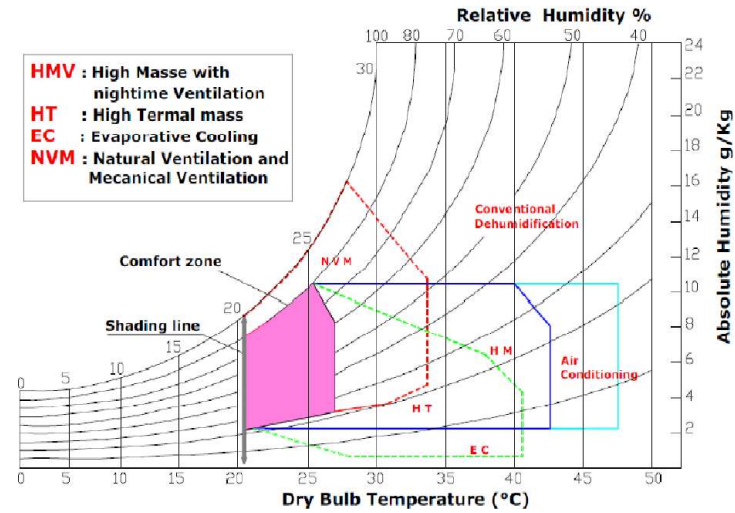
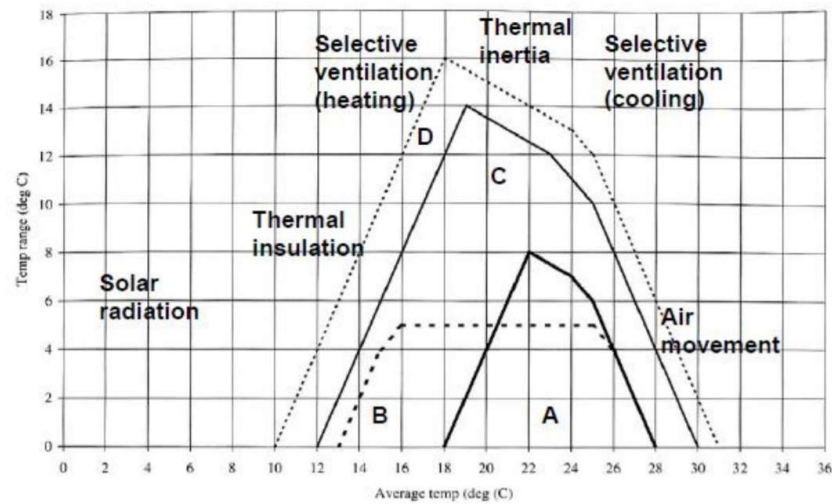
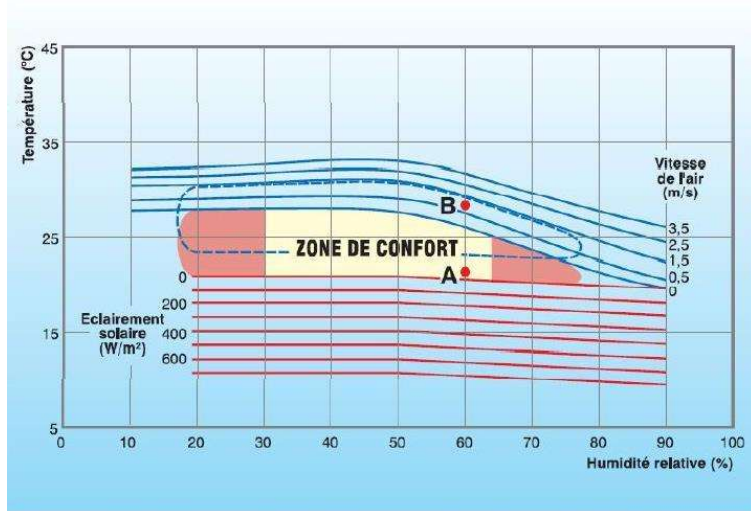


Diagramme de Givoni



« the confort triangles » Evans (Les espaces de vie pour des activités sédentaires (A), Les espaces de sommeil (B), La circulation (C), Une zone de confort étendue (D))

La méthode de Novell

Tableau 37 : Les températures horaires mensuelles selon Novell.

L'heure	Constante δ	Jan	Fev.	.....	Jui	.....	Oct.	Nov.	Déc.
0	0.222								
2	0.138								
4	0.056								
6	0								
8	0.111								
10	0.583								
12	0.861								
14	1								
16	0.917								
18	0.694								
20	0.444								
22	0.306								

Tableau 38 : Les pourcentages des différentes nécessités thermiques calculées à Jéricho.

L'heure	Const. δ	les mois											
		Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Jun	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
0	0.222	10.0	11.1	13.6	17.6	21.2	24.0	25.6	25.8	24.5	21.1	15.9	12.5
2	0.138	9.0	10.0	12.4	16.3	19.8	22.6	24.3	24.5	23.3	19.9	14.8	11.6
4	0.056	8.1	9.0	11.3	15.0	18.5	21.3	23.0	23.3	22.0	18.7	13.7	10.8
6	0	7.4	8.3	10.5	14.2	17.6	20.4	22.1	22.4	21.2	17.9	12.9	10.2
8	0.111	8.7	9.7	12.0	15.9	19.4	22.2	23.8	24.1	22.9	19.5	14.4	11.3
10	0.583	14.2	15.6	18.5	23.0	27.0	29.9	31.3	31.3	29.9	26.3	20.8	16.2
12	0.861	17.5	19.1	22.4	27.2	31.5	34.4	35.6	35.5	34.0	30.3	24.5	19.1
14	1	19.1	20.9	24.3	29.3	33.7	36.7	37.8	37.6	36.1	32.3	26.4	20.5
16	0.917	18.1	19.9	23.2	28.0	32.4	35.3	36.5	36.3	34.9	31.1	25.3	19.6
18	0.694	15.5	17.0	20.1	24.7	28.8	31.7	33.0	32.9	31.5	27.9	22.3	17.3
20	0.444	12.6	13.9	16.6	20.9	24.7	27.6	29.1	29.1	27.8	24.3	18.9	14.8
22	0.306	11.0	12.2	14.7	18.8	22.5	25.4	26.9	27.1	25.8	22.3	17.0	13.4

Nécessité de chauffage = 48%
Confort = 25%
Nécessité de refroidissement = 27%
Nécessité d'ombrage = 52%

avec :
 T_h : la température horaire (à chaque 2 heures)
 T_{min} : la température moyenne journalière minimale
 Δ : l'écart journalière ($T_{max} - T_{min}$)
 C_{const} : une constante correspond à une heure précise de la journée.

Les limites de confort diurne et nocturne.

Humidité	G.H	TAM>20°C		15°<TAM<20°C		TAM<15°C							
		Jour		Nuit		Jour		Nuit					
		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min				
0-30%	1	26	34	17	25	23	32	14	23	21	30	12	21
30-50%	2	25	31	17	24	22	30	14	22	20	27	12	20
50-70%	3	23	29	17	23	21	28	14	21	19	26	12	19
70-100%	4	22	27	17	21	20	25	14	20	18	24	12	18

Les limites de confort dans les tables de mahoney

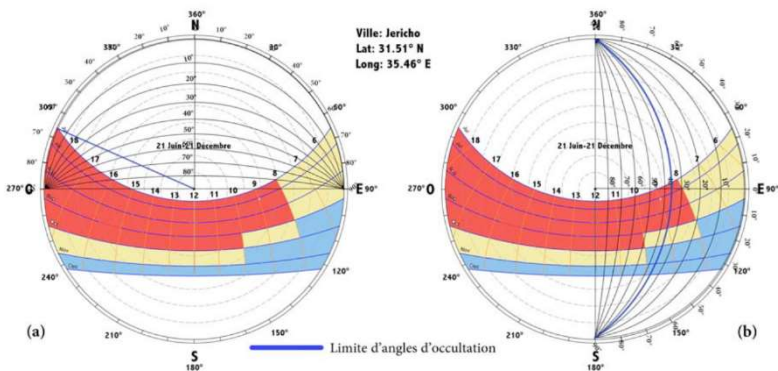


Figure 37 Les diagrammes bioclimatiques

16. Bibliographie

Titre de l'ouvrage	Auteur	Éditeur et année d'édition
Elément de conception architecturale	Mazouz.S	Offices des publications universitaires 2004
L'Homme l'architecture et le climat	Givoni .B .	Moniteur, 1978.
L'architecture d'été: Construire pour le confort d'été	Isard Jean Louis	EDISUD, 1993.
Archi bio	Izard.j.L, Guyot.A	éditions parenthèses 1979.
Traité D'architecture Et D'urbanisme Bioclimatiques	Liébard. A & De Herde. A	Observ'er, (2005).
Soleil, nature, architecture	Wright.D	Parenthèses, 1979.
Le guide de l'énergie solaire passif	Mazria Edward	parenthèses, 1981.

VENT, ARCHITECTURE, ENERGIE/ COURS N°07

L'implantation des bâtiments, leurs formes, la nature des surfaces qu'ils présentent, les plantations, tout réagissent aux conditions climatiques locales, au vent et au soleil.

Le vent emprunte les couloirs formés par les bâtiments, les angles, les rétrécissements, les dents creuses pour perturber les flux d'air.

1. Le vent :

Le vent est un mouvement d'air généré par des différences de pression entre des masses d'air. L'air circule des zones de haute pression (anticyclone) aux zones de basse pression (dépression).

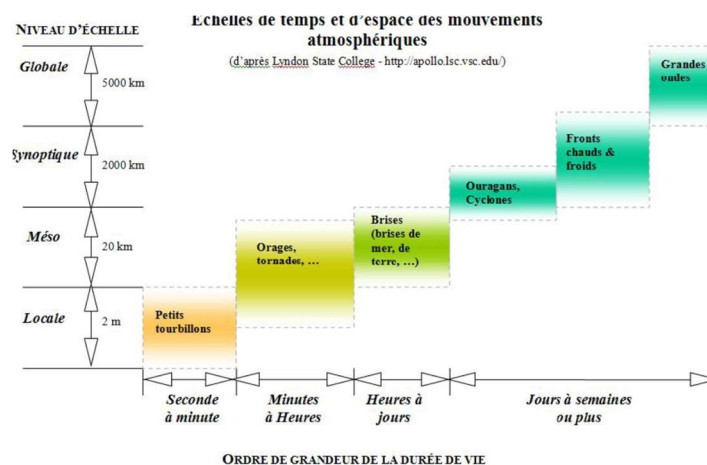


Figure 38 Les échelles du vent

2. La formation du vent

Echelle du globe (niveau macro)

La terre et l'atmosphère s'échauffent avec un décalage dans le temps, ce qui entraîne des différences de pression. Le vent est le produit d'un champ barométrique entre les zones de haute pression (anticyclone) et de basse pression (dépression). La zone concernée appartient aux grandes circulations des masses d'air et aux échanges thermiques entre la terre et les océans.

Echelle orographique (niveau Mésos)

La zone climatique est soumise à l'influence des reliefs. Le soulèvement orographique est un exemple de l'influence orographique sur le versant au vent.

Echelle du topoclimat (niveau micro)

L'environnement topographique, la nature des matériaux et la disposition relative des formes bâties (façades, sols, toitures...) agissent directement sur la combinaison des facteurs qui composent le microclimat.

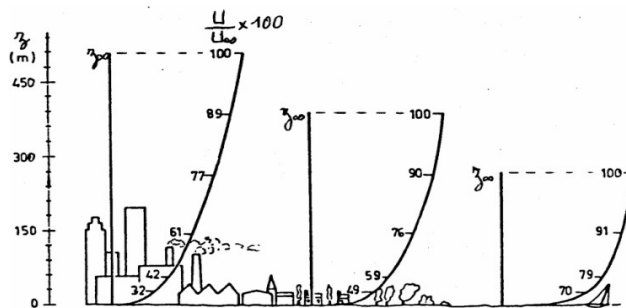
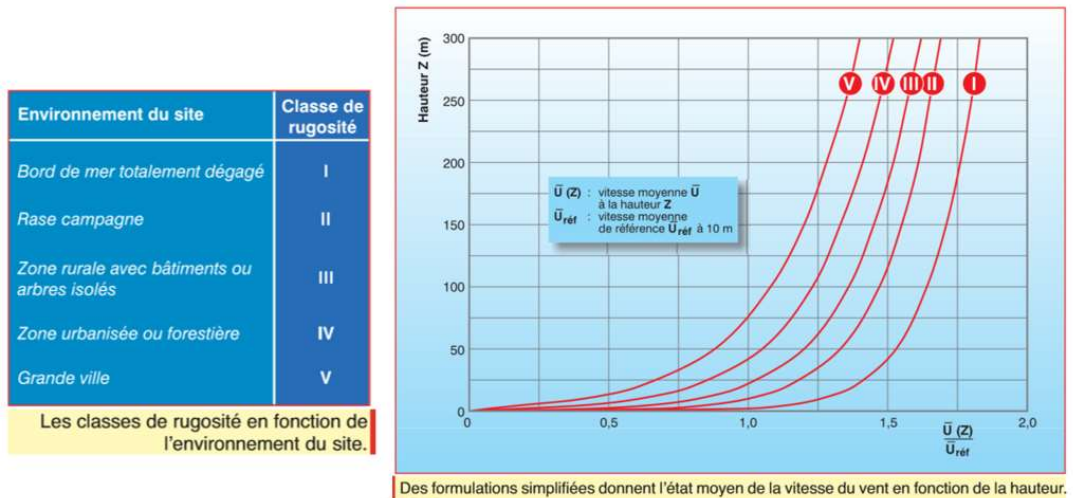
L'interdépendance entre les différentes échelles climatiques et leur impact sur les actions d'aménagement et les projets construits est résumée dans le tableau suivant :

Tableau 9 Les échelles du vent

	Macro-échelle et échelle régionale	Echelle locale	Micro-échelle
Planification régionale	Dominant	Important	Moins important
Urbanisme	Important	Dominant	Important
Choix du site et étude du bâtiment	Important	Important	Dominant

3. Les changements d'échelle :

La connaissance d'un environnement microclimatique ne peut se faire sans considérer les mécanismes résultant de l'échelle "macro" et "més" du climat. Un groupe de bâtiments ne créera pas le même microclimat selon qu'il se trouve au sommet d'un plateau venteux ou au fond d'une cuvette.



Profils de vitesse dans la couche limite atmosphérique selon la rugosité du terrain

Figure 39 Profil de rugosité du vent

La forme du profil vertical de la vitesse du vent dépend principalement du degré de rugosité de la surface, c'est-à-dire de l'effet de ralentissement total des bâtiments, des arbres et des autres obstacles à l'écoulement du vent à la surface. Trois profils typiques de la vitesse du vent sont illustrés dans la figure 38 (la vitesse est arbitrairement fixée à 100 miles par heure).

4. Echelle de Beaufort:

Basée sur un tableau descriptif des états de mer, cette échelle permet de qualifier les phénomènes visibles sur l'environnement naturel et bâti.

Tableau 10 Echelle de Beaufort

Classe des vitesses des vents	Vitesses des vents (m/s)	force	Echelle de Beaufort
C1	1 à 3	2	LEGERS, à peine perçu sur le visage
C2	4 à 5	3	FAIBLE, feuilles bougent, fumées inclinées
C3	6 à 8	4	MODERE, le vent soulève la poussière et seules les petites branches bougent
C4	9 à 11	5	MODERE-FORT, les arbustes se balancent
C5	12 à 14	6	FORT, les grosses branches d'arbres bougent, tenir un parapluie devient difficile
C6	15 à 17	7	TRES FORT, les arbres sont entièrement agités, la marche à pied demande un effort
C7	18 à 21	8	RAFALE, les petites branches cassent
C8	22 à 24	9	FORT COUP DE VENT, toitures fragiles endommagées, certains arbres cassent

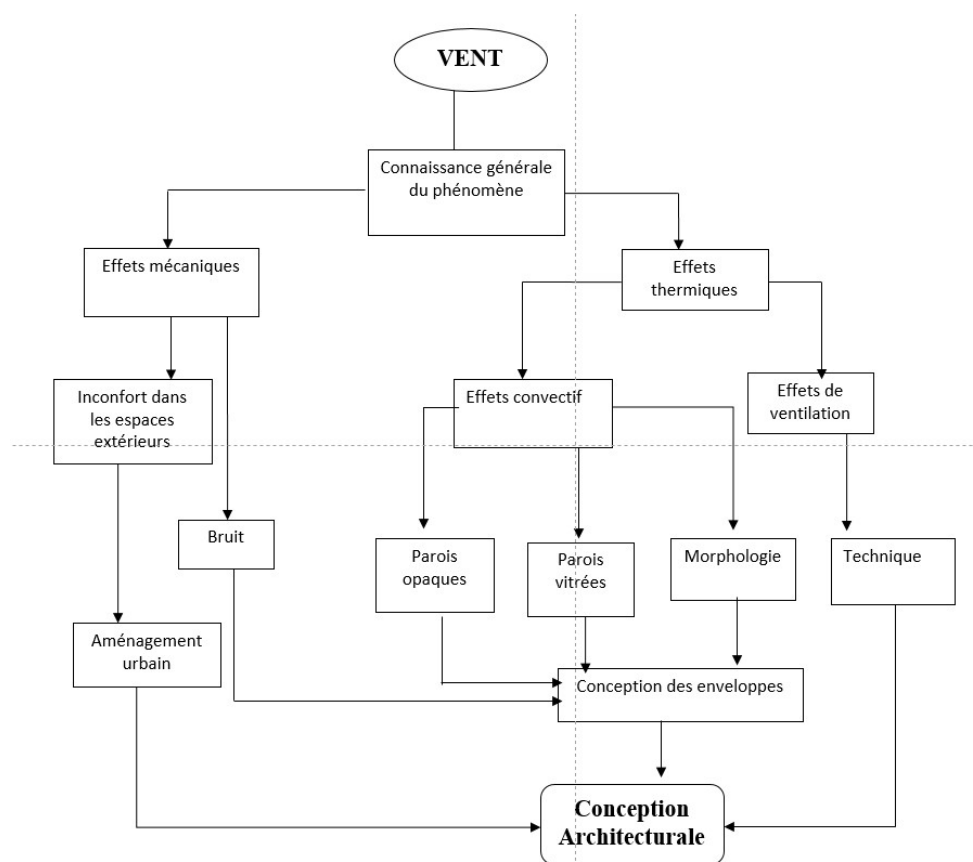


Figure 40 Les effets du vent (Mazouz, 2014)

5. La ventilation en architecture

Rôle hygiénique et olfactif :

La qualité de l'air dépend de la teneur en différents gaz, poussières et aérosols par unité de volume et de leur diffusion dans les espaces en tenant compte des effets possibles de l'accumulation dans les zones de tourbillonnement. Les gaz les plus fréquents dans les zones urbaines sont les oxydes de carbone, de soufre et d'azote, provenant principalement du chauffage urbain, du trafic et de l'industrie.

Confort thermique :

Du point de vue de l'action thermique, les mouvements d'air accélèrent les échanges de deux manières, par convection entre la surface de la peau et l'environnement et par évaporation de la sueur.

Gêne mécanique et sécurité des piétons :

Le vent peut être une source d'inconfort, voire de déséquilibre dangereux pour les piétons en raison de sa vitesse et de ses turbulences. Le gel et la pluie sur des sols à faible adhérence, peuvent également faire glisser les piétons et les véhicules

Stabilité des structures :

L'action directe du vent se traduit par des champs de pression et des efforts instationnaires sur les structures et les différents composants des constructions (hauteur, arrêtes).

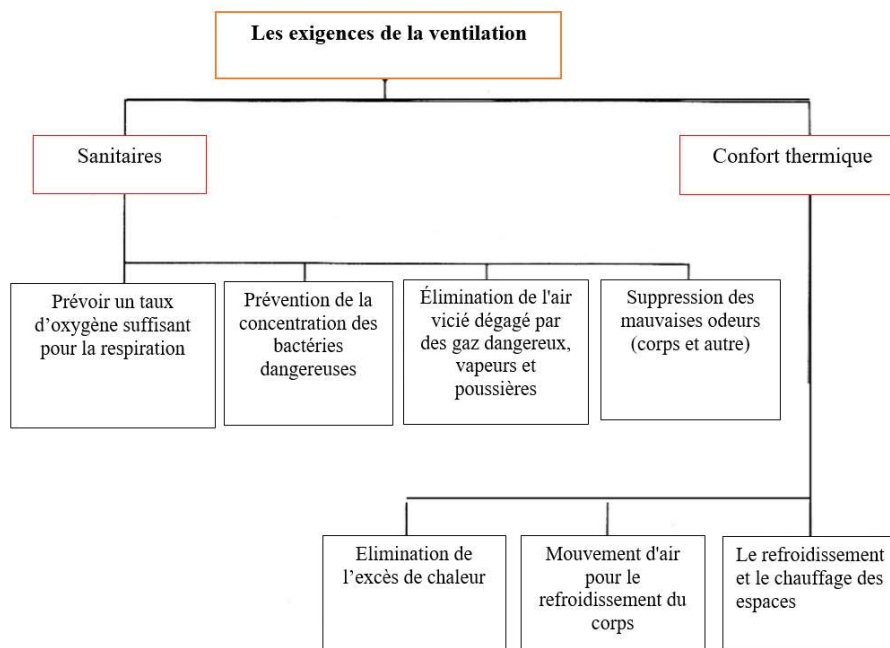
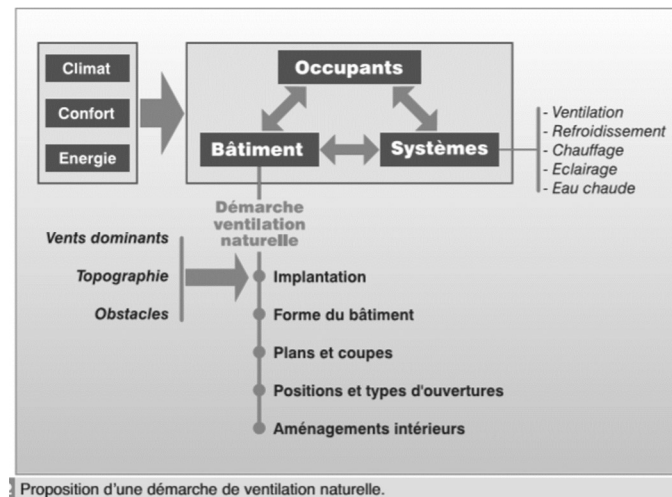


Tableau 11 Les exigences de la ventilation

6. METHODOLOGIE DES PROJETS

Distinction et complémentarité entre vent et ventilation :

Selon les besoins, l'architecte s'intéressera soit au problème de la protection contre les vents forts, soit à celui de la ventilation naturelle. Par conséquent, les dispositions favorables à la recherche d'une protection contre le vent seront défavorables à la recherche d'une ventilation naturelle.



7. A l'échelle urbaine :

1- effets du site

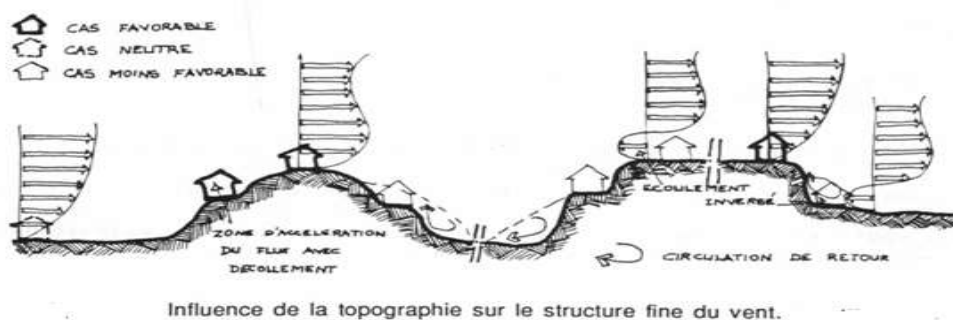
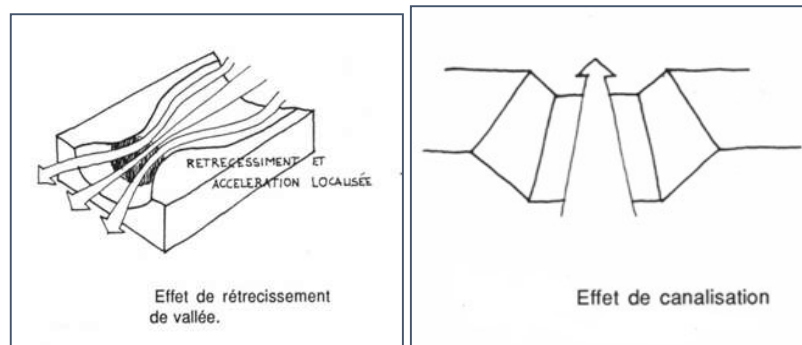


Tableau 12 Influence de la topographie sur le vent

2- Effet de rétrécissement de vallée

Le rétrécissement de vallée est décrit par une configuration topographique de la vallée avec un verrou à une extrémité. Lorsque le vent se trouve dans le lit de la vallée et souffle vers le verrou, il se produit une accélération proportionnelle au rétrécissement de la section transversale. Il est recommandé d'éviter les axes des rues piétonnes dans la direction du vent.

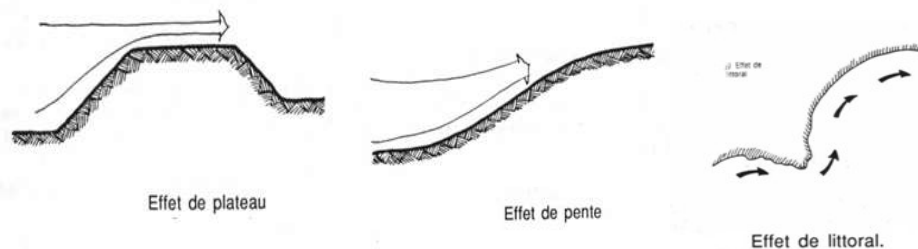


3- Effet de canalisation par le relief

La vallée est délimitée par le relief environnant. Si le vent est dans la direction de la vallée, l'écoulement est maintenu mais lorsque le vent est perpendiculaire à la canalisation, un rouleau tourbillonnaire plus ou moins stationnaire à axe horizontal se développe. Il est recommandé d'éviter les axes de rues piétonnes dans les directions du vent.

4-Effet de pente:

Pour les pentes inférieures à 15%, l'accélération est matérialisée dans la pente, pour les valeurs supérieures à 15%, l'accélération maximale se produit au sommet des pentes. Il est recommandé de recréer un effet de rugosité et/ou de reconstituer des terrasses.



5-Effet de plateau :

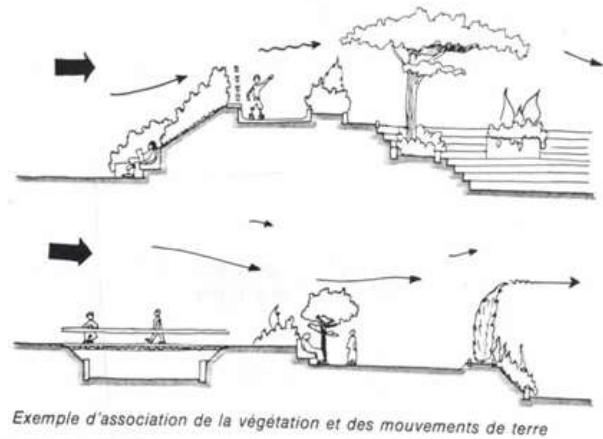
Décrit par une situation topographique en altitude matérialisée par une rupture de pente. La combinaison du gradient vertical de vitesse moyenne et du site ouvert en fait une zone particulièrement exposée au vent. Il est recommandé de créer un effet de rugosité pour limiter la variation du gradient.

6-Effet de cap sur littoral :

Décrit par une variation directionnelle du vent liée à une émergence topographique associée à un changement de rugosité entre la terre et la mer. Un effet d'ombre du vent est observé ainsi qu'un changement de direction sous le vent d'un relief. Il est recommandé d'avoir une zone d'abri naturel.

8. Les aménagements complémentaires

Incluent les brise-vents artificiels et végétaux (en ligne ou en masse), les talus et leur combinaison pour le control local du vent par effet de filtre ou de déflecteur.



9. Description de l'écoulement du vent autour d'un obstacle bâti

Lorsque le vent dominant circule autour des bâtiments, perpendiculairement à l'une des façades, on peut distinguer différentes zones perturbées :

- Une zone de surpression : sur la façade au vent,
- Une zone limite et de séparation turbulente : sur les côtés et la partie supérieure et,
- Une zone de dépression turbulente : sur la façade sous le vent.

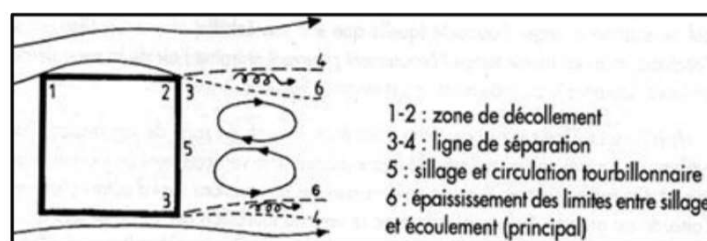
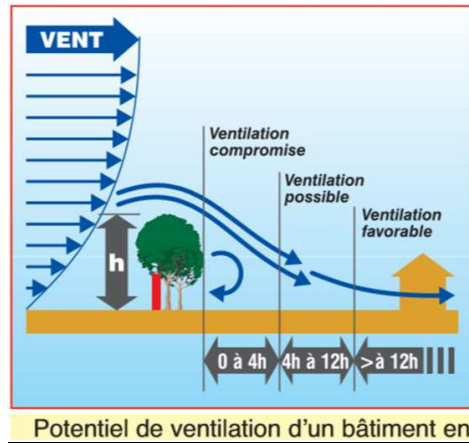


Tableau 13 Schéma d'écoulement du vent autour d'un bâtiment

Les obstacles aerauliques

Les obstacles de proximité affectent la ventilation des bâtiments. Leurs effets varient selon la distance, l'emplacement, la hauteur, la porosité et le volume des bâtiments.

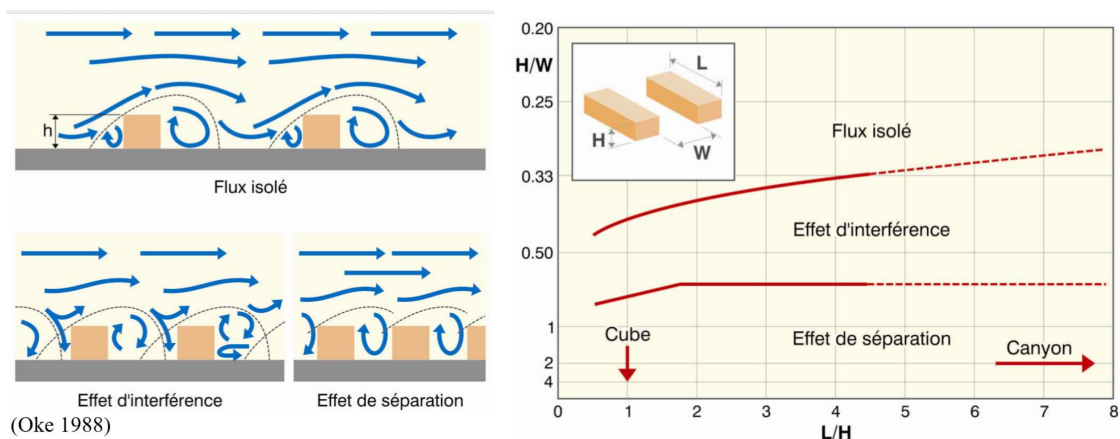


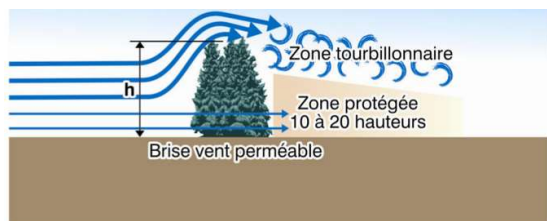
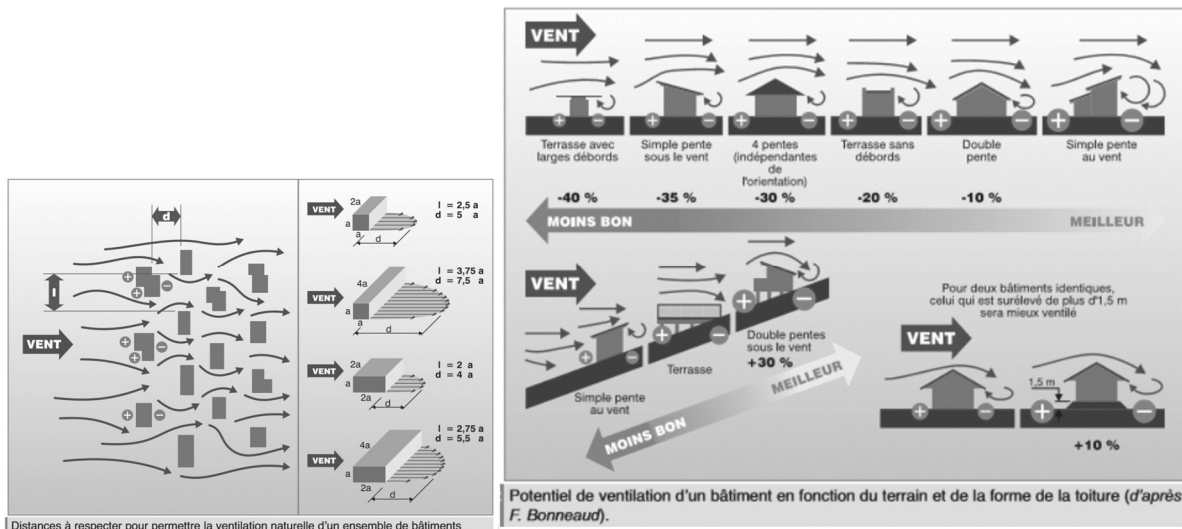
Influence de la géométrie et l'orientation des rues

Pour les rues de type canyon de hauteur H et de largeur W , le rapport d'aspect H/W reflète la rugosité du site et permet de prédire les différents flux dans le cas d'un vent de rue transversal.

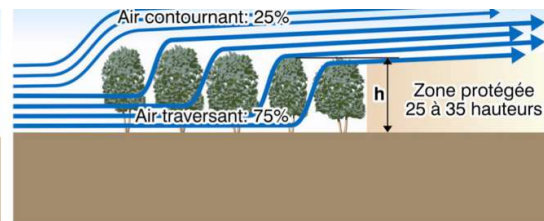
On peut alors identifier :

- « Flux isolé » (isolated roughness flow) : avec un rapport $H/W < 0.3$. Les bâtiments n'interagissent pas au niveau du flux d'air (espace bien ventilé).
- « Effet d'interférence » (wake interference flow) : avec un rapport $0.3 < H/W < 1$. Ce flux est caractérisé par des mouvements secondaires dans l'espace de la rue, où l'effet de sillage de la face sous le vent est renforcé par l'effet de rabattement de la face au vent du bâtiment suivant.
- « Effet de séparation » (skimming flow) : avec un rapport $H/W > 1$. Une circulation faible mais stable est établie dans le canyon. L'air extérieur pénètre faiblement dans le canyon et l'air intérieur crée une boucle de recirculation.





Effet d'une haie perméable sur l'écoulement du vent (Fontaine 1984).



Effet d'une bande boisée large et perméable sur l'écoulement du vent (Fontaine 1984).

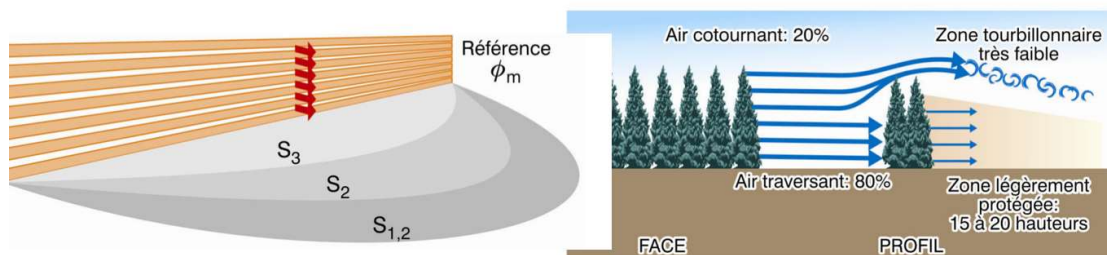


Tableau 14 Les obstacles aérauliques Source spécifiée non valide.

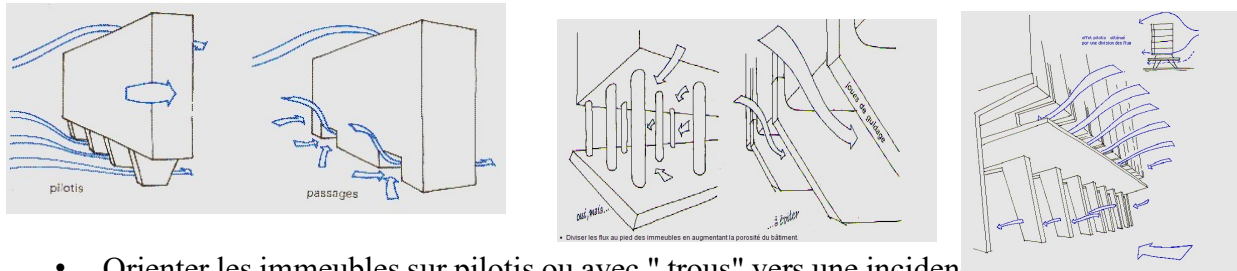
10. Influence des constructions sur les écoulements :

L'implantation des bâtiments et leur forme peuvent générer localement ou sur de grandes surfaces des phénomènes d'accélération avec des rafales soudaines provoquant une gêne voire un certain danger pour les usagers

- Formes isolées

- Effets de trous sous immeuble :

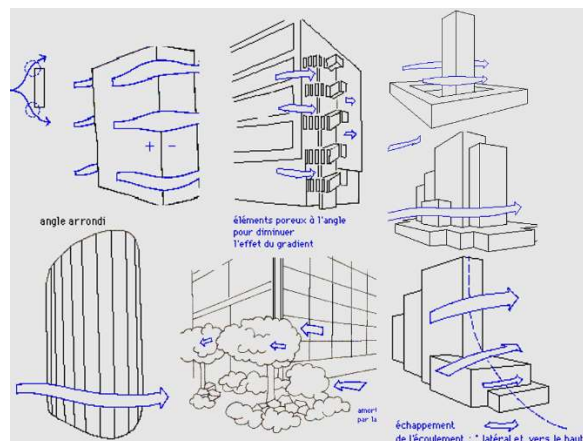
Phénomène d'écoulement dans les trous ou passage sous le bâtiment qui relie l'avant du bâtiment en surpression et son arrière en dépression (Hauteur minimale > 15 m). Nous avons donc besoin de :



- Orienter les immeubles sur pilotis ou avec " trous" vers une incidence parallèle au vent.
- Aménager le pied des immeubles avec de la végétation et des constructions
- Ajouter des éléments au niveau des volumes de liaison qui introduisent des pertes de charges.
- Eviter les immeubles à pilotis de forme pleine.

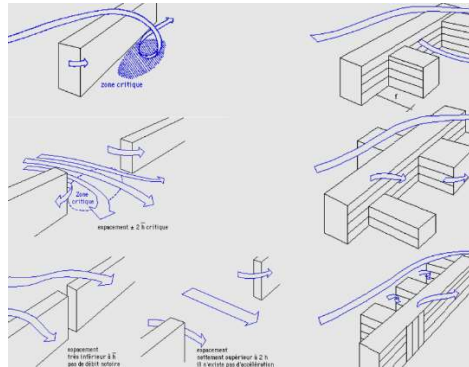
- **Effet de coin :**

Phénomène d'accélération localisée, à l'angle d'un bâtiment, proportionnel à la hauteur de l'angle du bâtiment. La vitesse du vent peut augmenter de 1,2 à plus de 2 fois sa valeur initiale.



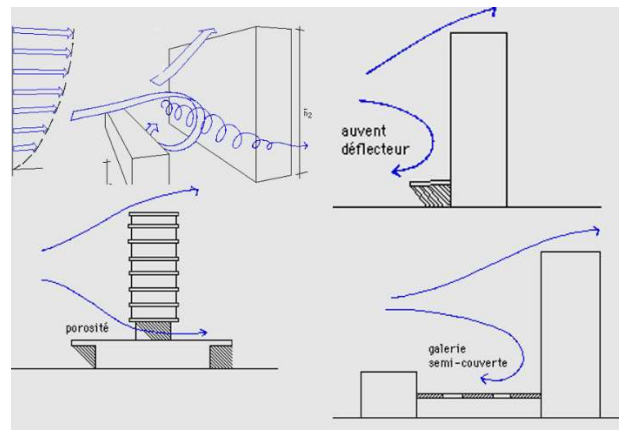
- **Effet de barre :**

- Phénomène d'un tourbillon plongeant et subissant une rotation en rejoignant le sol sous un vent incident à 45° sur une construction parallélépipédique.
- Augmentation de la vitesse de l'ordre de 1,4 sur une distance d'environ 2 fois la hauteur construite. Il est recommandé d'avoir les critères suivant :
- Hauteur moyenne $h_{moy} < 25$ m, Longueur minimum de la barre $L > 8$ h.
- Les espacements entre les constructions inférieurs ou égaux à h_{moy} .
- Doter orthogonalement les barres d'"aspérités" bâties telles que $f > 2h_{moy}$



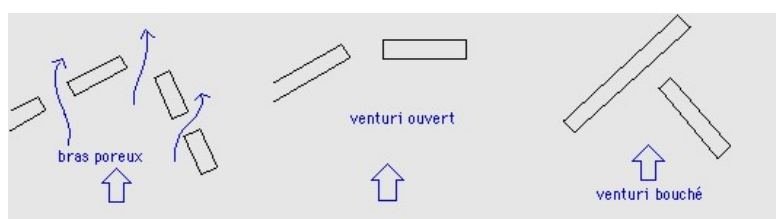
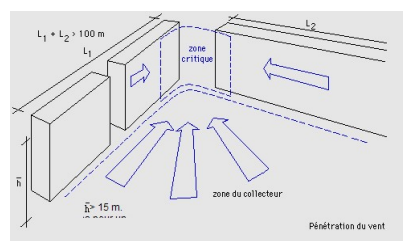
- Les formes associées :

Les formes associées représentent l'association de bâtiments de différentes tailles et implantés parallèlement. Lorsque l'association est comprise entre 10 et 30m le coefficient d'augmentation est de 1,5 alors que pour une association entre 15 et 90m ce coefficient atteint 1.8.



Effet Venturi :

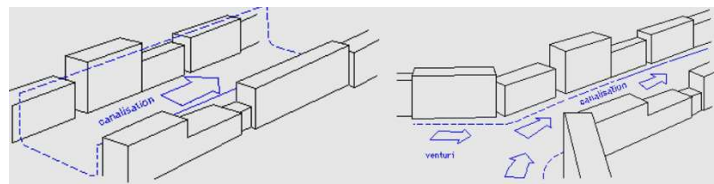
Représente l'augmentation de la vitesse, pour un débit identique, due au rétrécissement du passage entre deux bâtiments. L'espacement critique de 2 à 3 fois la hauteur des constructions (hauteur moyenne de 45m), forme ainsi le venturi, donne une valeur d'environ 1,6.



Effet de canalisation :

Ceci correspond à une configuration classique d'une rue délimitée par des constructions. Le phénomène est maintenu pour un espacement de 2 fois la hauteur moyenne de la rue. Il est recommandé de :

- Proposer un sens de la rue sous une incidence comprise entre 90° et 45° .
- Laisser des vides (porosité) définissant mal les liaisons.
- Privilégier les décrochements de bâtiments pour introduire des pertes de charge.
- Introduire une largeur $h_{moy} > 2$.



Effet maille :

Configuration appartenant à un tissu urbain homogène et créant une rugosité du sol ayant une tendance générale à améliorer les conditions locales de vent. Lorsque l'ouverture de la maille est égale à 3 fois la hauteur moyenne de 10m, elle est exposée quelle que soit l'incidence du vent alors que pour les autres cas l'effet de protection prévaut avec :

- La valeur de S / h_{moy}^2 est faible et est inférieure à 30 ;
- Les mailles sont ouvertes au vent ou sous le vent ;
- La valeur de l'ouverture est minimale et est inférieure à 0,25 fois le périmètre ;
- Les configurations sont comblées par des constructions de hauteur proche de celle des bras de la maille.

11. Comment provoquer la ventilation :

Par Pression du vent ou ventilation traversante :

L'effet du vent sur un bâtiment se traduit par des pressions positives sur les façades exposées au vent et des dépressions sur les façades sous le vent (voir fig.3.), créant ainsi une différence de pression importante à travers tout le bâtiment, ce qui entraîne l'établissement d'un flux d'air traversant dès que les façades le permettent. En conséquence, l'air entre par une façade, traverse tout le bâtiment et sort par la façade opposée.

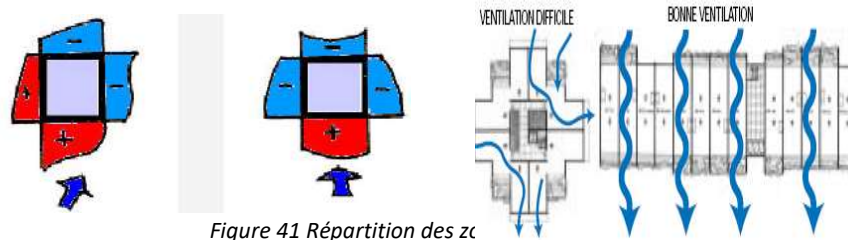


Figure 41 Répartition des zones

Par tirage thermique :

Si la température intérieure est supérieure à la température extérieure, l'effet du courant d'air thermique pousse l'air extérieur plus froid (et donc plus lourd) dans les parties inférieures des ouvrants, tandis que l'air intérieur plus chaud (et donc plus léger) sort par la partie supérieure des ouvrants.

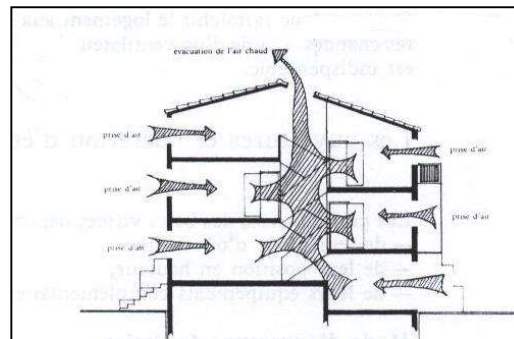
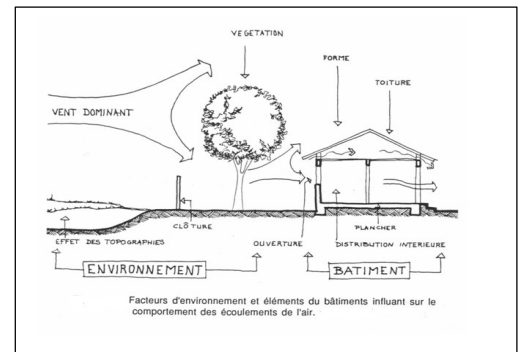


Figure 42 Ventilation par tirage thermique

12. Les dispositions architecturales :

Les dispositions architecturales incluent les éléments suivants :

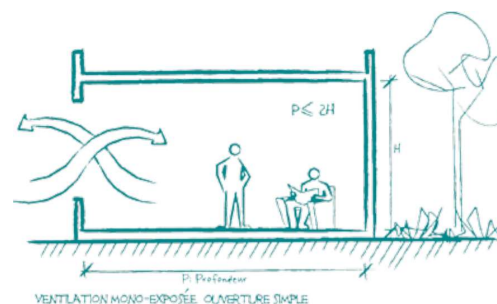
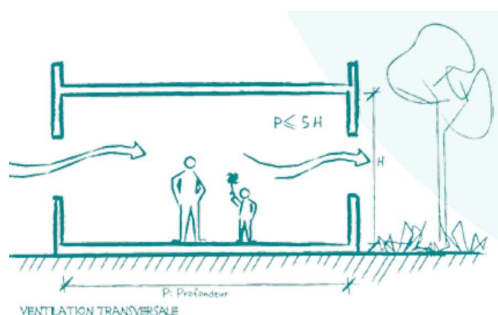
- Forme et hauteur du bâtiment
- Planchers et toitures
- Orientation des façades
- Disposition et dimension des ouvertures
- Décrochements, auvents et protections solaires
- Menuiseries, fermetures, moustiquaires et rideaux
- Distribution intérieure, cloisonnement et mode d'occupation



13. Dimensionnement des ouvertures

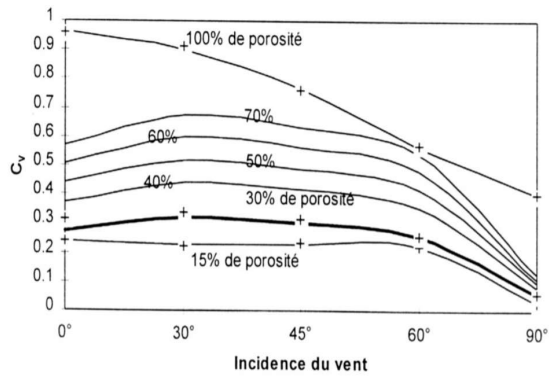
En fonction de la profondeur

83



En fonction de la vitesse du vent :

Des corrélations plus générales peuvent être établies entre le coefficient de vitesse (C_v), les configurations de l'angle du vent et la porosité de la façade. Notez que le coefficient du vent est calculé à partir de la vitesse du vent extérieur et de la vitesse de l'air intérieur.



Valeurs des C_v (Kindangen, 1997)

14. Les types de ventilation :

Tableau 15 Type de ventilation

Ventilation naturelle	Ventilation mécanique simple flux	Ventilation à double flux

15. Bibliographie

Titre de l'ouvrage	Auteur	Éditeur et année d'édition
Guide de l'architecture bioclimatique	Alain Liébard, André De Herde	LEARNT, Novembre 1996.
Traité de l'architecture et de l'urbanisme bioclimatique	Alain Liébard, André De Herde	Observer, 2005
Architectures et climats : soleil et énergies naturelles dans l'habitat,	ALEXANDROFF. George et Jeanne-Marie,	Architectures Berger-Levrault 1982.
Architecture climatique. Une contribution au développement durable.	CHATELET. Alain, FERNANDEZ. Pierre et LAVIGNE. Pierre,	EDISUD, 1998
Le guide de l'énergie solaire passive	Edward Mazria	PARENTHESSES, 1981
L'architecture écologique	GAUZIN-MULLER. Dominique	le Moniteur, novembre, 2002.
L'homme, l'architecture et le climat	GIVONI. Baruch	Le moniteur, 1978
Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies	G.Z.Brown, M.Dekey	Wiley,2000
Archi bio	IZARD. J.L et GUYOT. A,	PARENTHESSES 1979
Architecture d'été Construire pour le confort d'été	IZARD. J L	EDISUD 1993
Environmental science handbook for architects and builder	ZOKOLAY. S.V,	LACASTRE, LONDON, NEW YORK: THE CONSTRUCTION PRESS, 1980
Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements & méthodes	Pierre Fernandez, Pierre Lavigne	Édition. le Moniteur, 2009
Ambiances architecturales et urbaines	De Luc Adolphe,	Editions Parenthèses, 1998

CONFORT VISUEL ET ENERGIE/ Cours N°08

1. Introduction

Dans le cas spécifique de la lumière, le confort visuel est défini comme suit : "une impression subjective de satisfaction du système visuel fournie principalement par l'absence de gêne induite par l'ensemble de l'environnement visuel"

Un individu devrait donc se sentir à l'aise dans un espace où l'éclairage ne provoque pas d'éblouissement et éclaire correctement les plans et les espaces nécessaires à la conduite de ses activités

L'environnement visuel nous procure un sentiment de confort lorsque nous pouvons voir les objets clairement et sans fatigue dans une atmosphère colorée agréable.

Selon la démarche de haute qualité environnementale, le confort visuel est défini comme la dixième cible du projet de construction HQE. Ses exigences fondamentales en matière d'éclairage sont les suivantes :

- Un éclairage naturel optimal en termes de confort visuel et de dépenses énergétiques.
- Un éclairage artificiel satisfaisant et complémentaire à l'éclairage naturel.
- Une relation visuelle suffisante avec l'extérieur.

Il convient de noter que "l'éclairage naturel dans un bâtiment est plus qu'une solution technique à un problème d'efficacité énergétique ou même une solution esthétique d'intégration à l'architecture. La lumière naturelle doit être une composante essentielle d'une philosophie qui reflète une attitude plus responsable et plus sensible de l'être humain envers l'environnement dans lequel il vit"

2. Les Paramètres de confort visuel sont :

Les paramètres du confort visuel dont l'architecte doit prendre en compte sont les suivants :

- Le niveau d'éclairement de la tâche visuelle
- Le rendu des couleurs
- Répartition de la lumière dans l'espace
- Absence des ombres gênants
- La mise en valeur du relief et du modèle des objets
- La vue vers l'extérieur
- La teinte de lumière
- L'absence d'éblouissement

3. Sources de l'éclairage naturel

Il existe des "sources lumineuses nocturnes" qui émettent des rayonnements électromagnétiques pendant la nuit et sont à l'origine de la vision dite "scotopique ou crépusculaire", adaptée aux faibles éclairagements et qui fait intervenir les cellules à bâtonnets de la rétine, comme la lune et les étoiles et des "sources lumineuses diurnes" qui émettent des rayonnements électromagnétiques pendant le jour et sont à l'origine de la vision dite "photopique ou diurne", essentiellement réalisée par les cônes de la rétine.

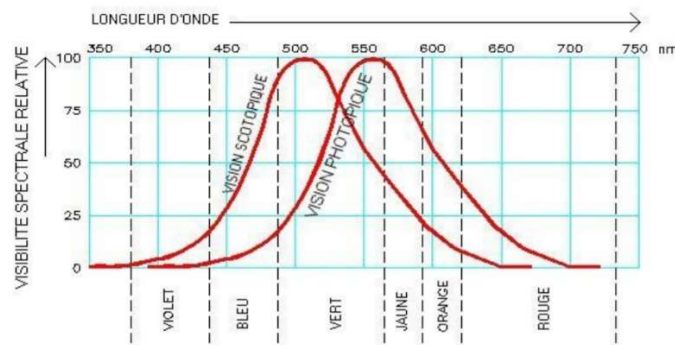


Figure 43 Courbes de visibilité spectrale relative de l'œil humain

4. Sources de lumière diurnes :

Les sources de lumière diurnes peuvent être classées en sources directe et indirectes :

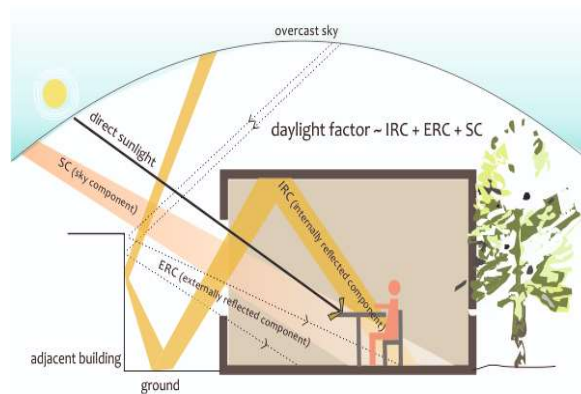
Sources lumineuses directes :

- **Sources primaires :** le soleil, cette source de lumière naturelle est prédominante sous un ciel clair et fournit un flux considérable facile à capter et à diriger. Le rayonnement solaire direct est souvent une source d'éblouissement et parfois de surchauffe du bâtiment. De plus, sa disponibilité est épisodique et dépend de l'orientation des ouvertures et du type de climat lumineux. Ce rayonnement présente également un contraste entre l'ombre portée et l'ombre propre.
- **Sources secondaires :** visibles que si elles sont éclairées par une source primaire telle que la lumière diffuse du ciel son avantage est qu'elle est disponible dans toutes les directions, suscite peu d'éblouissement et ne provoque pas de surchauffe. Crée peu d'ombres mais insuffisante dans de nombreux cas notamment sous les conditions du ciel couvert en hiver

Sources lumineuse diurnes indirectes :

Tous les corps opaques, à l'exception des corps noirs, interceptent le rayonnement solaire et le réfléchissent, mais la quantité de lumière réfléchie dépend du facteur de réflexion de la surface,

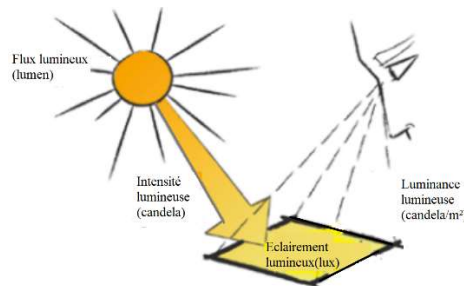
c'est-à-dire de son albédo. Lorsque la couleur de la lumière est réémise, elle correspond à la couleur de l'objet.



La lumière reçue dans un local = lumière directe+réflexions intérieures+réflexions extérieures.

5. Les grandeurs photométriques :

Les grandeurs photométriques sont à la base de toutes les mesures en éclairage.



6. Le champ visuel :

La capacité de l'œil à saisir une information visuelle dépend de sa position relative dans le champ visuel.

La fovéa 2°	Distinction de détail
L'ergonoma 30°	Distinction des formes
Le panorama 60°	Distinction des mouvements

7. Type d'éclairage naturel

Le type d'éclairage naturel est défini par la position des prises qui le provoquent, qui peuvent être placées soit sur la façade (éclairage latéral), soit sur le toit (éclairage zénithal), soit les deux.

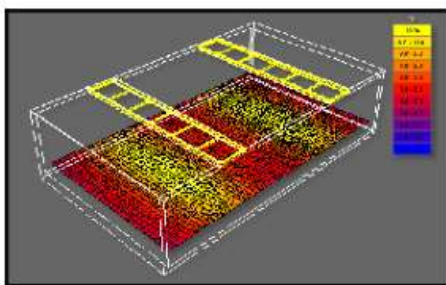
7.1. Eclairage zénithal

Recommandé pour les bâtiments dont la hauteur est supérieure à 4,50m. Il est également indispensable dans les locaux dont la profondeur est supérieure à la hauteur

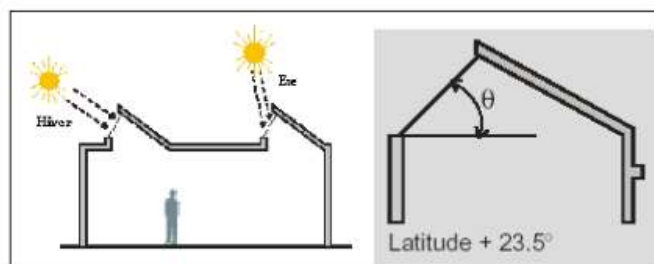
7.1.1 Dispositifs d'éclairage zénithal direct :

- Les tabatières (ou skylights)

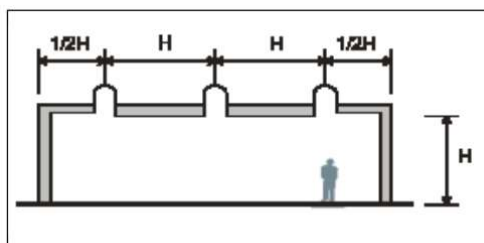
Le système d'éclairage le plus efficace, fournissant 3 à 5 fois plus de lumière pour la même surface que le vitrage vertical.



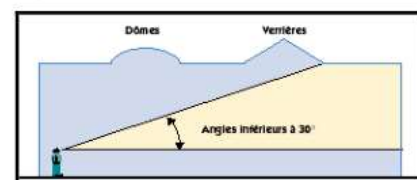
Performances lumineuses des tabatières.



Inclinaison recommandée des tabatières.



Critères d'uniformité pour les tabatières.



Dispositifs d'éclairage zénithal direct.

- Les dômes :

Economiques mais les gains et pertes de chaleur sont très importants.

- Les verrières :

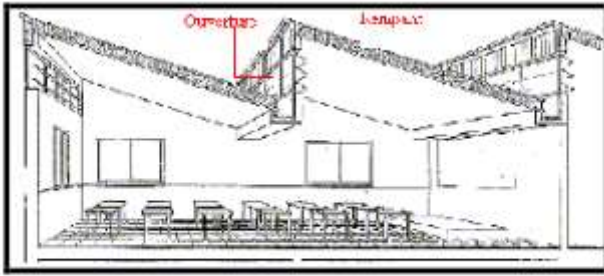
Elles peuvent être horizontales ou inclinées et sont économiques dans leur construction. Elles sont particulièrement recommandées dans en cas de présence d'obstacles extérieurs élevés qui gêneraient l'éclairage naturel intérieur.

7.1.2 Systèmes d'éclairage zénithal indirect :

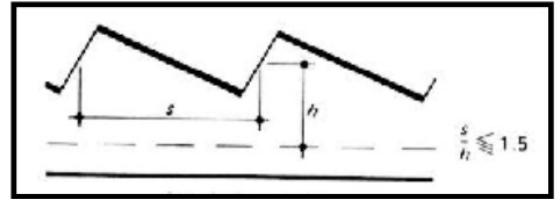
- Toitures en dents de scie ou sheds :

La toiture est constituée d'une surface transparente ou translucide appelée "ouverture" qui recueille la lumière naturelle pour la faire pénétrer à l'intérieur d'une pièce, et d'une surface

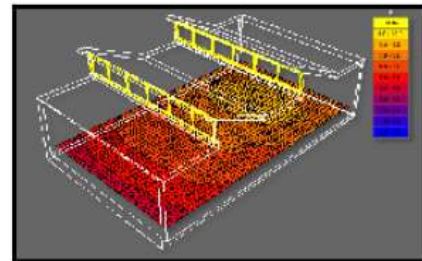
opaque inclinée appelée "rampant" faisant face au rayonnement lumineux et dont le rôle est de répartir la lumière du jour à l'intérieur de la pièce. L'inclinaison recommandée du vitrage est de 60 degrés. L'inconvénient de ce dispositif est la directivité prononcée de la lumière du jour déterminée par la forme du shed.



Composantes des sheds (Collège d'Estagel- France).



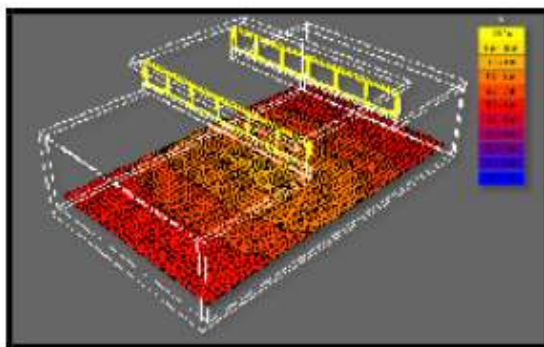
Critères d'uniformité pour les sheds.



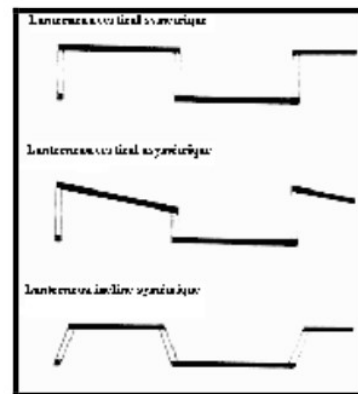
Effet directif des sheds.

- Lanterneaux

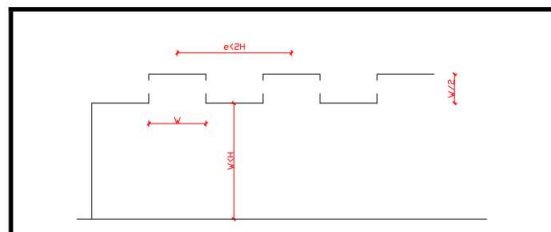
Constitués de surélévation de la toiture totalement ou partiellement translucide. Ils peuvent se présenter sous différentes formes tels que : le lanterneau symétrique vertical, le lanterneau asymétrique et le lanterneau symétrique incliné. L'orientation préférentielle nord-sud et l'utilisation de matériaux diffusants pour réduire les effets thermiques et les projections sur le côté sud peuvent être utilisées pour le contrôle solaire en été.



Performances lumineuses des lanterneaux.



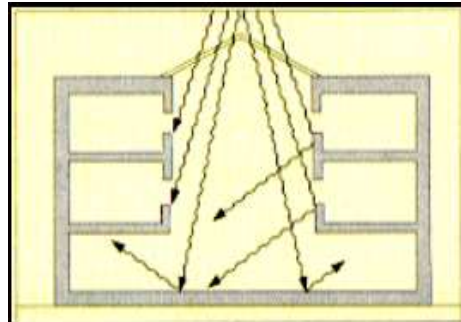
Types de lanterneaux.



Critères d'uniformité pour les lanterneaux.

- Puits de jour

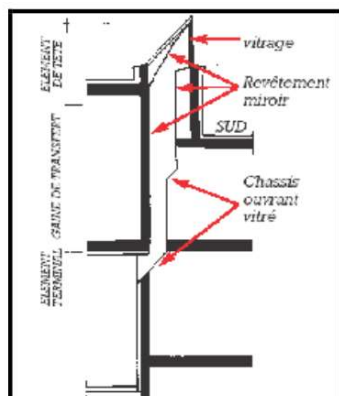
Leurs performances dépendent de leur géométrie (forme, rapport entre hauteur et largeur), des propriétés de leurs surfaces verticales et horizontales (notamment la couleur), de la proportion de fenêtres dans les cloisons, de leur orientation et de la qualité du vitrage utilisé.



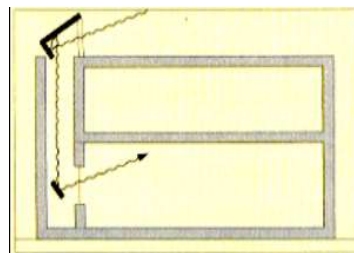
- Conduits de lumière « light pipes »

Ils collectent, dirigent et canalisent la lumière du soleil vers n'importe quel espace d'un bâtiment. Ce système se compose de trois éléments principaux :

- Un collecteur/concentrateur, appelé " héliostat ".
- Un système de transport dont les surfaces internes ont une réflectivité élevée.
- Un émetteur.



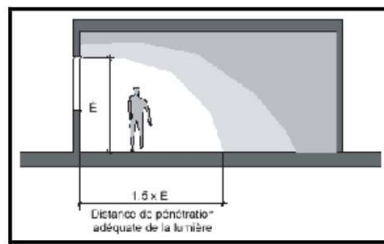
Composants d'un conduit de lumière



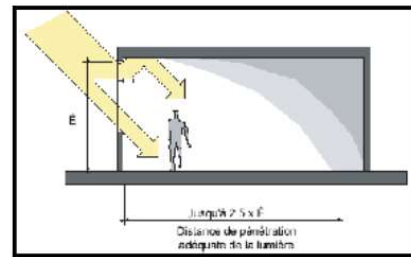
7.2. Eclairage latéral

Le plus utilisé et le moins performant (obstacles à l'extérieur). Il existe trois types d'éclairage latéral :

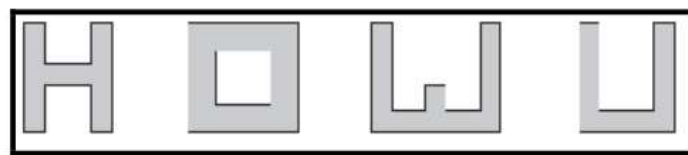
- **Eclairage unilatéral**



Pénétration approximative de la lumière naturelle.



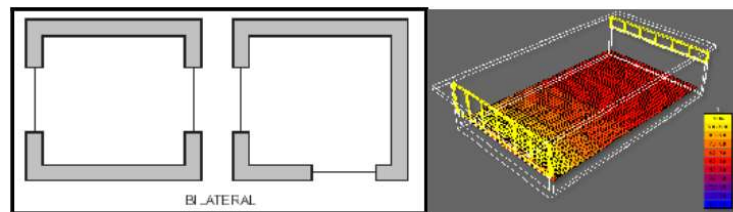
Pénétration approximative de la lumière naturelle avec l'usage d'un « light shelf ».



Empreintes de bâtiments éclairés unilatéralement.

- **Eclairage bilatéral**

Composé d'ouvertures verticales sur deux murs, soit parallèles, soit perpendiculaire.
(Profondeur peut aller jusqu'à 4 fois la hauteur du plan utile)



Dispositifs d'éclairage bilatéral et ses performances lumineuses.

- **Eclairage multilatéral**

Composé d'ouvertures verticales sur plusieurs parois.

8. Stratégies de la lumière naturelle

Le processus de conception de la lumière du jour dans les bâtiments est résumé dans le tableau suivant :

building	room	window	daylighting systems
daylight availability	relation to adjacent spaces	design of facades and windows	function of system(s)
latitude	autonomous	single design	multiple functions
sun shine probability	borrowing light	multiple design	glare, shading, redirection
temperature	giving light	division within windows	glare, solar shading
...	interchanging light	division between windows	glare, redirection
obstruction	fenestration		shading, redirection
building design scheme	unilateral, sidelight		single function
beam shaped	unilateral, top-light		protection from glare
courtyard/atria	multilateral, sidelight		solar shading
block	multilateral, sidelight and top-light		redirection
nucleus	proportion		other function
...	height to depth, ratio		

Figure 44 The process of designing for daylight in buildings

8.1. Capter

- Selon le type de ciel, la période de l'année, l'heure de la journée, on peut avoir :
 - Un ciel couvert : le soleil n'est pas visible. La luminance du ciel uniforme est indépendante des paramètres géométriques
 - Un ciel couvert établi par la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) : la luminance en un point varie en fonction de sa position sur le ciel, ce modèle correspond à un ciel de nuages clairs cachant le soleil.
 - Un ciel clair : La luminance varie en fonction de paramètres géométriques et de la position du soleil.
 - Un ciel clair avec soleil : Ciel serein dans lequel le soleil brille. Il offre la possibilité d'étudier les jeux d'ombres et de lumières ainsi que les risques d'éblouissement dus à la pénétration du soleil dans un bâtiment
- Selon l'environnement :
 - Relief du terrain
 - Bâtiments avoisinants
 - Éléments liés au bâtiment lui-même
 - Végétation
 - Réflexion des surfaces extérieures

8.2. Transmettre

- Orientation de l'ouverture
- Caractéristiques de la fenêtre
- Configuration

- Position de la baie sur la paroi
- Inclinaison de l'ouverture
- Dimensionnement
- Transmission du vitrage

8.3. Distribuer

Distribution des ouvertures, des tablettes d'éclairage, des réflecteurs extérieurs...etc.

8.4. Se protéger

Lamelles à changement de direction, façade double peau avec modules de brise-soleil orientables,...etc.

8.5. Contrôler

Végétation, façade cinétique interactive, etc.

9. Projet architectural et comportement lumineux

Les Caractéristiques générales du projet architectural qui ont des répercussions sur son comportement lumineux sont :

La compacité : définie comme la surface de l'enveloppe du bâtiment divisée par son volume. Elle représente le degré de concentration des espaces intérieurs.

La porosité : définie par l'existence dans le volume de l'enveloppe global d'espaces vides communiquant avec l'extérieur, tels que des patios par exemple.

La transparence : Bien qu'une transparence élevée augmente essentiellement les niveaux d'éclairage dans les zones périphériques, un bon éclairage résultera principalement d'une distribution harmonieuse de la lumière plutôt que de sa quantité.

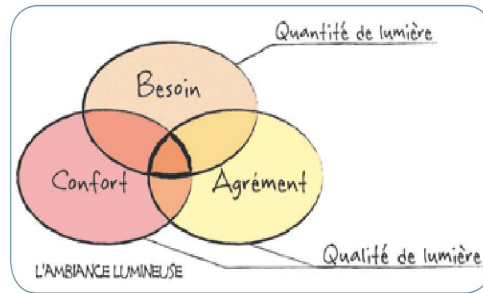
Les caractéristiques géométriques : Les locaux peuvent être analysés par leur taille, leur forme, leurs proportions et les différences de niveau qu'ils peuvent avoir entre eux.

La taille : Il faut simplement se rappeler que pour les espaces de grande surface, il sera nécessaire de donner des hauteurs importantes pour ne pas obscurcir les zones centrales.

La forme et les proportions : En général, les espaces irréguliers ou les espaces qui s'élargissent à partir de l'ouverture où la lumière naturelle entre, conduisent à une distribution inégale.

10. Evaluation de la lumière naturelle en architecture

Un bon éclairage doit garantir à l'habitant qu'il peut exercer ses activités le plus efficacement possible (performance visuelle), en assurant son bien-être (confort visuel) et en lui apportant un certain plaisir visuel (lumière naturelle).



Représentation schématique de l'ambiance lumineuse

11. Méthodes de calcul par simulation numérique

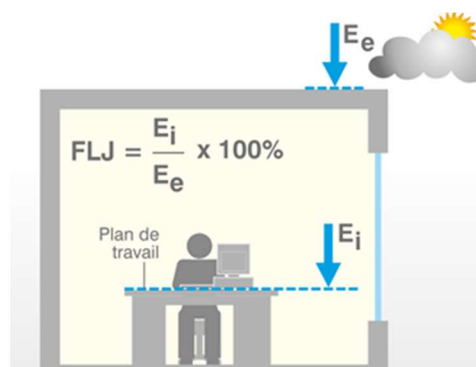
Ces méthodes sont basées sur la modélisation numérique des phénomènes de transfert de lumière. Elles permettent de calculer avec précision les champs d'éclairement et de luminance dans une pièce. Souvent couplées à des méthodes d'infographie, elles permettent une visualisation réaliste des scènes lumineuses.

12. Méthodes d'évaluation à l'aide des maquettes :

Pour un projet architectural, les maquettes permettent d'évaluer des configurations réalistes et complexes, ou des formes difficiles à représenter à l'aide d'outils numériques. De plus, elles ont l'avantage de visualiser le résultat lumineux obtenu dans l'espace projeté. Elles permettent également d'utiliser des ciels réels ou artificiels.

13. Méthodes de redimensionnement

Basées sur le pré-dimensionnement des ouvertures à partir du calcul du facteur de lumière jour (FLJ).



14. Bibliographie

Titre de l'ouvrage	Auteur	Éditeur et année d'édition
Guide de l'architecture bioclimatique	Alain Liébard, André De Herde	LEARNT, Novembre 1996.
Traité de l'architecture et de l'urbanisme bioclimatique	Alain Liébard, André De Herde	Observer, 2005
Architectures et climats : soleil et énergies naturelles dans l'habitat,	ALEXANDROFF. George et Jeanne-Marie,	Architectures Berger-Levrault 1982.
Architecture climatique. Une contribution au développement durable.	CHATELET. Alain, FERNANDEZ. Pierre et LAVIGNE. Pierre,	EDISUD, 1998
Le guide de l'énergie solaire passive	Edward Mazria	PARENTHESSES, 1981
L'architecture écologique	GAUZIN-MULLER. Dominique	le Moniteur, novembre, 2002.
L'homme, l'architecture et le climat	GIVONI. Baruch	Le moniteur, 1978
Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies	G.Z.Brown, M.Dekey	Wiley,2000
Archi bio	IZARD. J.L et GUYOT. A,	PARENTHESSES 1979
Architecture d'été Construire pour le confort d'été	IZARD. J L	EDISUD 1993
Environmental science handbook for architects and builder	ZOKOLAY. S.V,	LACASTRE, LONDON, NEW YORK: THE CONSTRUCTION PRESS, 1980
Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements & méthodes	Pierre Fernandez, Pierre Lavigne	Édition. le Moniteur, 2009
Ambiances architecturales et urbaines	De Luc Adolphe,	Editions Parenthèses, 1998

LE CONFORT ACOUSTIQUE EN ARCHITECTURE/Cours N°09

1. Introduction :

L'intérêt de l'homme pour les phénomènes sonores remonte à la nuit des temps. Cependant, les fondements théoriques de l'étude de l'acoustique ont été réalisés pour la première fois par un physicien anglais nommé Lord Rayleigh dans le dernier quart du XIXe siècle. L'application de l'acoustique à l'architecture a été réalisée par Wallace Clement Sabine entre 1898 et 1905.

2. L'acoustique en architecture :

La distinction entre "son" et "bruit" est subjective - le son est souhaitable, le bruit ne l'est pas. Le bruit est associé à toute sensation désagréable, gênante ou indésirable (par exemple, le bruit d'un avion, le bruit d'une machine, la parole, etc.)

L'objectif fondamental de l'acoustique architecturale est simplement de renforcer le son désiré et d'atténuer, ou de réduire, le bruit.

"L'acoustique en architecture peut être définie comme la conception des espaces, des structures et des systèmes mécaniques pour répondre aux besoins de l'ouïe, les sons désirables peuvent être entendus correctement et les sons indésirables peuvent être atténués ou masqués au point de ne pas causer de perturbation".

3. Eléments de la conception acoustique :

Presque toutes les situations acoustiques peuvent être décrites par trois éléments communs : la source, le trajet et le récepteur. En général, il est possible d'augmenter ou de diminuer le volume de la source et de faire en sorte que le chemin transmette plus ou moins de son. Le récepteur peut également être affecté en termes d'emplacement et d'environnement. En général, les occupants d'un bâtiment entendront mieux et seront plus à l'aise si le bruit gênant peut être contrôlé, isolé ou supprimé. Dans la plupart des situations, la meilleure solution consiste à prendre en compte les trois éléments dans la conception acoustique.

Le son est créé par la vibration d'un milieu élastique comme l'air, l'eau et les solides tels que les matériaux de construction. La vibration des particules d'air dans une onde sonore met les tympanes en mouvement. Le son qui se déplace dans l'air a un mouvement d'onde longitudinal, comme le montre la figure 01.

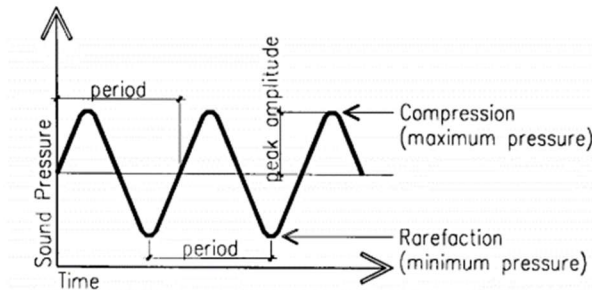


Figure 45 Vibration dans l'air

La fréquence (f) est exprimée en hertz, ce qui représente le nombre de fluctuations par seconde. La longueur d'onde est la distance parcourue par une onde sonore pendant un cycle de vibration. La relation entre la longueur d'onde λ , la fréquence et la vitesse "c" (ou vitesse) du son s'exprime comme suit :

$$\lambda = c/f$$

4. Analyse d'un bruit

Le bruit est caractérisé par les éléments suivants :

- La hauteur : un son est plus ou moins haut selon que sa fréquence dominante est plus ou moins élevée
- Le timbre : dépend de la composition spectrale du bruit
- La force : dépend de l'amplitude de vibration des ondes sonores, c'est-à-dire du niveau de pression acoustique

La force d'un bruit est calculée en fonction de la pression acoustique. Pour mesurer le niveau de pression acoustique (ou niveau sonore) les acousticiens utilisent le décibel (dB).

5. Sensibilité de l'oreille

L'oreille transforme les pressions acoustiques reçues en sensations auditives. Elle ne perçoit pas de la même façon toutes les fréquences. L'oreille humaine normale ne peut entendre les sons de fréquences inférieures à 20 Hz (infrasons) et supérieures à 15000 Hz (ultrasons). Si une oreille perçoit un son de 40 dB à 1000 Hz, elle aura la même sensation auditive en percevant un son de 60 dB à 63 Hz.

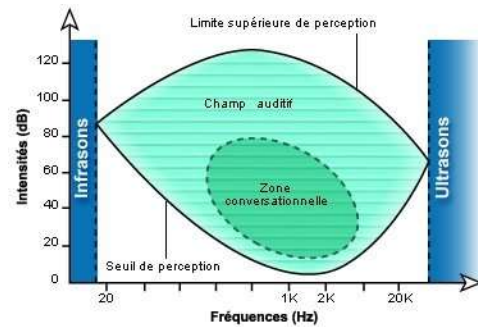
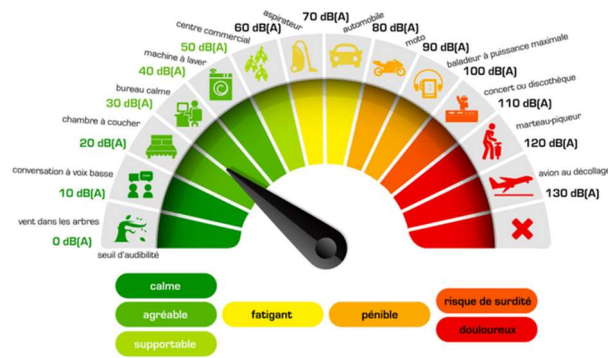


Figure 46 Sensibilité de l'oreille au bruit

6. Types de bruits

6.1. Les bruits aériens

Le bruit aérien est le bruit produit par une source sonore dont l'énergie est transmise uniquement à l'air qui l'entoure : voix, musique, voitures, avions, etc.

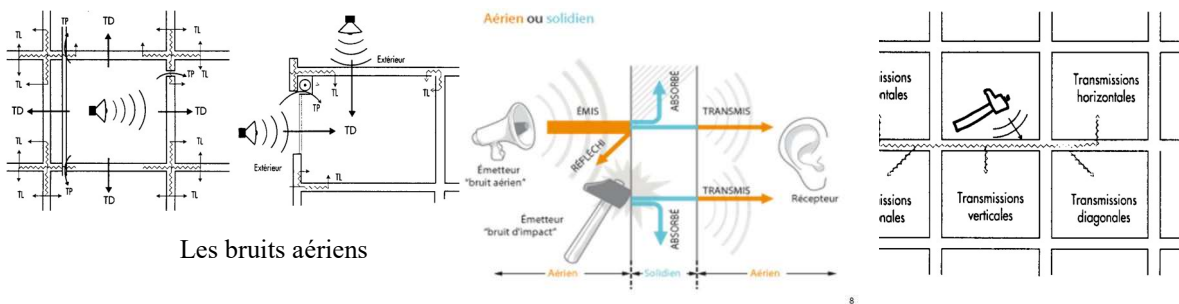


Figure 47 Types de bruit

6.2. Les bruits d'impact / solidiens

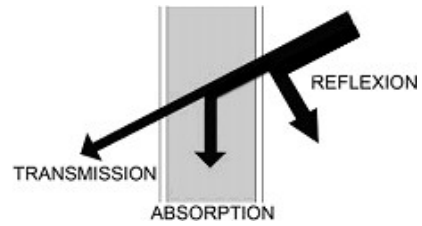
Les vibrations sont initialement créées sur ou dans les solides. Elles sont transmises directement par la structure du bâtiment (isolation acoustique). Ce sont les bruits d'impact ou certains bruits des équipements du bâtiment. Les bruits d'impact ont pour origine l'excitation directe d'une paroi par une force. Il s'agit, par exemple, de l'impact d'un objet contre le mur (balle, meuble, marteau, etc.) ou de l'impact des chaussures sur le sol, mais aussi des bruits d'équipement, lorsqu'une machine tournante est en contact avec le mur (machine à laver, etc.).

6.3. Comportement des bruits dans le bâtiment

Lorsqu'un son aérien atteint une paroi (verticale ou horizontale), trois phénomènes peuvent se

produire :

- > La réflexion sur la paroi
- > L'absorption par la paroi
- > La transmission à travers la paroi



On observe les transmissions du bruit suivantes :

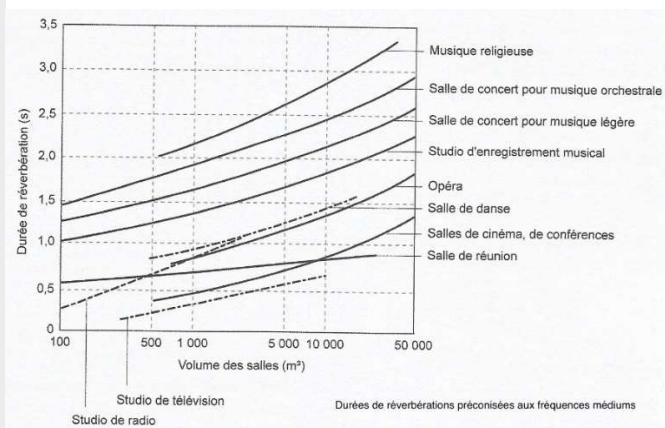
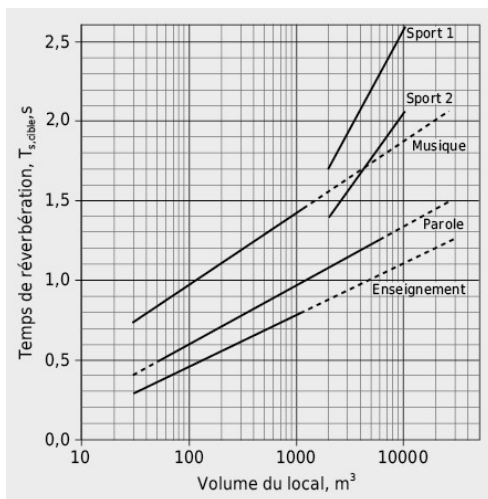
- > Transmissions directes au travers des parois (façade, plancher, mur intérieur etc.)
- > Transmissions indirectes par les parois latérales qui dépendent des liaisons entre parois latérales et la paroi de séparation.
- > Transmissions parasites dues au défaut de la paroi (fissure, manque d'étanchéité, etc.)

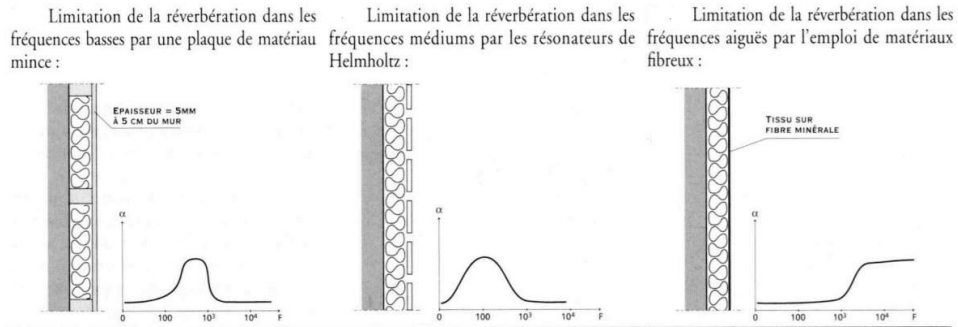
6.4. Réverbération d'un local

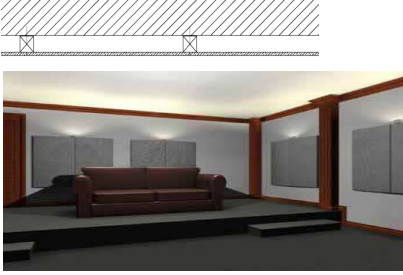

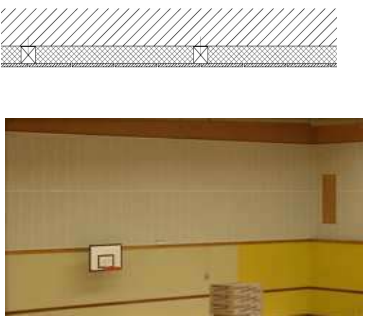
Le temps de réverbération d'une pièce doit être maintenu dans une fourchette de valeurs acceptables pour l'utilisation du local. Une valeur faible (acoustiquement trop terne) comme une valeur élevée (acoustiquement très réverbérante) n'est pas nécessairement une valeur confortable. Il est nécessaire d'ajuster la réverbération aux usages

La Formule exprimant le temps de réverbération (T_r) en secondes d'un local en fonction de son volume (V) en m^3 et de son aire d'absorption équivalente (A , calculée au moyen du coefficient de Sabine) :

$$T_r = 0,16V/A$$





Panneaux fléchissant	Matériau absorbant	Résonateurs
		
<p>Une plaque de contre-plaqué, clouée sur un cadre de bois à une certaine distance d'un mur.</p>	<p>moquette, rideaux, laine minérale, béton cellulaire, ...)</p>	<p>Une plaque perforée placée à une certaine distance d'une paroi</p>

6.5. Isolation et correction acoustique

La correction acoustique est un traitement de la capacité d'absorption et de réflexion d'une ou plusieurs parois en agissant sur leur texture, leur relief, leur géométrie et les matériaux de revêtement.

L'isolation acoustique est un traitement de la transmission du bruit à travers les parois, en agissant sur la structure de celle-ci.

Le renforcement de l'isolation thermique ne rime pas forcément avec l'amélioration de l'isolation acoustique. C'est pourquoi il est indispensable de trouver des solutions avec des isolants dits "thermo-acoustiques".

6.6. Principes de correction acoustique

Les corrections acoustiques servent à :

- Ajuster les surfaces réfléchissantes et absorbantes en fonction de la destination du local

- Optimiser la géométrie des locaux

Il est important de bien choisir les rapports entre la hauteur, la longueur et la largeur du bâti.

Les rapports à éviter sont : $(h, b, l) = (x, nx, nx)$

Tableau 16 Rapports de Louden

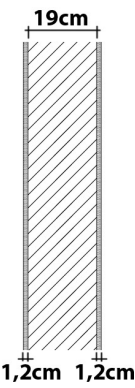
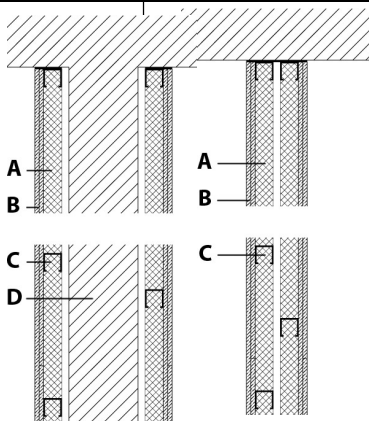
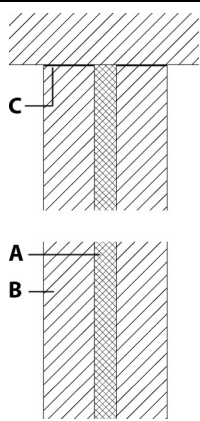
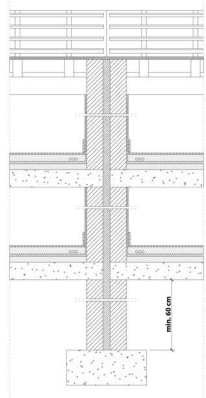
Qualité	hauteur	facteur x	facteur y
1	1	1.9	1.4
2	1	1.9	1.3
3	1	1.5	2.1
4	1	1.5	2.2
5	1	1.2	1.5
6	1	1.4	2.1
7	1	1.1	1.4
8	1	1.8	1.4
9	1	1.6	2.1
10	1	1.2	1.4
11	1	1.6	1.2
12	1	1.6	2.3
13	1	1.6	2.2
14	1	1.8	1.3
15	1	1.1	1.5
16	1	1.6	2.4
17	1	1.6	1.3
18	1	1.9	1.5
19	1	1.1	1.6
20	1	1.3	1.7

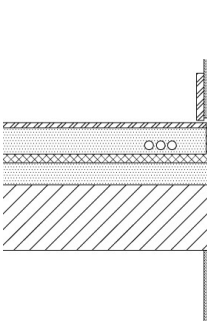
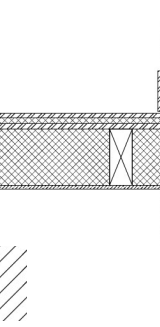
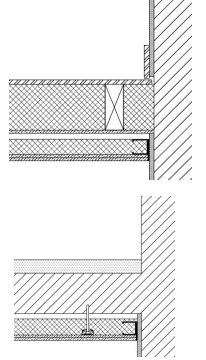
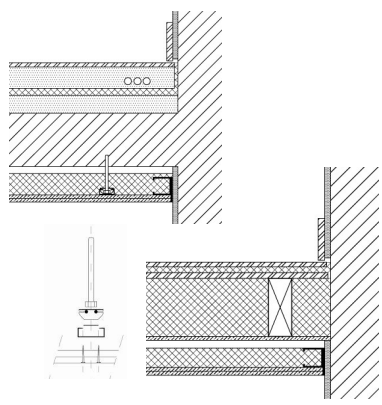
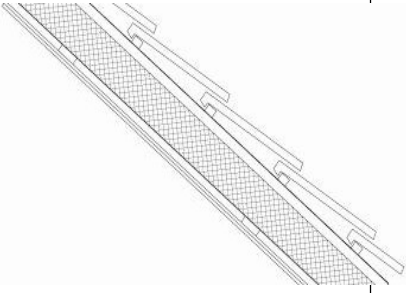
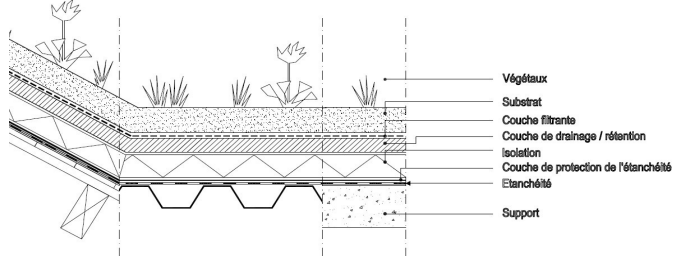
Chaque "proportion" des dimensions d'un local est associée à un indice de qualité. Plus cet indice de qualité augmente, plus l'acoustique du local est mauvaise. Si une pièce a une hauteur de 2,3m, on visera une largeur de 4,37m et une profondeur de 3,22m.

6.7. PRINCIPES D'ISOLATION ACOUSTIQUE

- ⇒ Procéder à l'échelle de l'implantation : disposer des bâtiments en mitoyenneté ou éclaté avec des espaces tampons .
- ⇒ Limiter les surfaces de séparation : Chaque séparation entre des espaces contigus représente un diffuseur sonore supplémentaire. Plus la surface est grande, plus la transmission du bruit est importante.
- ⇒ Utiliser des matériaux massifs : La présence de masse est particulièrement efficace dans l'atténuation des bruits aériens, car les ondes de l'air auront plus de difficulté à faire vibrer un élément lourd.

- ⇒ Déphaser les ondes : Selon le principe Masse/Ressort/Masse. Il s'agit de faire varier l'épaisseur et la densité volumique des matériaux utilisés dans l'élément acoustique afin d'absorber le maximum d'onde.
- ⇒ Etanchéfier : Rechercher une étanchéité et une homogénéité maximale de la paroi pour limiter le risque de fuites sonores.
- ⇒ Désolidariser : Afin d'éviter la propagation des vibrations, la dissociation des différents éléments (cloison-plancher, mur-plancher, canalisation-mur, etc.), au moyen de joints souples, doit être maximale à l'aide de joints de dilatation, "plots antivibratoires".

ISOLATION ACOUSTIQUE DES MURS ET CLOISONS				
				
Murs massifs	Cloison de doublage A = Isolant ; B = Double plaque de plâtre (12 mm x 2) ; C = Structure bois / métallique ; D = Mur massif (ép. : 19 cm)	Cloisons légères doubles (A = Isolant B = Double plaque de plâtre (12 mm + 15 mm) C = Structure bois ou métallique	Murs doubles A=Isolant B = Blocs de maçonnerie (90 mm ou 140 mm) C = Joint	Murs mitoyens
ISOLATION ACOUSTIQUE DES PLANCHERS ET PLAFONDS				

			
<p>Dalle flottante pour plancher en béton : couche intermédiaire souple entre la structure porteuse et la chape.</p>	<p>Sous-plancher pour plancher en bois</p>	<p>Faux plafond : constitué de plaques de plâtre, fibro plâtre ou de plaques composites (ex : mousse de papier + fibres + plâtre...) sur lesquelles est déposée une couche d'isolant souple (50mm suffisent).</p>	<p>Combinaison plancher - plafond faux-plafond "masse/ressort/masse", désolidarisé de la structure</p>
<p>ISOLATION ACOUSTIQUE DES TOITURES</p>			
			
<p>Toiture à versants : une sous-toiture lourde</p>	<p>Toiture plate : créer un complexe masse – ressort – masse</p>		

7. Bibliographie

Titre de l'ouvrage	Auteur	Éditeur et année d'édition
Guide de l'architecture bioclimatique	Alain Liébard, André De Herde	LEARNT, Novembre 1996.
Traité de l'architecture et de l'urbanisme bioclimatique	Alain Liébard, André De Herde	Observer, 2005
Architectures et climats : soleil et énergies naturelles dans l'habitat,	ALEXANDROFF. George et Jeanne-Marie,	Architectures Berger-Levrault 1982.
Architecture climatique. Une contribution au développement durable.	CHATELET. Alain, FERNANDEZ. Pierre et LAVIGNE. Pierre,	EDISUD, 1998
Le guide de l'énergie solaire passive	Edward Mazria	PARENTHESSES, 1981
L'architecture écologique	GAUZIN-MULLER. Dominique	le Moniteur, novembre, 2002.
L'homme, l'architecture et le climat	GIVONI. Baruch	Le moniteur, 1978
Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies	G.Z.Brown, M.Dekey	Wiley,2000
Archi bio	IZARD. J.L et GUYOT. A,	PARENTHESSES 1979
Architecture d'été Construire pour le confort d'été	IZARD. J L	EDISUD 1993
Environmental science handbook for architects and builder	ZOKOLAY. S.V,	LACASTRE, LONDON, NEW YORK: THE CONSTRUCTION PRESS, 1980
Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements & méthodes	Pierre Fernandez, Pierre Lavigne	Édition. le Moniteur, 2009
L'acoustique du bâtiment	Loïc Hamayon	Édition. le Moniteur, 2014

MATERIAUX ET ENERGIE GRISE/Cours N°10

1. Introduction :

Les matériaux utilisés par l'homme dans la construction sont globalement extraits, transformés, transportés, et assemblés. Toutes ces étapes sont polluantes : l'extraction, le transport, la transformation et l'assemblage nécessitent de l'énergie et des réactions chimiques, et émettent donc différents types de polluants.

2. Les enjeux du choix d'un matériau de construction

2.1. Contraintes du projet

- Les aspects réglementaires
- Les aspects techniques : stabilité, sécurité, résistance au feu, acoustique, résistance aux sollicitations, règles de bonne mise en œuvre, etc.
- Les critères économiques : investissement de base, entretien, etc.
- Les critères spécifiques : le confort, le maintien de la qualité des finitions, la facilité d'entretien, la durée du chantier, etc.

2.2. Choix induits par le projet

- La localisation : centre urbain / périphérie
- La programmation et le type d'occupation : logements, bureaux, halls, locaux sanitaires, banques, etc.
- Le parti architectural : qualité et esthétique
- Les critères spécifiques : flexibilité et évolutivité des espaces, types de support, durée de vie et renouvellement, démontage pour réutilisation potentielle.

2.3. Choix induit par l'environnement

- Économie de ressources :
 - Consommation énergétique : fabrication, transport, exploitation, maintenance...
 - Origine des matériaux : locales ou importés
 - Rareté de la ressource
 - Matières premières renouvelables, recyclables ?
 - Durée de vie prévisible ou souhaitée ?
- Maîtrise des risques sur l'environnement
- Pollutions atmosphériques : impact sur la couche d'ozone, émissions de gaz à effet de serre, particules fines, etc.

- Impacts sur les écosystèmes : acidification, eutrophisation, accumulation de métaux lourds, etc.
- Gestion des déchets à la fabrication et à l'élimination
- Types d'utilisation des espaces humains et naturels
- Maîtrise des risques sur la santé :
 - o Nature du risque, niveau de certitude, occurrence
 - o Principe de précaution
 - o Impacts sur la santé des travailleurs (fabrication / mise en oeuvre)
 - o Impact sur la santé des occupants (qualité de l'air intérieur)
 - o Impact par contact, par émission
- Gestion des déchets : en chantier, en exploitation, etc.
- Gestion des nuisances pendant le chantier et durant l'exploitation du bâtiment

3. Stratégies pour le choix des matériaux de construction :

- Une sélection des matériaux basée sur leur cycle de vie incluant la performance du produit et sa durée de vie
- Conception réfléchie qui tient compte de l'ensemble du système de construction
- Optimisation du design sans affecter la qualité
- Privilégier les matières premières disponibles localement
- Recourir aux matériaux à base de matières premières renouvelables
- Privilégier les produits à contenu recyclé
- Choisir des matériaux et éléments à faible impact sur la santé humaine

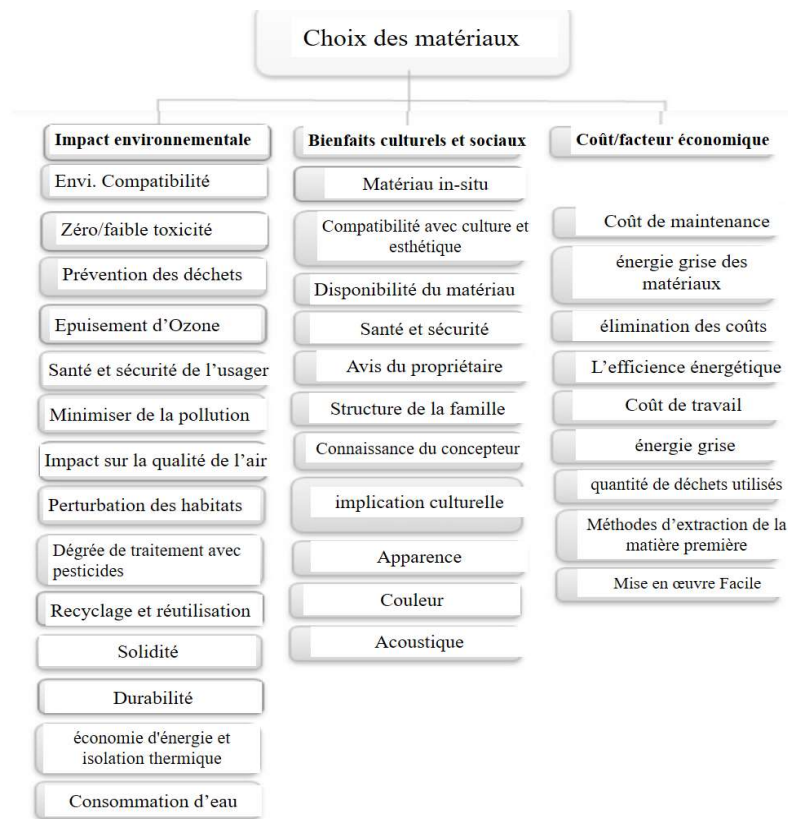


Figure 48 critère de la sélection d'un matériau durable (Aghdam, Rad, Shakeri, & Sardroud, 2018)

4. Analyse du Cycle de Vie (A.C.V.)

Les méthodes basées sur l'analyse du cycle de vie (ACV) permettent une évaluation globale et complète des impacts environnementaux des matériaux depuis la phase de production jusqu'à l'utilisation et l'élimination, selon des concepts normalisés et reconnus au niveau international.

5. Les différents types de ressources disponibles

5.1. Matériaux non-renouvelables

En raison de l'épuisement des ressources, l'utilisation de ces matériaux doit maintenant être limitée, et le principe d'assemblage réfléchi afin de permettre un recyclage aisé.

5.2. Matériaux renouvelables

Ressource durable dont l'utilisation doit être encouragée. Ces ressources doivent nous inspirer pour inventer de nouveaux systèmes de construction.

5.3. Matériaux recyclés

Fabriqué à partir de matières premières recyclées. La matière récupérée doit souvent subir un traitement spécial avant de redevenir un matériau. Certains de nos déchets de consommation

peuvent également être utilisés pour fabriquer de nouveaux matériaux, ce qui peut constituer un avantage en termes de gain de place dans les décharges.

6. Matériaux de construction et îlot de chaleur urbain :

Les revêtements et matériaux imperméables des bâtiments influencent le microclimat et les conditions de confort thermique. En effet, le bâtiment, en fonction de son albédo (indice de réflexion d'une surface) absorbe ou réfléchit l'énergie solaire. Ainsi, la ville absorbe 15 à 30% d'énergie en plus pendant la journée qu'une zone urbaine. Cette énergie est ensuite lentement libérée la nuit sous forme d'infrarouges (chaleur).

6.1. Albédo des matériaux :

Le curieux nom *ALBEDO* est extrait du mot grec *Albus* qui veut dire blanc, il a été donné à la fraction du rayonnement solaire incident qui est renvoyée par réflexion et diffusion.

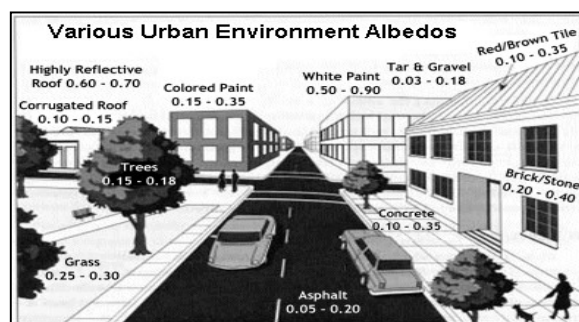


Figure 49 Infrastructures routières / Pavés à hauts albedos

Les pavés et l'ALBEDO

Le pavage peut représenter jusqu'à 45 % de la surface des villes. Les grandes zones urbaines pavées sont souvent recouvertes d'asphalte et d'autres matériaux sombres qui absorbent la majorité du rayonnement solaire. Les jours de grande chaleur, ces surfaces peuvent atteindre des températures de 80°C, contribuant ainsi fortement à l'effet d'îlot de chaleur urbain. Afin de minimiser cette accumulation de chaleur sur les chaussées, il est possible d'augmenter leur albédo par les techniques suivantes :

- Pavé inversé : Les routes actuelles en asphalte sont composées d'environ 85% d'agrégats minéraux recouverts de 15% de bitume. Une façon d'augmenter l'albédo de l'asphalte est d'inverser la façon dont le pavé est fabriquée, c'est-à-dire de poser une fine couche d'asphalte sur laquelle est placé un agrégat à albédo élevé (par exemple 0,60). L'agrégat exposé augmente la réflectivité de la couche de rayonnement solaire, ce qui diminue la température du pavé. Cependant, ces types de pavés ne sont pas recommandés pour les routes à grande vitesse, car les morceaux de granulats peuvent se détacher et provoquer des bris de pare-brise.

- Asphalte et béton colorés : L'ajout de pigments réfléchissants à l'asphalte et au béton augmente leur pouvoir réfléchissant.
- Couche superficielle de béton : Il s'agit d'appliquer une couche de béton de 2,5 à 10 cm d'épaisseur sur une chaussée en asphalte en bon état. Un béton avec un albédo plus élevé (entre 0,30 et 0,40 à l'état neuf) permet de conserver une température de surface plus fraîche. Cette méthode serait très efficace et permettrait la circulation de tous les types de véhicules. Comme l'épaisseur du pavé détermine sa capacité à emmagasiner la chaleur, les surfaces plus minces sont préférées pour les albédos faibles, qui absorbent la chaleur.

Les toits et l' ALBEDO

Toits blancs

Une approche simple et relativement peu coûteuse pour résoudre la crise de l'énergie consisterait à peindre les toits des maisons en blanc afin qu'une partie importante de l'énergie solaire incidente soit renvoyée vers le ciel sous forme de rayonnement visible.

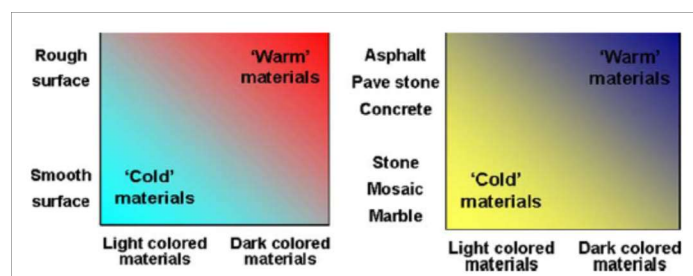
Les toitures végétalisées

Il existe deux types de toits verts : extensif et intensif.

Le toit vert extensif se caractérise par sa légèreté due à l'épaisseur réduite du sol, le peu d'entretien qu'il nécessite, la faible diversité de la végétation qu'il abrite et le fait qu'il soit rarement accessible.

Le toit vert intensif, dont le substrat est plus profond, nécessite une structure plus robuste. Il se distingue également par la grande diversité de la végétation qu'il peut supporter et par son accessibilité.

7. Les surfaces des façades



Mur végétal : Afin de remédier au problème de surchauffe et d'éblouissement, il est recommandé d'utiliser des murs végétaux, des arbres à grandes masses foliaires, de préférence à feuilles caduques, ou des matériaux de couleur claire réfléchissante mais de texture rugueuse.

8. Bibliographie

Titre de l'ouvrage	Auteur	Éditeur et année d'édition
Guide de l'architecture bioclimatique	Alain Liébard, André De Herde	LEARNT, Novembre 1996.
Traité de l'architecture et de l'urbanisme bioclimatique	Alain Liébard, André De Herde	Observer, 2005
Architectures et climats : soleil et énergies naturelles dans l'habitat,	ALEXANDROFF. George et Jeanne-Marie,	Architectures Berger-Levrault 1982.
Architecture climatique. Une contribution au développement durable.	CHATELET. Alain, FERNANDEZ. Pierre et LAVIGNE. Pierre,	EDISUD, 1998
Le guide de l'énergie solaire passive	Edward Mazria	PARENTHESSES, 1981
L'architecture écologique	GAUZIN-MULLER. Dominique	le Moniteur, novembre, 2002.
L'homme, l'architecture et le climat	GIVONI. Baruch	Le moniteur, 1978
Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies	G.Z.Brown, M.Dekey	Wiley,2000
Archi bio	IZARD. J.L et GUYOT. A,	PARENTHESSES 1979
Architecture d'été Construire pour le confort d'été	IZARD. J L	EDISUD 1993
Environmental science handbook for architects and builder	ZOKOLAY. S.V,	LACASTRE, LONDON, NEW YORK: THE CONSTRUCTION PRESS, 1980
Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements & méthodes	Pierre Fernandez, Pierre Lavigne	Édition. le Moniteur, 2009
Ambiances architecturales et urbaines	De Luc Adolphe,	Editions Parenthèses, 1998

LES SOLUTIONS ET TECHNIQUES D'EFFICACITE ENERGETIQUE/ Cours N°11

Les solutions et techniques d'efficacité énergétique peuvent être divisées en trois entités :

- ☞ Solutions passives : englobent l'enveloppe et l'orientation du bâtiment, le solaire passif, la ventilation naturelle... etc.
- ☞ Solutions actives : telles que la régulation, la domotique, les énergies renouvelables et la ventilation assisté.
- ☞ Le comportement des usagers

Low-Energy Building Solutions



Figure 50 Solution architecturales passives et actives

1. Solutions passives :

Les techniques passives de conditionnement ont pris une importance croissante ces dernières années en raison des politiques de protection de l'environnement et d'économie d'énergie. L'augmentation du nombre de bâtiments intégrant ces systèmes a entraîné un accroissement des travaux de recherche. De nombreux concepteurs se concentrent désormais sur le développement de systèmes qui répondent aux exigences de qualité de l'air et de confort intérieur et qui sont conformes à la politique d'économie d'énergie.

1.1. La Façade :

La façade représente l'interface entre le climat extérieur et les espaces intérieurs, jouant un rôle clé dans la détermination des conditions thermiques et de la consommation d'énergie. Ainsi, les exigences d'une façade à affronter sont résumées dans la figure et le tableau suivants :

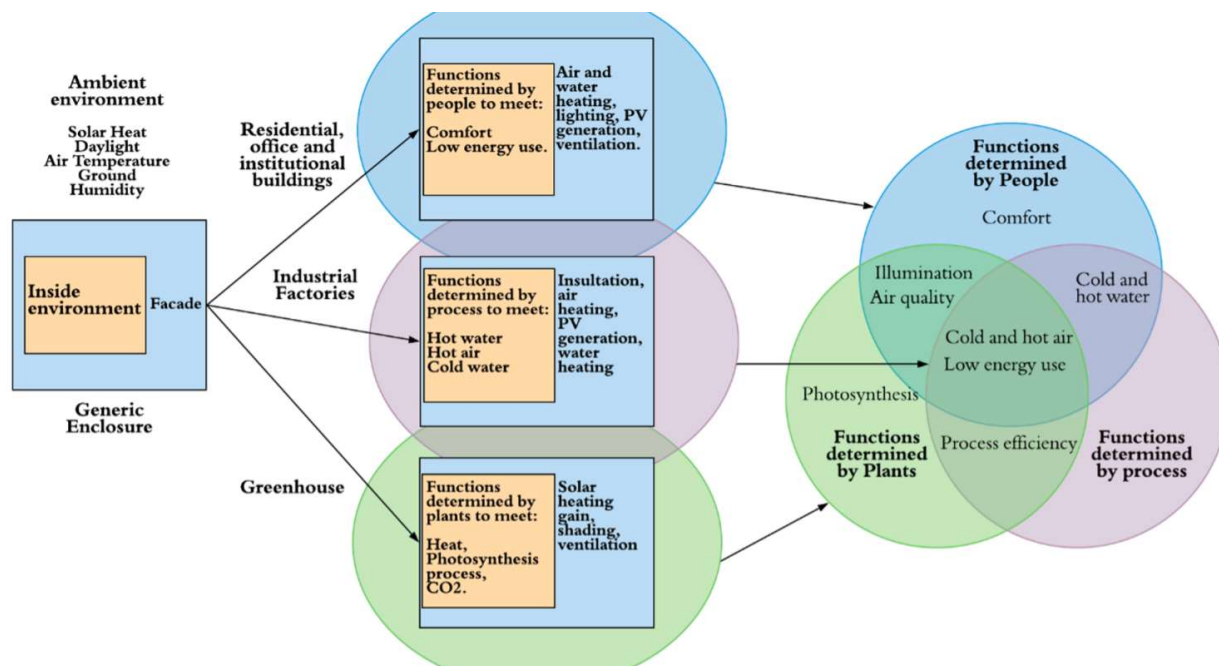


Figure 51 Les fonctions de la façade (Alkhatib, Lemarchand, Norton, & O'Sullivan, 2021)

Tableau 17 La façade à haute performance énergétique

Mur polyvalent :	Façade double peau :	La façade intelligente :	Façade adaptative /façade cinétique (kinetic responsive façade) :
Un mur pour toutes les saisons avec 30 cm d'épaisseur, l'idée initiale présentée par l'architecte Mike Davies en 1981. Construit avec des couches fines qui contrôlent le rayonnement solaire par : absorption, réflexion, filtration et transmission	composée de deux parois (peaux), la peau extérieure est généralement vitrée, tandis que l'intérieur est entièrement ou partiellement vitrée avec fenêtres. Une cavité d'air (20 cm ou plus) sépare les deux peaux, contient généralement un dispositif d'ombrage réglable pour plus de contrôle thermique. Les FDP se différent en fonction du système de ventilation utilisé.	la paroi extérieure est composée des éléments structurés responsables de la protection contre les intempéries, qui s'ajustent automatiquement pour répondre aux variations extérieures et maintenir le confort avec un minimum de consommation d'énergie, ainsi trois paramètres sont à considérer: météorologiques, contextes et occupants.	Une façade dynamique, ou les surfaces transparentes possèdent des dispositifs d'ombrage (des brise-soleil automatisés) qui s'ouvrent et se ferment en réponse au mouvement du soleil, réduisant ainsi le rayonnement solaire et procurant un environnement intérieur plus confortable. Les mouvements de base sont : déplacer, pivoter et redimensionner. Les mouvements les plus complexes peuvent être façonnés lorsque deux types de mouvement se combinent comme la torsion directionnelle.

1.2. LA FENETRE

``Certains disent que les maisons sont faites de murs. Je dis qu'elles sont faites de fenêtres``.
(Hundertwasser)

Élément essentiel de la conception bioclimatique, la fenêtre est associée à plusieurs stratégies, notamment la capture de l'énergie solaire, la ventilation, l'éclairage naturel et le contrôle du rayonnement solaire.

La fenêtre doit remplir plusieurs fonctions importantes, chacune d'entre elles étant liée à un effet indésirable, comme le montre le tableau suivant :

Tableau 18 Les fonctions d'une fenêtre

Fonctions	Buts recherchés	Effets non souhaités
Vue	Contact avec l'extérieur	Perte de privacité
Fermeture/Ouverture	Etanchéité+Résistance	Agressions diverses
Contrôle social	Vue vers l'extérieur	Vue vers l'intérieur
Lumière	Eclairage naturel	Eblouissement
Chaleur	Gains solaires	Surchauffes/Pertes excessives
Aération	Apport d'air neuf	Pertes par ventilation

Le choix de la fenêtre dépend de :

✦ **Coefficient de transmission thermique U**

Le coefficient U indique le flux de chaleur dû à la conduction, à la convection et au rayonnement à travers une fenêtre, résultant d'une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur. Plus le coefficient est élevé, plus la chaleur est transférée (perdue) par la fenêtre en

✦ **Coefficient de gain de chaleur solaire (SHGC)**

Le SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) indique la quantité d'énergie solaire qui est transmise à travers la fenêtre sous forme de chaleur. Plus le SHGC augmente, plus le potentiel de gain solaire à travers une fenêtre donnée augmente. La valeur de SHGC varie entre 0 et 1, où 0 signifie qu'aucun gain solaire incident n'est transmis à travers la fenêtre sous forme de chaleur, tandis que 1 signifie que toute l'énergie solaire incidente est transmise à travers la fenêtre sous forme de chaleur.

✦ **La transmittance visible (VT)**

Représente la fraction du spectre visible de la lumière solaire (380 à 720 nanomètres) transmise à travers le vitrage d'une fenêtre.

Choix des vitrages en fonction de l'orientation :

La proportion de surfaces vitrées doit varier de 40 à 60% de la surface de la façade sud. Au nord, les surfaces vitrées ne devraient pas dépasser 10%. Les recommandations pour le vitrage en fonction de l'orientation sont précisées dans le tableau suivant :

Tableau 19 Choix des vitrages en fonction de l'orientation

	Description	Vitrage approprié et surface correspondante
Nord	La qualité de la lumière y est constante (orientation recherchée par les artistes).	Ouvertures minimales pour assurer un éclairage naturel suffisant. Vitrage à isolation thermique renforcée à basse émissivité avec argon (gaz).
Sud	Ensoleillement maximal en hiver. Orientation favorisant les gains thermiques passifs durant la saison froide. En été, façades facilement protégeables. L'éclairage y est important et cette façade présente donc un risque d'éblouissement.	L'installation d'un vitrage classique peut être possible en veillant à le compléter par des volets évitant les déperditions de chaleur la nuit. Cette orientation sera favorable à l'installation de grandes surfaces vitrées.
Est	Gains solaires favorisés le matin avec peu de risque de surchauffe. Par contre, un risque d'éblouissement est possible avec les rayons solaires directs du matin	On favorisera des vitrages avec une bonne transmission lumineuse, correctement isolés néanmoins. De plus grandes surfaces vitrées qu'à l'ouest sont admissibles.
	Orientations qui reçoivent le maximum d'énergie en été	
Ouest	Gains solaires favorisés en fin de journée. Cette orientation doit être particulièrement protégée car, le soleil étant bas sur l'horizon, les risques de surchauffes et d'éblouissement y sont importants	Vitrage à haute réflectivité : vitrage réfléchissant. Trop de vitrage à l'ouest conduit à une surchauffe en été, il faudra donc limiter les surfaces vitrées à l'ouest.

Tableau 20 Avantages et inconvénients des châssis

	CHASSIS EN BOIS	CHASSIS EN PVC	CHASSIS EN ALUMINIUM	CHASSIS EN POLYURETHANE
Avantages	Valeur d'isolation thermique supérieure à celle de l'aluminium. Moins sensible aux fluctuations de température. Plus souple à découper. Davantage de formes sont possibles. Produit naturel, recyclable et isolant. Relativement bon	Présente une bonne résistance thermique. Durable et recyclable. Plus souple à découper. Davantage de formes sont possibles. Nombreux tons possibles. Légèrement plus cher que le bois. Production en usine Entretien facile.	Présente une bonne résistance thermique. Durable et recyclable. Profilés plus minces que ceux en bois. Convient parfaitement aux bâtiments contemporains. Production en usine. Entretien facile.	Très bonne isolation thermique et acoustique. Faible coefficient de dilatation thermique. Se prête bien aux formes courbes. Entretien facile.
Inconvénients	La masse volumique du bois est importante. Produit naturel donc risque accru d'imperfections. Entretien important. Appréciation de la qualité de conservation et de traitement du bois pas toujours accessible.	Coefficient de dilation thermique élevé, sujet aux fluctuations de température (des renforcements en acier galvanisé sont conseillés). Formes courbées pas aussi faciles à usiner qu'avec le bois. Difficile à combiner avec un revêtement structuré Profilés plus larges que ceux en bois.	Faible résistance thermique. Convient moins aux bâtiments rustiques. Moins souple que le bois au niveau du travail de la forme Fabrication gourmande en énergie. Coefficient de dilatation assez élevé	Plus cher que l'aluminium. Profilés plus larges que ceux du bois.

1.3. La forme de bâtiments

Les pertes thermiques d'un bâtiment sont proportionnelles à la surface de son enveloppe. Par conséquent, plus un bâtiment est compact, moins il perd de chaleur.

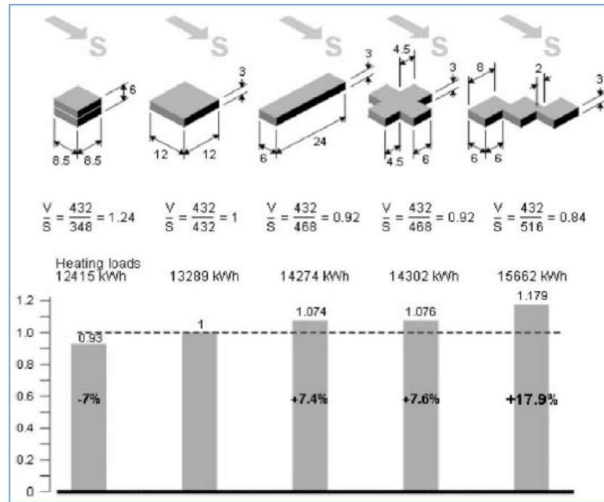


Figure 52 Impact de la forme du bâtiment sur la charge de chauffage

1.4. Inertie thermique

Caractéristique d'un matériau capable d'accumuler de l'énergie thermique lors d'un rapport de chaleur, pour ensuite la restituer dans un temps plus ou moins long. L'inertie thermique d'un matériau est en général proportionnelle à sa conductivité thermique, plus une maçonnerie est lourde et épaisse plus son inertie thermique est élevée.

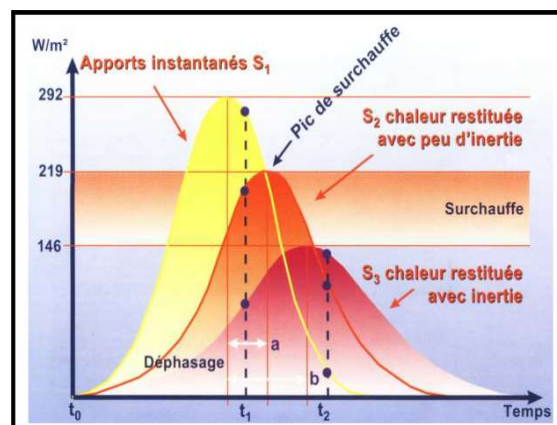


Figure 53 Réaction d'un local à inertie forte et d'un local à inertie faible en présence d'apports solaires (Source: A. Liebard et A. De Herde, 1996)

1.5. Les serres

Un grand nombre de paramètres sont intégrés dans l'analyse de la serre : orientation, forme, dimensions, propriétés thermiques, degré de contact avec le bâtiment principal, moyens de contrôle solaire, stockage thermique et diffusion de la chaleur.

La serre bioclimatique ou solaire est un capteur de volume vitré. Séparée de l'habitation proprement dite par un mur, elle peut communiquer avec elle par des fenêtres, portes fenêtres, vitres coulissantes, etc. La serre bioclimatique est un espace tampon occultable.

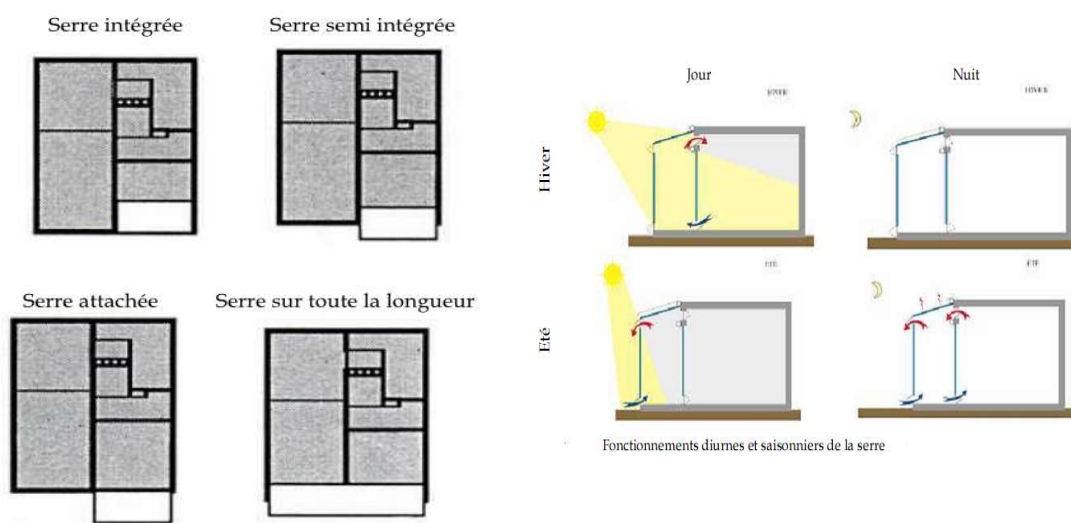


Figure 54 Fonctionnement et types de serres

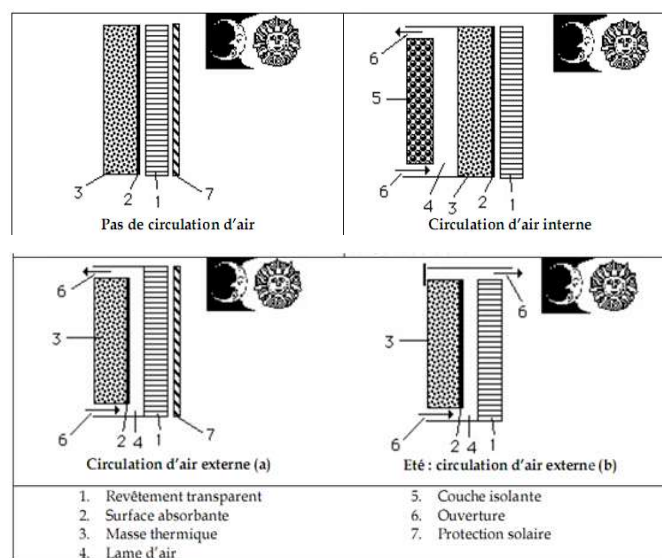
Tableau 21 Stratégies à adopter en fonction des variations saisonnières de la serre

Périodes peu ensoleillées et de température basse	Jours ensoleillés en inter-saison	Jours chauds
<p>La température intérieure de la serre deviendra plus importante que celle de l'extérieur et inférieure à celle des locaux chauffés adjacents.</p> <p>Il est donc préférable de maintenir les portes et les fenêtres des parois séparant la serre de ces locaux fermés.</p> <p>La serre aura un effet de tampon thermique et peut contribuer à la ventilation du bâtiment en réduisant la consommation énergétique par rapport à de l'air pris à l'extérieur.</p>	<p>La température intérieure de la serre peut atteindre ou dépasser la température de consigne des locaux chauffés, pouvant ainsi contribuer au chauffage du bâtiment.</p> <p>Les transferts de chaleur entre la serre et les autres pièces doivent être facilités en ouvrant les portes et fenêtres de communication entre ces deux espaces.</p>	<p>Les gains solaires importants peuvent rendre la serre inconfortable.</p> <p>Des mesures spécifiques pour contrôler les gains solaires :</p> <ul style="list-style-type: none"> - par occultation des vitres ou par leurs ouverture - par aération au moyen d'une surface d'ouvrants. <p>Des ouvertures devront se situer en partie haute.</p> <p>La serre peut également contribuer à la sur ventilation nocturne en été.</p>

1.6. Mur capteur accumulateur

Il s'agit d'un système de collecte et de stockage de la chaleur. Le dimensionnement et l'efficacité de mur capteur accumulateur dépendent de plusieurs facteurs tels que le climat, la latitude et aussi les besoins de chauffage.

mur capteur accumulateur permet, s'il est correctement dimensionné, de déphaser la restitution de la chaleur au moment où elle est nécessaire. En été, il peut également favoriser une surventilation nocturne, et un stockage plus important de la fraîcheur.

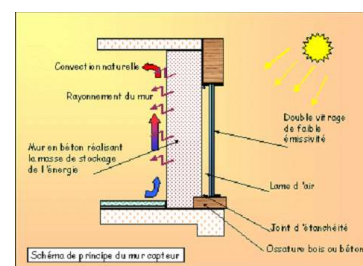


Il y'a deux types de mur capteur accumulateur :

- Le mur accumulateur
- Le mur Trombe-Michel



Le mur Trombe



Le mur accumulateur

1.7. Les protections solaires

Les apports solaires peuvent être une source de surchauffe et d'éblouissement dans les bâtiments pendant la saison chaude. Le contrôle des gains solaires peut améliorer le

confort thermique et visuel en réduisant la surchauffe et l'éblouissement, tout en assurant l'intimité.

Pour chaque orientation, la taille des ouvertures doit être définie en fonction des besoins énergétiques annuels (chauffage, refroidissement, éclairage) d'un bâtiment donné. Elle ne peut être définie de manière globale, car elle dépend de la latitude, de l'emplacement, des fonctions et de l'architecture du bâtiment.

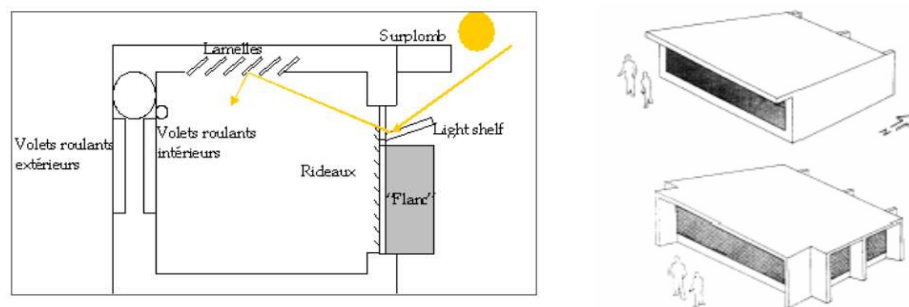


Figure 55 Les dispositifs de protection solaire

Le choix de la stratégie de protection solaire est déterminé par le site, l'emplacement du bâtiment, le type de bâtiment, l'utilisation du bâtiment, les conditions climatiques, le rayonnement solaire et les autres sources d'éclairage. Les stratégies globales de refroidissement, de chauffage, d'éclairage et de ventilation influencent également le choix des dispositifs de protection solaire

1.8. La végétation :

Des plantations sélectives peuvent protéger non seulement les ouvertures, mais aussi les murs extérieurs et les toits en réduisant les transferts par conduction et les gains par rayonnement. L'utilisation d'espèces à feuilles persistantes, quant à elle, assure une protection tout au long de l'année. La végétation peut également être utilisée pour réduire les réflexions au sol et la température de l'air grâce à l'évapotranspiration des plantes. Les espèces à feuilles persistantes peuvent également réduire les réflexions des routes, des zones pavées et des bâtiments environnants. L'ombrage par la végétation dépend fortement du type de plante utilisé, de l'espèce et de son âge.

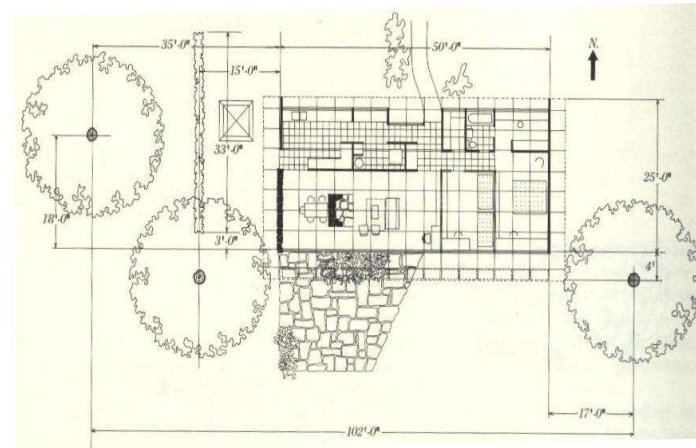


Figure 56 La stratégie d'implantation des arbres

L'effet rafraîchissant de la végétation est dû aux effets combinés d'une réduction de la température de l'air, d'une réduction du rayonnement solaire, d'une augmentation de l'humidité relative, mais aussi d'une réduction des vents et d'une modification locale de leur direction.

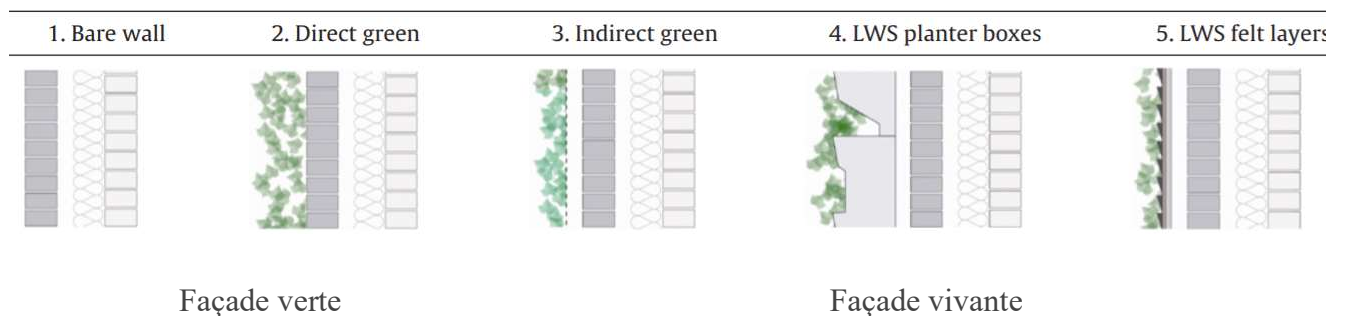


Figure 57 Le mur végétal

1.9. Toits verts

L'utilisation des toits verts peut varier de la culture de petites plantes aux installations de loisirs. Il existe deux types de toits verts : extensifs et intensifs. Les toits verts extensifs se caractérisent par un faible poids, dû à l'épaisseur réduite du sol, un faible entretien, une faible

diversité de la végétation et une accessibilité rare. Le toit vert intensif, dont le substrat est plus profond, nécessite une structure plus robuste. Il se distingue également par la grande variété de végétation qu'il peut supporter et par son accessibilité.

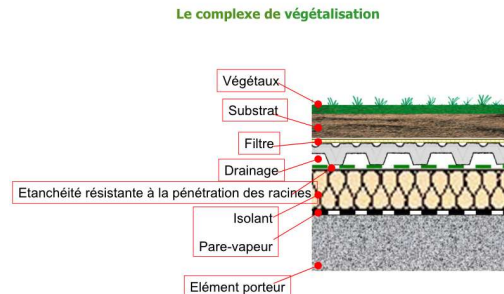


Figure 58 Le complexe de végétalisation

1.10. Les matériaux à changement de phase :

Le principe des MCP est basé sur le stockage de la chaleur latente (avec changement de phase) qui nécessite des quantités d'énergie plus importantes que le stockage de la chaleur sensible.

Par rapport au stockage de la chaleur sensible, le stockage de la chaleur latente permet, entre autres, de stocker 5 à 14 fois plus de chaleur que les matériaux de stockage de la chaleur sensible dans la plage des températures de confort thermique des bâtiments (20 à 30°C).

1.11. La tour a vent

Les tours éoliennes utilisent la force du vent pour générer un mouvement d'air à l'intérieur du bâtiment. Les entrées d'air de la tour, orientées vers le vent, captent l'air et l'entraînent vers le bas de la tour. L'air sort par un orifice situé sous le vent. Le flux est renforcé par de l'air frais pendant la nuit.

Une autre solution consiste à concevoir le faite de la tour de manière à créer une dépression qui aspirera l'air vers le haut de la cheminée. Une ouverture au vent doit être utilisée pour faciliter l'entrée d'air.

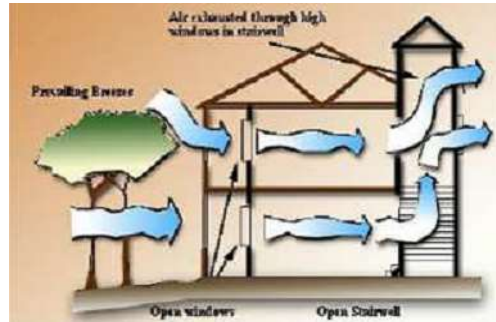


Figure 59 La tour à vent

1.12. La cheminée solaire

La cheminée solaire utilise le soleil pour chauffer ses parois internes. Les forces de poussée dues à la différence de température ainsi créée provoquent un flux ascendant le long des parois

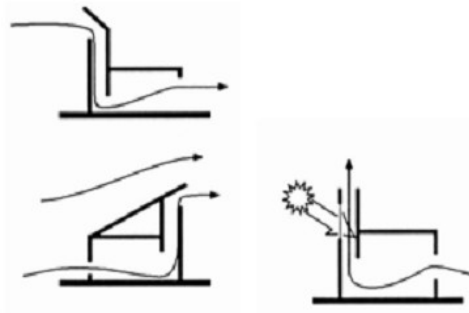


Figure 60 La cheminée solaire

1.13. Echangeur air/sol

En véhiculant l'air destiné à la ventilation en exploitant l'inertie du sol, le "puits canadien" permet de réchauffer l'air de la maison en hiver et de le rafraîchir en été (puits provençal) et ainsi de permettre l'amélioration du confort thermique sans machine thermodynamique active. Le principe de fonctionnement est présenté dans la figure suivante :

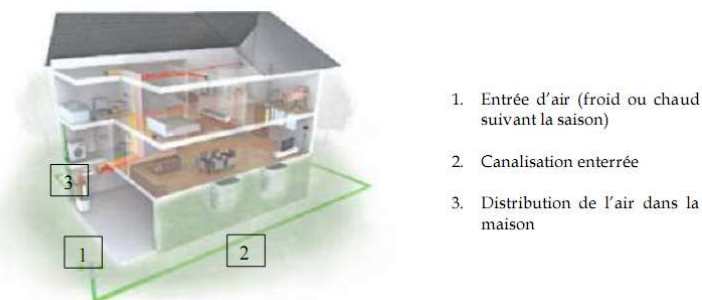


Figure 61 Principe de fonctionnement du puits canadien

1.14. Rafrâchissement passif : PATIO

Un grand nombre des maisons qui bordent le bassin méditerranéen sont organisées autour d'un patio. Les origines de cette organisation spatiale sont très anciennes. Après la maison grecque, la maison romaine comportait généralement deux cours intérieures. Mais c'est avec l'arrivée de la civilisation arabo-musulmane en Afrique du Nord, que la maison à patio a connu son apogée, répondant à la fois à des exigences sociologiques, culturelles et thermiques

1.15. Atrium

Il a été déterminé qu'en hiver, l'espace de l'atrium avec sa couverture vitrée peut modifier positivement le bilan thermique journalier en augmentant la température maximale grâce aux apports solaires, et en maintenant constamment la température minimale à une valeur supérieure à la température extérieure. Ils peuvent également contribuer de manière significative à la réduction de la charge thermique pendant l'hiver.

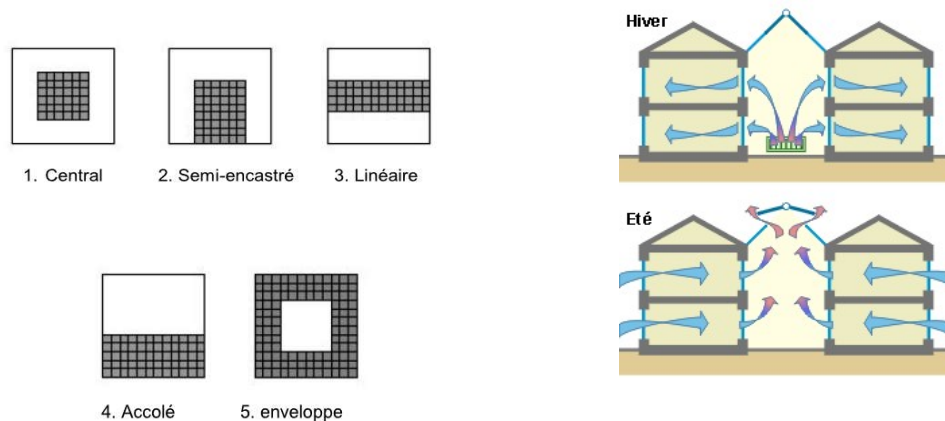


Figure 62 Fonctionnement et typologie des atriums

2. Les solutions actives

- Capteurs, contrôles et réseaux.
- La conception durable des systèmes CVC (HVAC)
 - Systèmes décentralisés
 - Systèmes centralisés

3. Les énergies renouvelables : à titre d'exemple :

- LA COGENERATION : comprend les installations de cogénération qui produisent simultanément de l'électricité, de la chaleur ou du froid (trigénération).

-
- LES RESEAUX DE CHALEUR : comprend une ou plusieurs sources de chaleur (chauffage, unité de récupération de chaleur sur incinérateur de déchets ou centrale de production électrique).
 - L'HYDROELECTRICITE : comprend des centrale de grandes tailles de puissance supérieure à 10 MW et des petites centrales hydroélectriques (PCH) de puissance inférieure à 10MW. Ces dernières fonctionnent de préférence au fil de l'eau avec un petit réservoir de régulation journalière.
 - Le solaire thermique concerne la production de l'eau sanitaire chaude et chauffage
 - Le solaire photovoltaïque : Si les centrales raccordées au réseau ne sont qu'une source de production locale d'électricité, les panneaux photovoltaïques peuvent devenir un véritable matériau de construction, module de façade en tuile solaire ou brise soleil.
 - BIOMASSE : Il existe trois sources de biomasse :
 - La forêt et le bocage (bûches, rémanents forestiers, petits bois de haie, etc.)
 - L'agriculture, (paille et tige de plantes, déchets animaux, etc.)
 - Les déchets ménagers des collectivités, les boues de station d'épuration, les graisses organiques. les bois de rebuts, etc.)
 - LA VALORISATION ENERGETIQUE DES DECHETS MENAGERS ET AGRICOLES :
 - *Incinération des déchets (combustion)*

Une tonne de déchets ménagers ayant un pouvoir calorifique inférieur (PCI) à 2000kcal/kg fournit en moyenne :

 - 1700kwh de chaleur utilisable
 - 400 à 500 kWh d'électricite
 - 100à 200 kWh et 1100 à 1500 kWh d'énergie thermique en cogénération

Une usine d'incinération doit comprendre au minimum :

 - Un four (lien de combustion de déchets)
 - Une chaudière pour récupérer l'énergie
 - Dispositif de traitement de fumée avec captage de polluants avant rejet dans l'atmosphère

- *La méthanisation des déchets fermentescibles (biogaz)*

Son coût est inférieur à celui de l'incinération, avec une installation nécessitant peu d'espace et proche de l'environnement urbain pour faciliter la distribution de la chaleur.

- L'ÉOLIEN : L'utilisation de ce type d'énergie exige :

- De connaître le potentiel éolien du site (avec l'installation d'un mât de mesure qui enregistrera le comportement du vent pendant plusieurs mois)
- De savoir comment et où se raccorder au réseau électrique et au réseau routier pour les travaux
- De prendre en compte les contraintes environnementales (impact sur l'avifaune, la ressource halieutique, le paysage, etc.) et réglementaires (présence ou proximité d'aérodrômes, de canalisation d'hydrocarbures ou de gazoducs haute pression, d'émetteur hertzien, de lignes électriques haute tension, de mines ou carrières, etc.)
- De négocier avec les propriétaires des terres pour consulter les riverains.

- LA GEOTHERMIE : L'énergie géothermique est l'énergie stockée naturellement dans le sol ou dans les nappes phréatiques qui peut être utilisée et est renouvelable. L'optimisation des installations implique :

- Une température de fonctionnement la plus basse possible, nécessitant des trous de forage moins profonds et donc moins coûteux, et convenant aux systèmes de chauffage à basse température tels que le chauffage par le sol.
- Un grand nombre d'utilisateurs, donc une forte densité de connexion au réseau, rendant l'investissement rentable.

La chaleur géothermique peut également trouver d'autres applications, par exemple dans la pisciculture, la balnéothérapie ou les cultures sous serre.

3.1. Bibliographie

Titre de l'ouvrage	Auteur	Éditeur et année d'édition
Guide de l'architecture bioclimatique	Alain Liébard, André De Herde	LEARNT, Novembre 1996.
Traité de l'architecture et de l'urbanisme bioclimatique	Alain Liébard, André De Herde	Observer, 2005
Architectures et climats : soleil et énergies naturelles dans l'habitat,	ALEXANDROFF. George et Jeanne-Marie,	Architectures Berger-Levrault 1982.
Architecture climatique. Une contribution au développement durable.	CHATELET. Alain, FERNANDEZ. Pierre et LAVIGNE. Pierre,	EDISUD, 1998
Le guide de l'énergie solaire passive	Edward Mazria	PARENTHESSES, 1981
L'architecture écologique	GAUZIN-MULLER. Dominique	le Moniteur, novembre, 2002.
L'homme, l'architecture et le climat	GIVONI. Baruch	Le moniteur, 1978
Sun, Wind & Light: Architectural Design Strategies	G.Z.Brown, M.Dekey	Wiley,2000
Archi bio	IZARD. J.L et GUYOT. A,	PARENTHESSES 1979
Architecture d'été Construire pour le confort d'été	IZARD. J L	EDISUD 1993
Environmental science handbook for architects and builder	ZOKOLAY. S.V,	LACASTRE, LONDON, NEW YORK: THE CONSTRUCTION PRESS, 1980
Concevoir des bâtiments bioclimatiques, fondements & méthodes	Pierre Fernandez, Pierre Lavigne	Édition. le Moniteur, 2009
Ambiances architecturales et urbaines	De Luc Adolphe,	Editions Parenthèses, 1998

Conclusion :

Ce module introduit le concept d'énergie et les notions qui lui sont associées. Il constitue l'introduction et sera le prérequis nécessaire au module : Atelier projet. Il permet de rafraichir les notions liées au confort et les différentes stratégies et techniques architecturales pour appréhender une vision globale de la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment. Ces cours sont appuyés par des séances de TD qui concernent l'utilisation des outils numériques afin de calculer le bilan énergétique et évaluer les conditions du confort tel que : ArchiCAD, Ecotect et Grashopper

Références des figures

- Aghdam, K., Rad, A., Shakeri, H., & Sardroud, J. (2018). Approaching Green Buildings Using Eco-Efficient Construction Materials: A Review of the state-of-the-art. *KICEM Journal of Construction Engineering and project Management*.
- Alkhatib, H., Lemarchand, P., Norton, B., & O'Sullivan, D. (2021). Deployment and control of adaptive building facades for energy generation, thermal insulation, ventilation and daylighting: A review. *Applied Thermal Engineering* .
- Baker, N., & Steemers, K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and building*.
- Iaafar, A., & Halil , Z. (2019). Kinetic façade as a tool for energy efficiency. *International Journal of Engineering Research and Reviews* .
- Imessad, K., & al. (2017). Mise en application de la nouvelle réglementation thermique algérienne du bâtiment. *Revue des Energies Renouvelable*.
- Khalil, A., Fikry, A., & Abdeaal, W. (2018). High technology or low technology for buildings envelopes in residential buildings in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*.
- LEVIN, H. (1997). Systematic evaluation and assessment of building environmental performance (SEABEP) . *Energy and building*.
- Mark DeKay, G. Z. (2013). *Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies*. Wiley.
- Mazouz, S. (2014). *Elément de conception architecturale*. OPU.
- Mazria, E. (1981). *Le quide de l'énergie solaire passif*. Prentéhe,.
- PACER. (1996). *Architecture climatique équilibrée Conception, démarche et dimensionnement*. 1996: office fédéral des questions conjoncturelles, Berne.
- PACER. (1996). *Architecture climatique équilibrée Conception, démarche et dimensionnement* .
- Panya, D., Kim, T., & Seungeon, C. (2020). A Methodology of Interactive Motion Facades Design through Parametric Strategies. *Applied science*.
- Tabeaud, M. (2000). *La climatologie*. Armand colin.
- Weissenstein, C. (2012). *Éco-profil : un out il d'assistance à l'éco-concept ion architecturale*. Thèse de doctorat, université de Lorraine.