



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE & DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MENTOURI

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

DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE ET D'URBANISME

N° d'Ordre :

Série :

MEMOIRE

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTERE

OPTION : *ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE*

Présenté par : Mr : **KABOUCHE AZOUZ**

THEME :

**ARCHITECTURE ET EFFICACITE ENERGETIQUE DES PANNEAUX
SOLAIRES**

**CAS D'EUDE : SIMULATION SOUS TRASYSL6.1
D'UN APPARTEMENT D'UNE TOUR MULTIFONCTIONNELLE A
CONSTANTINE**

Sous la direction de Dr : **ABDOU SALIHA**

Jury d'Examen :

Président : Pr : **BOURBIA FATIHA** -UMC

Examineurs : Dr : **BENRACHI BOUBA** -UMC

Pr : **BOUCHAHM YASMINA** -UMC

Rapporteur : Dr : **ABDOU SALIHA** -UMC

ANNEE : JUIN 2012

Remerciements

De nombreuses personnes m'ont apporté leurs soutient et leur appui tout au long de ce travail de thèse. Je tiens à leur remercier pour leur confiance et pour leur aide.

J'aimerais exprimer tout particulièrement ma gratitude à mon encadreur, le Dr : Abdou-Outtas Saliha, pour la confiance qui m'a accordé, pour le dévouement, sa compétence scientifique, dont elle a fait preuve en m'offrant la possibilité de mener à bien ce travail de recherche et pour ses encouragements constants tout en long de celui-ci, ses critiques constructives, pour sa droiture et sa franchise. Je remercie également Mme Bourbia, la directrice du labo ABE, pour tous ses encouragements, son bon sens de l'humour, elle est digne d'une vraie responsable.

Je remercie également Mme Bouchahm, pour ses efforts fournis au labo ABE et à la section magistère bioclimatique. Je tiens à remercier aussi, tous les autres membres du labo, mes collègues et enseignants de l'institut d'architecture. Tous ce qui m'a aidé de près ou de loin. Spécialement, mon copain de parcours Mr : Metenani Nourddine.

J'aimerais exprimer mon grand respect à l'Architecte chercheur du laboratoire ABC de Marseille: Mr Boukara abdelaziz pour son assistance et son aide surtout en ce qui concerne le logiciel TRNSYS.

Mon maitre et mon ami, l'imminent architecte Mr ; Hamou Abdelhakim dont en formant avec lui, une équipe parfaite de concepteurs, en se régaland tout le temps avec les traits du critérium. Je remercie également, Mr : Aida Med-Salah, le spécialiste du solaire, pour son aide et ses encouragements.

J'aimerai témoigner toute ma gratitude, mon respect et ma fraternité, à mon ami Mr : Thazir Rachid, dont, je voit en lui le futur grand promoteur, audacieux et plein d'idées innovantes, celui qui m'a offert cette chance de concevoir avec Mr : hamou, son projet de la tour de Filali, qui fut l'objet de ma thèse.

Enfin, je remercie de tout mon cœur, ma chère femme : Souad, pour ses encouragements constants qu'elle m'a prodiguée tout le long de ce travail.

A mes chères filles : Lina, Nouha et Hind et enfin à mon petit Boss : Taha-Anis, mes enfants ; lumières de ma vie.

SOMMAIRE

Remerciements	
Résumé	
Sommaire.....	i
Liste des figures.....	vii
Liste des tableaux.....	xii
Nomenclature.....	xiii
Glossaire.....	xv

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : BATIMENT, ENERGIE ET IMPACT CLIMATIQUE

1.1. Introduction.....	13
1.2. Aperçu sur l'énergie.....	15
1.3. Limite des ressources d'énergies disponibles.....	16
1.3.1. L'utilisation efficace des énergies.....	17
1.4.Changement climatique en Algérie.....	17
1.5.L'effet de serre.....	18
1.5.1. Impact sur l'environnement.....	20
1.6.Critères environnementaux.....	20
1.6.1. Impact du bâtiment.....	21
1.6.2. Impact de l'urbanisme.....	23
1.6.2.1.La démographie urbaine.....	23
1.6.2.2.L'écologie urbaine.....	24
1.7.Bâtiment et énergie.....	25
1.7.1. Gleneagle.....	26
1.7.2. L'Europe.....	27
1.7.3. L'Algérie.....	29
1.7.3.1.L'énergie et le bâtiment algérien.....	31
1.7.3.1.1. Evolution de la consommation énergétique.....	33
1.7.3.2.Les labels et le bâtiment algérien.....	35

1.8.Le bio climatisme et le développement durable	37
1.8.1. Définition de la démarche bioclimatique	37
1.8.2. Fondement de la démarche bioclimatique	38
1.9. L'expérience allemande	39
10. Le contexte du bâtiment algérien	40

CHAPITRE : II. LES ENERGIES RENOUVELABLES : SOLUTION INCONTOURNABLE

2.1. Introduction	48
2.2.Energies renouvelables	49
2.2.1. Energie solaire.....	51
2.2.2. La biomasse.....	52
2.2.2.1.La bioénergie	52
2.2.2.2.Le biocarburant	52
2.2.2.3.Le biogaz	53
2.2.3. L'énergie éolienne	53
2.2.3.1.La production d'énergie mécanique grâce au vent	54
2.2.3.2.La production d'électricité par aérogénérateurs	54
2.2.4. La géothermie	54
2.2.4.1.La géothermie de haute énergie et moyenne énergie.....	55
2.2.4.2.La géothermie basse énergie.....	55
2.2.4.3.La géothermie très basse énergie : les pompes à chaleur (PCH).....	56
2.3. Les énergies renouvelables en pourcentage	57
2.4. Le potentiel des énergies renouvelables en Algérie	58
2.4.1. Le potentiel éolien	60
2.4.2. Le potentiel géothermique	61
2.4.3. Le potentiel de la biomasse	62
2.4.4. Le potentiel hydroélectrique	62
2.4.5. Le potentiel solaire.....	62
2.5.Le secteur de l'électricité.....	64
2.5.1. L'énergie électrique en Algérie.....	65
2.5.1.1.Le parc existant.....	67
2.6.L'électricité photovoltaïque.....	67
2.6.1.1.Systèmes connectés au réseau	68

2.6.1.2. Hybridation des centrales diesel	69
2.6.1.3. Electrification rurale	70
2.7. Les énergies renouvelables dans le bâtiment	72
2.8. Conclusion	74

CHAPITRE III : LES PANNEAUX SOLAIRES THERMIQUES & PHOTOVOLTAÏQUES

3.1. LES PANNEAUX SOLAIRES THERMIQUES :

3.1.1. Introduction	75
3.1.2. Les Capteurs solaires	75
3.1.2.1. Les capteurs plans à circulation liquide	
3.1.2.1.1. Les capteurs plans de type vitrés	76
3.1.2.1.2. Les capteurs sans vitrage	77
3.1.2.1.3. Les capteurs à concentration	78
3.1.2.1.3.1. Systèmes à réflecteur parabolique	78
3.1.2.1.3.2. Systèmes à réflecteurs cylindro-parabolique	79
3.1.2.1.3.3. Systèmes de centrale à tour	80
3.1.2.1.3.4. Capteurs solaires fixes à concentration	81
3.1.2.1.4. Capteurs solaires intégrés	81
3.1.2.1.5. Capteurs sous vide	81
3.1.2.2. Capteurs solaires à air	82
3.1.2. Conclusion	83

3.2. LES PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAÏQUES

3.2.1. Introduction	84
3.2.2. Le fonctionnement d'une pile solaire	84
3.2.3. Conception et fonctionnement d'une pile solaire de silicium cristalline	87
3.2.4. Champs d'application	89
3.2.4.1. Systèmes autonomes	90
3.2.4.2. Système relié à un réseau	93
3.2.5. Type de cellules solaires	95
3.2.5.1. La source	96
3.2.5.2. Le silicium monocristallin	96

3.2.5.3. Le silicium poly cristallin	97
3.2.5.4. Le silicium amorphe (couches minces)	98
3.2.6. Recherches et développements	98
3.2.7. Puissances photovoltaïque installées dans le monde	101
3.2.8. L'obstacle au développement : le stockage de l'énergie.....	101
3.2.9. L'influence de l'ensoleillement	102
3.2.10. Conclusion	103

CHAPITRE VI : A PROPOS DE LA CONCEPTION DES PANNEAUX SOLAIRES

4.1.Introduction	105
4.2.La Conception	105
4.3.Histoire de la conception solaire	107
4.4.Types de conception des panneaux	108
4.4.1. Sur les toits	109
4.4.2. Sur les façades	109
4.5.Types de façades	111
4.5.1. Façades froides	111
4.5.2. Façades chaudes.....	111
4.5.3. Façades double peau	112
4.6.Façade, structures et méthodes de construction	114
4.6.1. Façades ventilées écran pare-pluie	114
4.6.2. Revêtement des façades.....	114
4.6.3. La structure des systèmes de vitrage.....	115
4.7.Les façades photovoltaïques	117
4.7.1. Montage des modules sur les façades existantes	118
4.7.2. Les Façades aux modules intégrés	119
4.8.Toits photovoltaïques	122
4.8.1. Verrière des espaces chauffés	122
4.8.2. Verrière	123
4.8.3. Lucarnes sur bâtiments classés	123
4.9. Dispositifs de protection solaire.....	124
4.10. Conclusion.....	125

CHAPITRE V : ETUDE DE CAS ET SIMULATION SOUS TRNSYS.16

5.1.	Présentation des exemples	127
5.1.1.	Introduction.....	127
5.1.2.	Etude de cas d'exemple effectué à Alger	128
5.1.2.1.	La phase expérimentale	128
5.1.2.1.1.	Période des mesures (phase n°1).....	129
5.1.2.1.2.	Période des mesures (phase n°2).....	130
5.1.2.2.	commentaires	132
5.1.3.	Etude de cas d'exemple effectué à Batna	132
5.1.3.1.	La consommation énergétique du bâtiment.....	133
5.1.3.2.	Le bilan énergétique mensuel.....	135
5.1.3.3.	Commentaires	137
5.2.	cas d'étude : tour multifonctionnelle de r+30. Constantine. simulation de l'appartement du 25° étage.....	139
5.2.1.	Présentation générale	139
5.2.2.	Situation.....	140
5.2.3.	Composition	141
5.2.3.1.	Définition des espaces	141
5.2.4.	Aspect architectural.....	142
5.2.5.	Aspect structurel.....	142
5.2.6.	Programme	143
5.2.7.	Les plans graphiques d'ensemble.....	144
5.3.	La modélisation du logement.....	145
5.3.1.	Objectif de la simulation	145
5.3.2.	Aperçu sur TRNSYS.....	145
5.3.3.	Définition des zones	145
5.3.4.	Composition des parois	148
5.3.5.	Simulation du premier cas.....	148
5.3.5.1.	Demande d'énergie annuelle (cas n°01).....	149
5.3.5.2.	Résultats et commentaires	150
5.3.6.	Simulation du deuxième cas.....	150
5.3.6.1.	Demande d'énergie annuelle (cas n°02).....	150
5.3.6.2.	Façade vitrée : avantages et inconvénients.....	151

5.3.6.3. Commentaires	152
5.3.7. Simulation du troisième cas.....	153
5.3.7.1. Type de panneaux photovoltaïque dans TRNSYS	154
5.3.7.1.1. Type 94.....	154
5.3.7.1.2. Type 194.....	154
5.3.8. La performance des PV inclinés	156
5.3.9. Mode de fonctionnement du système connecté.....	156
5.3.9.1.Charge-Réseau électrique	156
5.3.10. Normalisation.....	158
5.3.11. Comparaison du rendement des deux conceptions	159
5.3.12. Schéma d'assemblage des panneaux solaires	161
5.3.13. Les conditions de simulation.....	162
5.3.14. L'irradiation solaire reçue sur les panneaux-orientation s-o.....	162
5.3.15. L'irradiation solaire reçue sur les panneaux-orientation n-o.....	162
5.3.16. La puissance générée par les PV.....	164
5.3.16.1. Orientation s-o.....	164
5.3.16.2. Orientation n-o	164
5.4. Calcul de la consommation de l'électricité spécifique	166
5.5. analyse de l'efficacité du panneau pendant une journée	168
5.5.1. Journée d'été	168
5.5.2. Journée d'hiver	169
5.5.3. Résultat final	169
5.6. Sobriété énergétique.....	170
5.7. Conclusion.....	170
CONCLUSION GENERALE	172
Bibliographie	177
Annexe	180
Résumé en anglais	
Résumé en arabe	

LISTE DES FIGURES

N° Figure	Désignation	Page
1.1	Hokusai (1760-1849), estampe tirée de la série des trente-six 12 vues du Mont Fuji.	13
1.2	Importance relative en pourcentage des énergies primaires dans le monde.	15
1.3	Le principe du gaz à effet de serre	18
1.4	Cycle de vie d'un bâtiment	21
1.5	Répartition approximative des émissions de gaz à effet de serre hors ozone dans le monde par secteur, pour l'année 2000	26
1.6	Emission des gaz entre le résidentiel et le tertiaire	29
1.7	La consommation finale par secteur d'activité en Algérie	32
1.8	La répartition de la consommation finale par type d'énergie, année 2005.	32
1.9	Le ratio de consommation par produit	34
1.10	historique de consommation électrique 1963-2007	35
1.11	Réduction de la consommation énergétique dans l'habitat en Allemagne	39
2.1	Les parcours de conversion pour les énergies renouvelables	48
2.2	Les différentes filières des énergies renouvelables.	50
2.3	Vue terre-soleil	51
2.4	Différents types de biomasse	53
2.5	Fonctionnement d'une éolienne.	54
2.6	Centrale hydraulique,	57
2.7	Structure de la production électrique d'origine renouvelable dans le monde(2008).	58
2.8	Part des énergies fossiles et renouvelables dans la production d'électricité dans les pays arabes nord-africains	59
2.9	carte du relief de l'Algérie	60
2.10	Carte géothermique de l'Algérie	61
2.11	Irradiation globale journalière reçue sur plan horizontale-juillet	63
2.12	Irradiation globale journalière reçue sur plan horizontale	64

	au mois de décembre	
2.13	Contribution dans la génération de l'électricité	65
2.14	Structure du parc de production 2007	67
2.15	Carte des zones d'application du photovoltaïque	68
2.16	Puissance Photovoltaïque Annuelle	69
2.17	Puissance Photovoltaïque Cumulée	69
2.18	Puissance Photovoltaïque Annuelle	70
2.19	Puissance Photovoltaïque Cumulée	70
2.20	Le marché annuel	71
2.21	puissancePVcumuléeàl'horizon2017	71
2.22	«Prévisions de la demande d'énergie électrique Objectifs période « 2007– 2017» SONELGAZ,	71
2.23	la tour vivante de Rennes-France	72
2.24	la tour Dragonfly à New-York	73
3.1	plan et coupe sur capteur vitré	76
3.2	Capteur plan non vitré	78
3.3	Installation de production d'eau chaude sanitaire	78
3.4	Un capteur à réflecteur parabolique avec un miroir et des réflecteurs du type miroir avec un absorbeur	79
3.5	Systèmes à réflecteur cylindré-parabolique	80
3.6	Système de centrale à tour	81
3.7	Capteurs sous vide.	82
3.8	Structure cristalline de silicium et de conductivité intrinsèque	85
3.9	Conduction extrinsèque en silicium de n et p-enduit	85
3.10	Formation d'une région de charges Spatiales à la jonction de PN par la diffusion des électrons	86
3.11	La conception et le fonctionnement d'une pile solaire	88
3.12	Type des systèmes PV	90
3.13	Mixeur de lait	91
3.14	Lumière de jardin	91
3.15	Chargeur Solaire	91
3.16	Voiture Solaire	92

3.17	Stand mobile de glace avec Système solaire de congélateur	92
3.18	Bateau solaire	92
3.19	Schéma d'un système relié à un réseau de PV	93
3.20	Cube relié à un réseau de PV au centre de la Science de découverte dans Santa Ana, la Californie	94
3.21	Ferme de poulets alimentée en PV	94
3.22	Types de piles solaires	95
3.23	Cellule monocristalline ronde	96
3.24	Cellule solaire monocristalline carrée	96
3.25	Cellule solaire monocristalline demi-ronde	96
3.26	Gaufrette poly cristalline sans enduit anti-réfléchissant	98
3.27	Gaufrette poly cristalline avec enduit anti-réfléchissant	98
3.28	Cellule poly cristalline sans lignes anti-réfléchissantes et de contact de grille	98
3.29	Image d'un système de VLS-PV dans une zone désertique	101
4.1	Le Word Trade centre à Bahreïn.	106
4.2	La façade avec de volets coulissants motorisés	107
4.3	Les différentes formes d'intégration du photovoltaïque au cadre bâti.	109
4.4	Façade froide	111
4.5	façade chaude opaque	112
4.6	façade chaude transparente	112
4.7	bloc Office	113
4.8	Reconditionnement d'une façade en appliquant une double peau.	113
4.9	Structure d'une façade écran pare-pluie ventilé.	114
4.10	la société Ostra transport public à Hanovre, Allemagne	115
4.11	Atrium de l'Düsseldorf, Allemagne	115
4.12	Atrium de l'Office allemand des Affaires étrangères à Berlin:	116
4.13	Façade ventilée, écran pare-pluie	117
4.14	La tour CIS. Manchester, UK	118
4.15	Shell usine solaire de Gelsenkirchen, en Allemagne	119
4.16	Centre de la technologie future à Herten, Allemagne	119

4.17	Stawag entreprise de services publics Aachen, Allemagne:	120
4.18	Siège du ministère de l'Économie, Berlin	120
4.19	Rembrandt Collège à Veenendaal, Pays-Bas	121
4.20	Missawa, immeuble de bureaux Kinki dans la ville de Kobe, Japon;	121
4.21	Tour d'escalier de l'immeuble Céramique à Maastricht, aux Pays-Bas	121
4.22	Baptistère Epiphany à Hanovre, en Allemagne	122
4.23	jardin d'hiver.	122
4.24	Bonn-Rhein-Sieg Université des Sciences Appliquées, St-Augustin, Allemagne	123
4.25	Station Lehrter Bahnhof à Berlin, Allemagne	123
4.26	Aréna à Berlin, Allemagne-toiture en dents de scie - chaud; modules verre isolant - Saint-Gobain	124
4.27	Clinique et centre de recherche de la biologie moléculaire, Université d'Erlangen, en Allemagne	125
5.1	Vue en plan de l'appartement étudié (exemple d'Alger)	128
5.2	Le taux de consommation électrique calculée par poste	129
5.3	Consommation électrique de la période : 02/02/04 au 04/04/04	129
5.4	Comparaison des consommations électriques poste par poste	131
5.5	Consommation globale cumulée d'électricité	131
5.6	Vue en plan du RDC avec l'espace serre, orienté Sud	133
5.7	Bilan de consommation d'électricité	134
5.8	Bilan de consommation du Gaz	134
5.9	Bilan des besoins mensuels	135
5.10	Répartition par poste de consommation d'énergie absorbée	137
5.11	Vue Sud-ouest du projet	139
5.12	Plan de situation du projet	141
5.13	Vue en plan d'un palier	144
5.14	Vue en plan de l'appartement, orienté sud-ouest et nord-ouest	147
5.15	Demande d'énergie mensuelle du cas n°1	149
5.16	Demande d'énergie mensuelle du cas n°2	151

5.17	Comparaison de la demande énergétique des deux cas de figure	153
5.18	Schéma du circuit électrique du type 94.	155
5.19	Schéma du circuit électrique du type 194	155
5.20	Structure générale d'un système PV couplé au réseau électrique	157
5.21	Schéma de principe du raccordement au réseau.	158
5.22	Conception des panneaux à 36°, sud-ouest et nord-ouest.	159
5.23	Panneaux solaires intégrés aux façades Sud-ouest et Nord-ouest	160
5.24	Comparaison du rendement des panneaux avec des inclinaisons 90° et 36°	160
5.25	Coupe AA sur les derniers étages	161
5.26	Assemblage des capteurs PV, dans la simulation studio	161
5.27	Comparaison des quantités solaires reçues sur les deux orientations	164
5.28	Comparaison de la puissance générée par les deux orientations	165
5.29	la consommation énergétique standard des appareils électriques	167

LISTE DES TABLEAUX

N° du tableau	Désignation	Page
1.1	La répartition de la consommation finale par type d'énergie	33
2.1	Le potentiel solaire en Algérie	63
2.2	Evolution de la population, la puissance installée et production d'énergie en Algérie	66
5.1	Les valeurs de puissance, en veille et enclenchées par poste de consommation	136
5.2	Les zones thermiques de l'appartement étudié	148
5.3	La demande énergétique annuelle du premier cas	149
5.4	L'écart entre le chauffage et la climatisation du premier cas	149
5.5	La demande énergétique du deuxième cas	150
5.6	L'écart entre le chauffage et la climatisation du deuxième cas	150
5.7	La comparaison de la demande mensuelle des deux cas	152
5.8	L'évolution du rendement des panneaux solaires selon l'orientation et l'inclinaison	156
5.9	La quantité des rayons solaires reçue par les panneaux, orientation Sud-ouest.	162
5.10	La quantité des rayons solaires reçue par les panneaux, orientation Nord-ouest	163
5.11	La comparaison entre le flux reçu et la puissance produite, orientation Sud-ouest	164
5.12	La comparaison entre le flux reçu et la puissance produite, orientation Nord-ouest	165
5.13	La consommation électrique spécifique de l'appartement type	166
5.14	La consommation des appareils électriques	167

NOMENCLATURE

A.I.E	Agence Internationale de l'Energie.
G.E.S	Gaz à effet de serre.
G.I.E.C	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.
P.E.B	Performance Énergétique des bâtiments.
A.P.R.U.E	Agence nationale pour la Promotion et la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie.
C.D.E.R	Centre de Développement des Energies Renouvelable
C.S.T.B	Centre Scientifique et Technique des Bâtiments.
C.N.E.R.I.B	Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment
O.N.M	Office national de météorologie
I.H.F.R	Institut hydrométéorologique de formation et de la recherche
V.M.C	Ventilation Mécanique Contrôlée.
A.D.E.M.E	Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
H.Q.E	Haute Qualité Environnementale.
T.E.P	Tonne Equivalent Pétrole.
WC	Watt-Crête.

PAC	Pompe à chaleur.
PEB	Performance énergétique des bâtiments
COP	Coefficient de performance
ZEH	Zero energy homes
ONM	Office National de Métrologie
NEAL	New Energy Algeria
HCDS	Haut Commissariat au développement de la Steppe
MEM	Ministère de L'énergie et des Mines
OMM	Organisation météorologique mondiale
EVA	Ethyl Vinyl Acetate
PNUE	Programme des nations unies pour l'environnement
TEDLAR	Polyvinyl Fluoride (PVF)

GLOSSAIRE

Bioclimatique : architecture prenant en compte le climat dans lequel l'édifice est construit pour tirer partie des apports solaires passifs et de la luminosité naturelle permettant de réaliser des économies d'énergie.

Coefficient de conductivité thermique : coefficient qui caractérise la capacité d'un matériau à conduire plus au moins la chaleur. Plus le coefficient est bas, plus le matériau est isolant. Désigne par la lettre λ , il s'exprime en W/m.°C ou en W/m.K.

Confort d'été : aptitude de la maison à conserver la fraîcheur en été.

Confort d'hiver : aptitude de la maison à conserver la chaleur en hiver.

Convection : transfert de chaleur par mouvement d'air.

Inertie thermique : potentiel de stockage de la chaleur ou de la fraîcheur d'un bâtiment ou d'un local. Les constructions à forte inertie conservent une température stable et se réchauffent ou se refroidissent très lentement alors que celles à faible inertie suivent sans amortissement ni retard les fluctuations de température. On parle d'inertie de transmission pour les parois soumises à l'exposition solaire et d'inertie d'absorption pour les parois internes ou périphériques.

Microcentrale : installation hydroélectrique transformant l'énergie hydraulique en énergie électrique dont la puissance n'excède pas 12 MW.

Pont thermique : rupture de continuité dans l'étanchéité d'une paroi entraînant des déperditions thermiques.

Resistance thermique : capacité d'un produit à conserver la chaleur. Elle est fonction de son coefficient de conductivité thermique et de son épaisseur. Plus elle est élevée, plus le produit est isolant. Désignée par la lettre R, elle s'exprime en m². °C/W ou en m².K/W.

Systèmes actifs : technologies (panneaux solaires par exemple) permettant d'utiliser les apports solaires pour chauffer l'eau chaude sanitaire ou la maison elle-même.

Systèmes passifs : équipements permettant de profiter naturellement des apports solaires telles que les fenêtres et les baies vitrées qui réchauffent l'environnement intérieur. Aucun autre fluide que l'air n'est utilisé pour tirer partie de la chaleur récupérée grâce aux vitrages.

Titre Hydrotimétrique (TH) : le TH sert à mesurer la dureté de l'eau exprimée en degrés français (°f). Elle est fonction de la concentration en ions magnésium et calcium. À 15°f, l'eau est moyennement dure, en dessous de cette valeur on parle d'eau douce et au dessus d'eau dure.

Watt crête ou **kWc** Kilowatt-crête: puissance normalisée des cellules solaires dans les conditions de test standard STC (25° C, ensoleillement 1000 W/m², spectre AM 1.5), correspondant à la puissance maximale fournie par un panneau solaire, à midi lors d'une journée très ensoleillée.

Zone tampon : zone de transition entre le milieu intérieur et l'environnement extérieur permettant de limiter les déperditions thermiques.

INTRODUCTION GENERALE:

« L'architecture est fatalement climatique, il n'y a architecture que lorsqu'il y a contraintes.

Le climat en est une à laquelle on n'échappe pas ».¹

Aujourd'hui, la thématique de l'efficacité énergétique, notamment dans le secteur du bâtiment, dispose d'une réelle opportunité de développement dans le monde.

Le bâtiment devient soudainement un enjeu central de deux défis planétaires majeurs: le changement climatique et l'approvisionnement énergétique. Le secteur du bâtiment en Algérie (le résidentiel et le tertiaire) consomme plus de 40% du total de l'énergie, contre 46%² en Europe, et de 19% des rejets de CO₂ dans l'atmosphère, contre 25% ailleurs. Ce secteur représente un potentiel énorme d'efficacité énergétique et de réduction des gaz à effet de serres. Pour ce bâtiment (secteur résidentiel et tertiaire), certes, le concepteur devra continuer à assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, mais devra également faire en sorte que l'impact du bâtiment sur l'environnement soit minimisé.

A la suite du mouvement des auto-constructeurs américains des années soixante qui, dans la mouvance des mouvements hippies et écologistes, a posé les jalons d'une réflexion dans ce sens, l'essor de l'architecture « solaire » puis « bioclimatique » permettait à la fois de théoriser et concrétiser cette réflexion dans la production normale du cadre bâti. C'est ainsi que, revenant à son sens premier (le terme bioclimatique fait référence à une partie de l'écologie qui étudie plus particulièrement les relations entre les êtres vivants et le climat), nous pouvons définir l'architecture bioclimatique comme suit : « Cette expression vise principalement l'amélioration du confort qu'un espace bâti peut induire de manière naturelle, c'est-à-dire en minimisant le recours aux énergies non renouvelables, les effets pervers sur le milieu naturel et les coûts d'investissement et de fonctionnement. L'intérêt du bioclimatique va donc du plaisir ou d'utiliser un espace à l'économie de la construction, ce qui en fait un élément fondamental de l'art de l'architecte. »³

L'évolution des idées et du concept de développement durable durant les années quatre-vingt conduisent à une notion encore plus globalisante faisant intervenir en outre les

¹ Pierre Lavigne, « Concevoir des bâtiments bioclimatiques », le moniteur, 2009.

² Centre d'analyse stratégique Français « Choix Energétique dans l'immobilier résidentiel » n°172, Avril 2010.

³ L. Freris et D. Infield, « les énergies renouvelables pour la production d'électricité », DUNOD, 2009.

liens avec la santé et la gestion des différentes étapes de la vie du bâtiment (du commencement du chantier, jusqu'à la déconstruction). On parle alors de « bâtiment à haute qualité environnementale ». Dans ce contexte élargi, les aspects énergétiques plus spécifiquement liés à « l'architecture bioclimatique » restent centraux.

Il est également légitime de s'interroger aujourd'hui sur les résultats en termes de production architecturale et urbaine. En effet, les limites avérées des modes actuels de développement (crise écologique, financière, économique, sociétale...) doivent nous inciter à reconsidérer en profondeur les objectifs et par conséquent les modèles de production du cadre bâti. Il existe vraisemblablement pour œuvrer dans ce sens des voies innovantes, respectueuses du patrimoine mais infléchiront sûrement les références aux typologies existantes.

Le parc nouveau du logement Algérien compte plus de 7 millions de logements au 1^{er} janvier 2007⁴, ce nombre important qui continue à augmenter, ne répond à aucune recommandation bioclimatique, et ne respecte plus les réglementations thermiques. Dans les années 1990, l'Algérie développe plusieurs dispositifs réglementaires quant à l'efficacité énergétique dans l'habitat. Suite à une réflexion sur la consommation active et passive des logements neufs initiée en 1995, le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme met en place des Documents techniques réglementaires (DTR) en 1997. Ceux-ci déterminent notamment les valeurs de référence relatives aux déperditions et aux apports calorifiques concernant les bâtiments neufs à usage d'habitation et tertiaire, les méthodes de calcul des déperditions et des apports calorifiques, les valeurs limites pour le climat intérieur des locaux et les zonages climatiques. Ces DTR ont par la suite été approuvés par le ministère de l'Énergie et des Mines et ont fait l'objet, en 2000, d'un décret portant sur la réglementation thermique dans les bâtiments neufs en application à la loi relative à la maîtrise de l'énergie adoptée le 28 juillet 1999. L'application de la réglementation thermique devait prendre effet dès 2005 et devait permettre de réduire de 30 % la consommation d'énergie des bâtiments neufs, hors poste climatisation. Outre les normes et exigences d'efficacité énergétique portant sur l'isolation thermique dans les bâtiments neufs, la loi sur la maîtrise de l'énergie introduit des normes de performance énergétique des appareils fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers, mais aussi le contrôle d'efficacité énergétique et l'audit énergétique obligatoire et périodique pour les bâtiments du secteur tertiaire. Cette loi prévoit également le financement des actions relatives à la maîtrise de l'énergie par la mise en place d'un Fonds national, qui permettra

⁴ Source : ONS ; office national des statistiques.

notamment de mettre en œuvre les différentes mesures incitatives financières prévues par cette même loi.

Les perspectives de développement de ce parc (un million de logements dans le plan quinquennal 2010-2014) conduiront à un accroissement exponentiel de cette consommation énergétique. Cette augmentation est due à la forte demande de logements ces dernières années, et à la recherche du confort à travers l'utilisation de nouveaux moyens (électroménagers, climatisation, éclairage, traitement d'air et d'eau, cuisson etc..). Cependant, la demande sans arrêt croissante en énergie qui accompagne le développement technique et le gaspillage des ressources disponibles ont longtemps été négligés. On estime par exemple, qu'actuellement plus de 2 milliards de personnes ne sont pas reliées à un réseau électrique et ne le seront pas dans un avenir proche.

L'émergence d'une conscience écologique de l'opinion ne s'est faite qu'à petits pas et sous la pression de l'urgence; elle est lisible au travers d'événements comme la Charte d'Athènes, la crise pétrolière, la catastrophe de Tchernobyl, la conférence de Rio ou la ratification du protocole de Kyoto, Copenhague, et récemment la catastrophe du Japon. A cet effet, plusieurs pays dans le monde se sont précipités pour remédier à ce mal, en obligeant l'utilisation d'étiquettes d'énergie du bâtiment et les intégrer au diagnostic de performance énergétique, voire même exiger lors de la demande du permis de construire, leur objectif est de passer à la réalisation des bâtiments à basse consommation, c'est-à-dire 80 ou 50kwh/m²/an, au lieu de 300kwh/m²/an aujourd'hui⁵, et arriver à long termes, à des bâtiments à énergie zéro ou à énergie positive. Par contre, en Algérie, on peut affirmer qu'il n'existe, à ce jour aucune réglementation technique –voire négligeable-destinée à la réalisation des bâtiments bioclimatiques⁶, mais il faut souligner, qu'il y avait des tentatives timides de vouloir réaliser des logements-HPE-haute performances énergétique⁷ à travers plusieurs wilayas. Devant ce vide de la réglementation, et du fait de la crise de logement, on a assisté au cours de la décennie 80-90, à une importation massive et irréfléchie de modèles industrialisés à forte consommation énergétique et insuffisamment maîtrisés par notre pays.

A notre avis, la réalisation de logements efficaces énergétiquement s'impose en Algérie, comme une nécessité impérieuse pour la maîtrise des consommations énergétiques et penser dès aujourd'hui à l'après pétrole.

⁵ Source : www.Effinergie.org, consulté en juin 2010.

⁶ N.ouled- henia, « Recommandations architecturales » ENAG, 1993.

⁷ Programme de 600 logements, lancés par l'OPGI, à travers onze wilayas représentant les trois zones climatiques : Nord, Hauts Plateaux et Sud, en plus de ce projet, le programme quinquennal 2010-2014 a inscrit la construction de 3000 nouveaux logements HPE et la rénovation de 4000 logements existants. Source Aprue.

Pour faire face à ces problèmes à venir, il convient donc de mettre en œuvre plusieurs politiques : économiser l'énergie, augmenter l'efficacité énergétique, promouvoir et développer rapidement des énergies de remplacement, communément appelées les « nouvelles énergies renouvelables », dont le **solaire photovoltaïque**, telle est la démarche de l'association française négaWatt⁸ : « donner la priorité à la réduction à la source de nos besoins en énergie tout en conservant notre qualité de vie. Mieux consommer au lieu de produire plus ». Cette démarche négaWatt s'appuie sur « la sobriété énergétique dans nos usages individuels et collectifs de l'énergie, l'efficacité énergétique dans nos équipements et moyens de production de tous produits et matériaux de réalisation du bâtiment, et à la fin, un recours affirmé mais maîtrisé aux énergies renouvelables ».

A cet effet, ce travail aide à éclaircir la relation qui devrait exister entre les différents intervenants dans le bâtiment à l'amont de l'étude, car c'est dans la phase esquisse que tout se décidera, ces concepteurs doivent obligatoirement travailler en étroite collaboration avec les ingénieurs spécialisés.

Les mutations dans la conception et la construction de ces bâtiments sont profondes, elles nécessitent une nouvelle approche de la maîtrise d'œuvre qui devra travailler forcément en ingénierie concourante, c'est-à-dire décloisonnement des architectes concepteurs et bureaux d'études spécialisés. L'architecture et l'ingénierie de l'environnement continuent à se rapprocher, l'une de l'autre dans les différentes étapes du bâtiment, notamment en ce qui concerne l'utilisation de l'énergie photovoltaïque, pas seulement pour les maisons individuelles, mais aussi pour les bâtiments denses des villes. Pour bien comprendre ce rapprochement, citons à titre d'exemple, l'étroite liaison lors de la conception d'une habitation utilisant des panneaux solaires, l'architecte doit choisir, s'il opte pour le type autonome, donc il doit aménager un espace architecturale spécifique destiné aux batteries de stockage d'énergie, c-à-dire trouver une situation privilégiée à cet espace ! Et si c'est pour le type connecté au réseau, c'est une autre conception, etc.

Les utopies et les expérimentations sont des moteurs importants pour le développement de nos technologies, les visions de voyages dans l'espace de Jules Verne sont entre-temps devenues réalité, tout comme celles d'Eugl'me Henard en matière d'urbanisme. L'idée de bâtiments énergétiquement autonomes ou à basse consommation réapparaît de façon récurrente depuis quelque temps. Au fil des ans, des principes de conception ont été définis

⁸ www.nagawatt.org, consulté en juillet 2010.

pour prendre en compte l'utilisation passive de l'énergie solaire, et petit à petit, ces principes sont développés en utilisant les produits de la technologie comme apports actifs. A cet effet, au regard de la situation écologique et des possibilités constructives et techniques, une architecture énergétiquement efficace est devenue une obligation éthique chez les concepteurs. Aujourd'hui, les architectes, en quête de nouvelles dynamiques de projet, semblent s'inscrire plus volontiers dans ce type d'approche attentive à la qualité de l'environnement.

Des architectes renommés en ont fait le cœur de leurs œuvres, d'où un effet amplificateur évident ; Buckminster Fuller, Norman Foster, Richard Rogers et Renzo Piano doivent être cités ici comme référence. Ce concept d'architecture a enfin pu trouver sa place en architecture et perdre son caractère « marginal ».

Les études et les recherches doivent à notre sens, se pencher en préférence, beaucoup plus sur le logement dense des centres-villes ou des villes tout simplement, car on est en train de vivre une croissance importante des gratte-ciel pour des immeubles d'habitation ou d'équipements dans les villes urbaines. L'intensification urbaine, via la densification verticale des bâtiments, est l'une des données de base du siècle naissant. Certaines de nos villes Algériennes (Alger, Oran, Annaba et Constantine..) ont commencé à voir ce type de bâtiments résidentiels et tertiaires. Il serait très important donc, de penser à l'utilisation de l'énergie solaire grâce à des stratégies de conceptions architecturales. Cela devrait conduire à la mise en place de réglementations contraignantes sur les deux niveaux de conception urbaine et du bâtiment.

Notre pays dispose de par sa situation géographique d'un des plus grands gisements solaire au monde, Ce gisement dépasse les 5 milliards de GWh / an⁹. Il est donc préférable et urgent pour l'Algérie de s'inscrire dans une nouvelle vision, basée davantage sur la rationalisation dans la consommation énergétique dans cet important secteur. Car le but final, est de passer d'un logement « énergivore » à un logement de « haute qualité environnementale » et de haute efficacité énergétique », grâce à une éco-conception et à l'introduction des principes bioclimatiques, d'efficacité énergétique et d'intégration de l'énergie solaire.

L'une des plus belles inventions du siècle dernier est presque passée inaperçue : il s'agit de la conversion directe de l'énergie lumineuse en électricité. Par l'étendue de ses

⁹ Source : <http://www.Sonelgaz.dz>, consulté en juillet 2010.

applications et diversité des services rendus par de petites sources autonomes d'électricité, le module solaire photovoltaïque n'a pas fini de nous étonner.

Bien qu'universellement apprécié par ses qualités écologiques, l'électricité solaire et ses véritables possibilités restent encore aujourd'hui relativement mal connues du grand public. Il en résulte souvent un décalage entre l'ambition des attentes et la taille des réalisations.

De plus, l'électricité solaire n'étant pas une discipline en soi¹⁰, elle a longtemps été boudée pour ne pas dire méprisée par les chercheurs scientifiques, l'académie et le corps enseignant, et franchement ignorée par le milieu industriels et les établissements économiques.

A cet effet, ce travail, est l'une des tentatives à la conception d'un nouveau bâtiment résidentiel en utilisant des panneaux solaires photovoltaïques.

L'objectif étant d'optimiser le confort thermique, hiver comme été, et de réduire les besoins en chauffage et climatisation, mais le but essentiel est de réduire la consommation énergétique de l'électricité spécifique, d'où l'intitulé « Architecture et Efficacité énergétique des panneaux solaires » et qui s'articule autour de 3 axes :

- Architecture : Concevoir une nouvelle architecture qui intègre mieux le bâtiment dans son environnement, aux avantages multiples, permettant un confort optimal.
- Efficacité énergétique : Faire du bâtiment une petite unité d'économie d'énergie et de production énergétique à l'aide des panneaux solaires, et maîtriser sa consommation en optimisant le fonctionnement des équipements domestiques (lampes à basse consommation, etc....)
- Introduire la domotique dans nos maisons pour mieux gérer nos besoins en énergie.

L'intégration des systèmes photovoltaïques au bâtiment est devenue une thématique forte, avec deux dimensions connexes, que sont le raccordement au réseau et les contraintes liées à l'intégration à l'environnement urbain. A notre avis le développement de cette technologie est indissociable de son intégration à l'enveloppe du bâtiment car le Photovoltaïque peut être un véritable matériau de construction, esthétique et de haute technologie, et permet l'intégration d'un moyen de production d'électricité sur le lieu même de sa consommation. Ce type de systèmes photovoltaïques offre, de plus, une opportunité unique de produire de l'électricité « Verte » dans un environnement urbain, sans occuper de surfaces à haute valeur foncière.

¹⁰ A.Ricaud, « l'électricité photovoltaïque », document de synthèse, 2009.

Enfin, défendre notre environnement, c'est d'abord respecter notre terre, trop longtemps malmenée par des comportements et des pratiques irresponsables, c'est également offrir aux habitants de notre pays, un cadre de vie agréable et propice à leur bien-être, et c'est enfin, garantir à nos enfants un avenir où ils pourront s'épanouir, sans avoir à payer les erreurs et les excès du passé.

Le cas d'étude proposée ; est une tour multifonctionnelle de trente étages¹¹, avec des conceptions variables, dont la façade Sud-ouest et Nord-ouest sont constituée avec des panneaux solaires photovoltaïques, et qui sera réalisée à la cité « kadi-Boubaker ex-Filali » à coté de la somptueuse université islamique « Emir-Abdelkader ».

Problématique :

Les mutations dans la conception et la construction de ces bâtiments sont profondes, elles nécessitent une nouvelle approche de la maîtrise d'œuvre qui devra travailler forcément en ingénierie concourante, et l'utilisation de nouvelles techniques de construction nécessitant un soin de mise en œuvre, entre autre tous les détails doivent être étudiés en amont de l'étude d'œuvre pour palier à tous les problèmes techniques et financiers. Aller vers une architecture recherchée, avec une technologie poussée, pour arriver à un bâtiment à basse consommation énergétique à travers une bonne conception intégrant des apports solaires actifs, rendant le logement autonome en matière d'électricité spécifique, sont la réponse à ce questionnement.

Autre motif de la problématique, est l'alimentation des immeubles à grande hauteur, classés IGH, en gaz naturel, la loi algérienne, notamment le décret exécutif : 35/76 du 20-02-1976 et l'arrêté du 18-10-1977, dans ses articles 37 et 38, relatifs au règlement de sécurité pour la construction des immeubles de grandes hauteurs, interdisent l'utilisation des combustibles, ainsi que le stockage et l'utilisation de tous combustibles liquides, solides et gazeux, y compris les hydrocarbures liquéfiés.

Dans cette ligne de mire : la politique énergétique du pays, récemment adoptée, qui a pour objectif, l'émergence des énergies renouvelables à hauteur de 5%, dont la majeure partie sera destinée à l'électricité solaire, de type réseau connecté.

Le domaine du bâtiment, très énergétivore, apparaît au premier plan de cette tendance. Bien que les consommations traditionnelles du bâtiment, en chauffage, soient en diminutions constantes depuis le premier choc pétrolier, d'autres postes de consommations dus aux besoins de confort toujours grandissant des populations, tels que les climatisations, se développent et masquent les effets de diminution du chauffage. Ainsi, des progrès très

¹¹ Etude réalisée au profit de l'entreprise « Pro-Thazir », par les architectes H.Hamou et A.Kabouche.

importants peuvent encore être réalisés dans le domaine du bâtiment et de nombreuses études sont en cours afin de faire du domaine du bâtiment un exemple énergétique

Es ce que réellement les panneaux solaires peuvent être une réponse aux besoins énergétiques du bâtiment et réduire les gaz émis dans l'environnement ? Peuvent-ils être des éléments principaux dans le bilan énergétique ? dans l'autre cas, les architectes contemporains peuvent prendre ces éléments architecturaux en considération dans leurs conceptions ?

Hypothèses :

Certains concepteurs croient que « l'architecture solaire » consiste à juxtaposer à des constructions ordinaires une installation de chauffage solaire, ou photovoltaïque de plus en plus complexes, ce qui fausse totalement la conception d'un projet. Faux ! il ne suffit pas d'accoler des capteurs actifs sur une enceinte ou de faire des exercices de styles en essayant uniquement d'intégrer ces nouveaux éléments à des typologies connues et consacrées pour parler d'intégration réussie.

D'autres concepteurs pensent, que les performances énergétiques et économiques des réalisations d'hélio-ingénierie pures sont aléatoires et suspendues au vieillissement de leurs composants, conduisant à des désordres.

Le seul problème réputé résolu par l'architecte étant l'intégration architecturale de ces éléments énergétiques ! Ceci peut conduire à un concept d'architecture qui forme un tout, et que l'introduction de l'énergie solaire dans la construction ne peut se limiter pour l'architecte à la « mise en place » d'objets qui lui échappent totalement dès lors que se sont toutes les ambiances intérieures et extérieures du bâtiment qui sont en cause. Il ne s'agit pas de sacrifier la qualité architecturale au profit de la seule contrainte climatique, mais bien de trouver un équilibre satisfaisant entre les différentes contraintes. Ces apports actifs peuvent être des dispositifs architecturaux, trouvaient en même temps, leurs pertinences dans le juste équilibre entre leurs performances et leurs participations à la composition. Selon leur intégration, des brise-soleil ou guide-vents, par exemple, peuvent prendre l'allure de dispositifs architecturaux. Ce débat était souvent source de conflit entre l'architecte et le thermicien, le premier ayant à gérer les interactions entre la contrainte technique et les autres paramètres du projet, le second étant soucieux de la performance du dispositif.

Contrairement aux pratiques habituelles, seule une collaboration entre les phases amont du projet peut permettre d'obtenir un compromis satisfaisant. Bien que cela semble paradoxal à certains architectes, c'est en réalité la participation de l'ingénieur dans les phases initiales du projet, qui permet à l'architecte de réellement garder la maîtrise de son architecture.

Aussi, les gains énergétiques des panneaux solaires, qui se présentent comme apports actifs, font partis du bilan énergétique final du bâtiment (voir les exemples cités ci-après), sont fiables et économiques et peuvent satisfaire les besoins électriques de l'appartement étudié.

En intégrant les systèmes de captage et d'utilisation d'énergie solaire, pendant les premières esquisses, car se sont les premiers choix qui ont le plus fort impact sur la performance énergétique du bâtiment final, on réalisera des économies à la fois sur le plan de l'installation et du choix de la technologie des panneaux.

Aussi, pour réduire la facture d'électricité et gaz, du ménage de la tour, l'utilisation des panneaux solaires photovoltaïques, s'avèrent indispensables pour la production d'électricité spécifique. En raison de l'importance des investissements que réclament la production et à la distribution de l'électricité, cette énergie est particulièrement vue, en Algérie, comme une énergie « noble »¹². La politique énergétique algérienne, insiste donc tout spécialement sur la nécessité d'en assurer la maîtrise de la consommation, et de garantir la rationalisation de son utilisation en veillant à réserver son emploi, pour des usages vraiment spécifiques. Pour pouvoir répondre à une consommation intérieure, toujours plus importante, et éviter toute reproduction d'incidents du type de celui qui a été enregistré en 2003, et qui a mis hors service l'ensemble du réseau national interconnecté.

Objectif:

Enfin, il nous semble nécessaire, que les architectes en connaissent au minimum, les fondements, ne serait-ce que pour prendre à mieux gérer les interactions entre la dimension climatique et les autres composantes du projet. Il s'agit en quelques sortes, que le concepteur s'approprie les avancées réalisées dans ce domaine. Concevoir facilement, en harmonie avec la technologie, pour parvenir à une forme architecturale optimale, et pas la technique au détriment de l'architecture, comme la souligné Mies Van Der Rohe : *Certaines personnes sont convaincues que l'architecture sera dépassée et remplacée par la technique. Cette conviction ne reflète pas une vision claire des choses. C'est exactement le contraire qui se passe. Ce n'est que lorsqu'elle s'élève dans la sphère de l'architecture que la technique atteint toute sa plénitude.*¹³

¹² A.Amirat, SMK El Hassar, « Economie d'énergie dans le secteur de l'habitat, Consommation électrique des ménages », cas d'un foyer typique en période d'hiver, 2005.

¹³ Source : S.MAZOUZ, « Eléments de conception architecturale », éditions OPU

Une réalisation intégrant les critères d'efficacité, de technicité et d'ergonomie nécessaires aux habitants de cet appartement de la tour, n'arrivera pas à son apogée, si on ne maîtrisera pas la conception passive du bâtiment.

Les modèles décrivant le comportement thermique dynamique des bâtiments permettent de mieux comprendre et concevoir l'enveloppe passive en vue d'obtenir de moindres consommations énergétiques et un plus grand confort, de prédire la réponse du bâtiment à des situations extrêmes afin de dimensionner les installations et, enfin, d'aider à mettre au point de nouveaux systèmes (composants) ou stratégies de contrôle (chauffage intermittent, commande optimale, etc.).

Le souci de rationaliser le recours à des énergies coûteuses et de concevoir des bâtiments plus confortables a amené les différents acteurs du processus de conception et de gestion des bâtiments à chercher à en mieux connaître et maîtriser le comportement. C'est l'objet des méthodes de simulations. Pour cela, nous nous intéresserons ici aux méthodes de calcul qui permettent de modéliser les bâtiments ; il s'agit de prévoir et expliquer l'évolution de son état thermique et de prévoir les conséquences qui en découlent en réponse aux excitations que lui appliquent son environnement climatique naturel et les appareillages dont il est équipé.

Le paysage énergétique change, les acteurs dans ce métier se multiplient, les techniques évoluent, l'information et la formation sont plus que jamais indispensables.

Dans notre cas d'étude, les raisons de vouloir employer les panneaux solaires ont comme objectifs :

- Fournir une production électrique annuelle (KWh) du bâtiment afin de réduire des coûts de fonctionnement, et arriver à un bâtiment à basse consommation énergétique.
- Apporter une contribution à l'environnement.
- Faire ressortir une conception innovatrice architecturale et technologique.

L'utilisation des panneaux photovoltaïques, devrait faire partie de la stratégie d'énergie globale pour le bâtiment. L'électricité produite a plusieurs avantages :

- Ressource disponible partout.
- Energie renouvelable et propre : 1m² de capteur évite le rejet annuel de 100kg de CO₂¹⁴.

¹⁴ L. Freris et D. Infield, « les énergies renouvelables pour la production d'électricité », DUNOD, 2009.

- Production locale, décentralisée : à proximité du lieu de consommation, elle évite les pertes en ligne.
- Relève la tension en bout de réseau électrique, évitant des travaux de renforcement.
- Absence de bruits et de nuisances ;
- Fiable : aucune pièce mécanique n'est en mouvement, les capteurs résistent aux pires conditions climatiques (en particulier à la grêle), ils sont garantis 20 ou 25 ans et continuent à fonctionner ensuite.
- Entretien quasi-nul (sauf l'onduleur et les batteries, qui constituent les maillons faibles du système, dans les cas autonomes).

Dans cette optique, cette étude, consiste à calculer le rendement d'un panneau solaire photovoltaïque intégré à la façade de la tour, pour deux cas de conception, à l'aide du logiciel de simulation sous un régime dynamique TRNSYS.16, d'un appartement situé au 25ème étage, d'une tour multifonctionnelle classée :IGH-Z, c'est-à-dire un immeuble à fonctions multiples, d'une grande hauteur (logements et services) conçue par un groupe d'architectes d'une entreprise de promotion privée à Constantine, et consiste à voir éventuellement son efficacité pour la contribution dans le bilan énergétique final de l'appartement.

La problématique des économies d'énergies relatives au chauffage et à la production d'eau chaude en période d'hiver, ou bien le rafraîchissement en période d'été, sont pris en charge comme éléments secondaires, mais ils peuvent être étudiés en détails ultérieurement, on s'intéresse ici à un volet non négligeable relatif aux économies d'énergie électrique des ménages.

Le calcul du bilan énergétique, s'articule sur trois phases :

- Le calcul de la consommation électrique à partir des factures de la SONELGAZ, d'un appartement similaire, ainsi l'analyse des études qui ont été réalisées sur ce sujet¹⁵ (cas d'un appartement à Alger, et un autre à la ville de Batna..).
- La simulation à l'aide du logiciel TRNSYS 16.1 avec des panneaux photovoltaïques, pour deux conceptions différentes ; cas du logement avec façade totalement vitrée (murs rideaux), donc le panneau fait vitre, et l'autre cas, le panneau plaqué sur l'allège, avec une inclinaison est verticale (90°).
- Le bilan comparatif des deux cas et l'interprétation des résultats.

Et enfin, quelques recommandations pratiques.

¹⁵ A.Amirat, SMK El Hassar, « Economie d'énergie dans le secteur de l'habitat, Consommation électrique des ménages ».cas d'un foyer typique en période d'hiver, 2005. Et C. Hamouda et A. Malek, « Analyse théorique et expérimentale de la consommation d'énergie d'une habitation individuelle dans la ville de Batna », 2006.

Structure de la thèse

La thèse est répartie en cinq chapitres liés en chaînés selon l'objectif principal

Le Premier chapitre, est un aperçu sur l'impact de l'énergie primaire et les conséquences du gaspillage de cette source ombilicale, sur le changement climatique ressenti dans le monde entier, les causes et les conséquences fatales dues à l'obsession de l'homme moderne, dans le monde et en Algérie, il a évoqué aussi, le traitement de l'interaction qui puisse exister entre le triptyque, constitué du bâtiment, énergie et environnement, et que l'un peut influencer facilement sur l'autre.

Le deuxième chapitre, détaille l'urgence aux recours aux énergies renouvelables avec toutes ses branches, notamment l'énergie solaire, pour remédier au mal déjà fait et préserver le peu de richesse fossile qui reste, pour les générations futures. L'Algérie peut facilement intégrer cette initiative de l'électricité photovoltaïque dans sa politique énergétique à court, moyen et long terme et son utilisation dans le bâtiment primaire et tertiaire.

Le Troisième chapitre traite d'une façon détaillée la technologie des panneaux solaires thermiques et notamment les panneaux photovoltaïques et toutes les accessoires qui peuvent être liés à cette technologie. Elle peut prendre place au niveau économique national, surtout en cette période où l'Algérie jouit d'une richesse considérable, le projet de Sonelgaz pour la fabrication des panneaux solaires est une bonne initiative.

Le Quatrième chapitre quand à lui, explique les différents processus de la conception architecturale avec les énergies renouvelables, dont les panneaux solaires avec ses deux types « intégrés ou surimposition » aux bâtiments d'habitation ou d'équipement, en citant des exemples de certains architectes renommés. Et que cette conception commence à prendre place chez les architectes contemporains.

Le Cinquième et dernier chapitre, présente l'étude de cas d'un appartement au 25^{ème} étage de la tour, avec deux conceptions différentes de la façade orientée sud-est et nord-ouest avec des panneaux solaires, le premier cas de figure, la façade est complètement vitrée et l'autre cas présente une façade semi vitrée, en simulation avec le logiciel TRNSYS.16.

Et enfin calculer les énergies générées par ces panneaux en les comparants avec les besoins énergétiques des différentes zones thermiques, et qui touchent plus précisément la consommation d'électricité spécifique.

La conclusion générale est la synthèse des différents chapitres, en faisant ressortir quelques recommandations pratiques.

CHAPITRE I : BATIMENT, ENERGIE ET IMPACT CLIMATIQUE

1.1. Introduction :



Figure : 1.1. Hokusai (1760-1849), estampe tirée de la série des trente-six vues du Mont Fuji

Depuis trop longtemps la terre a été malmenée par des comportements et des pratiques irresponsables, il n'y a pas plus significatif que cette estampe du 17^{ème} siècle,¹ pour expliquer le changement climatique qui a commencé depuis belle lurette. Depuis la fin des années soixante, l'humanité a pris conscience qu'elle vivait dans un monde fini aux ressources limitées. Après les cris d'alarme de quelques rares visionnaires, et les messages d'alerte lancés par de nombreux scientifiques depuis des dizaines d'années, même si les populations émettant le plus de gaz à effet de serre, semblent lentement prendre conscience des enjeux, l'information reste encore floue, discrète, voire parfois contradictoire ou manipulée.

¹ : La série des trente-six vues du mont Fuji ([Katsushika Hokusai](#), 1760-1849), Wikipédia. Consulté en janvier 2011.

La révélation de la catastrophe de Minamata, au sud-ouest du Japon (intoxications dues à la concentration marine de mercure), entre 1932 jusqu'à l'apparition des maladies en 1949, et les premières marées noires ont rendu concrets les risques de la révolution industrielle, entamée cent cinquante ans plus tôt, pouvait faire courir à notre santé et à ce que l'on commençait à appeler notre environnement.

Les mesures correctives ou préventives sont, quoi qu'il en soit, encore bien marginales. Malgré le fait que le pétrole soit actuellement en flux tendu sur la planète, et que son cours demeure élevé, dans l'ensemble, l'énergie est encore relativement abondante et bon marché. Ces deux caractéristiques font qu'elle est largement gaspillée, même si la prise de conscience de sa raréfaction et des conséquences de l'utilisation des énergies fossiles sur le changement climatique percole de plus en plus dans la mentalité des individus les plus consommateurs, c'est-à-dire ceux des pays dits « développés ». Le défi est pourtant de taille, car il s'agit de répondre aux besoins croissants en énergies de la planète et au développement économique des pays les plus pauvres, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Les gaspillages énergétiques abondants sur la planète, sont un des fléaux à éliminer.

Le triptyque composé de bâtiment, énergie et environnement est certes réversible, en ce qui concerne l'impact du bâtiment sur l'environnement extérieur, il y a trois échelles généralement considérées comme pertinentes pour une approche environnementale correcte, soit² :

- L'échelle globale ou planétaire, liée aux phénomènes atmosphériques globaux et à la gestion mondialisée des ressources ;
- L'échelle régionale, qui concerne la zone géographique et souvent climatique ;
- L'échelle locale, relative aux bâtiments, à sa parcelle d'implantation et à son environnement proche.

Concernant l'environnement intérieur, il s'agit des impacts sur l'utilisateur qui, d'une part ressentira une sensation de confort ou d'inconfort et d'autre part, risquera de contracter d'éventuelles maladies provoquées par le bâtiment lui-même. Ce qui explique cet impact sur les ambiances internes ; mal conçu, le bâtiment ne tiendra pas son rôle premier d'abri et générera des sensations d'inconfort hygrothermique (ambiance ressentie comme trop chaude ou trop froide), acoustique (majorité des plaintes de voisinage), visuel (éclairage naturel

² www.cstb.fr, Rapport d'étude n° GEC/DST-95.056R, consulté en juillet 2010.

insuffisant, éblouissement, contrastes trop violents, etc.), ou olfactif (souvent lié à une mauvaise ventilation).

1.2. Aperçu historique sur l'énergie

Depuis toujours, l'homme a consommé de l'énergie. Cette consommation était relativement linéaire et l'origine presque exclusivement renouvelable (biomasse, énergie hydroélectrique, énergie animale, ...) jusqu'à la révolution industrielle. C'est durant cette période, marquée par des développements industriels toujours plus énergivores, que l'essor des énergies fossiles (essentiellement le charbon à l'époque) a vu le jour. Leur consommation commença alors à augmenter de façon exponentielle. La découverte du charbon, si abondant dans la nature et les avancées technologiques dans son utilisation sont à l'origine de la révolution industrielle. La prospérité et l'expansion post-industrielle de l'après-guerre sont indéniablement liées à l'usage du pétrole et puis après le gaz naturel. L'un de ses fruits ; l'énergie électrique.

Une grande proportion de l'électricité produite dans le monde provient du charbon et du gaz naturel et ceci pour plus d'un siècle. L'électricité est la forme « première »³ de l'énergie, grâce à la facilité de son usage et de sa distribution. La demande est en croissance permanente, due à l'usage de plus en plus grand d'appareils électriques et électroniques par les consommateurs, par l'augmentation de l'activité industrielle associée et par son élargissement au monde entier.

Pour l'homme moderne, le rêve de domination de la nature s'est traduit essentiellement par une tension obsessionnelle vers une production et une consommation toujours plus grandes et plus excessives. Extraire de la nature un maximum de bien-être matériel a été, et demeure pour une large part, l'idéal des sociétés industrielles et a fortiori des pays en développement. Chacun dès lors garde les yeux rivés sur le taux de croissance du PIB, qui de simple indicateur économique est devenu une véritable religion, l'idole des temps modernes.

Malheureusement, avec la révolution industrielle, l'économie va s'affirmer comme science mécaniste, désincarnée de la nature et d'un homme réduit à l'état d'*homo oeconomicus*⁴. En perdant toute référence éthique, l'économie se coupe des motivations de conservation, de solidarité et de transmission aux générations futures d'un patrimoine naturel.

³ L.Freris et D.Infield, « les énergies renouvelables pour la production d'électricité »,2009.

⁴ Source : <http://europe.eu/scadplus/leg/fr/lvb/127064.htm>, consulté en septembre 2010.

1.3. Limite des ressources d'énergie disponibles :

Souvent un débat crucial s'introduit lorsqu'on constate un pic de demande pétrole ou de gaz. C'est le cas lorsque l'extraction de ces produits commence à baisser et ceci bien avant la fin des ressources. Il est très difficile de déterminer précisément jusqu'à quand on pourra utiliser les combustibles d'origine fossile.

Actuellement, la consommation annuelle d'énergie primaire⁵ est d'environ 500 EJ⁶. Ceci est équivalent à environ $1,4 \times 10^{17}$ Wh ou 140 000 TWh. En divisant ce nombre par le nombre d'heures, on obtient environ 16 TW ou 16 000 GW comme puissance moyenne nécessaire aux consommations de la planète.

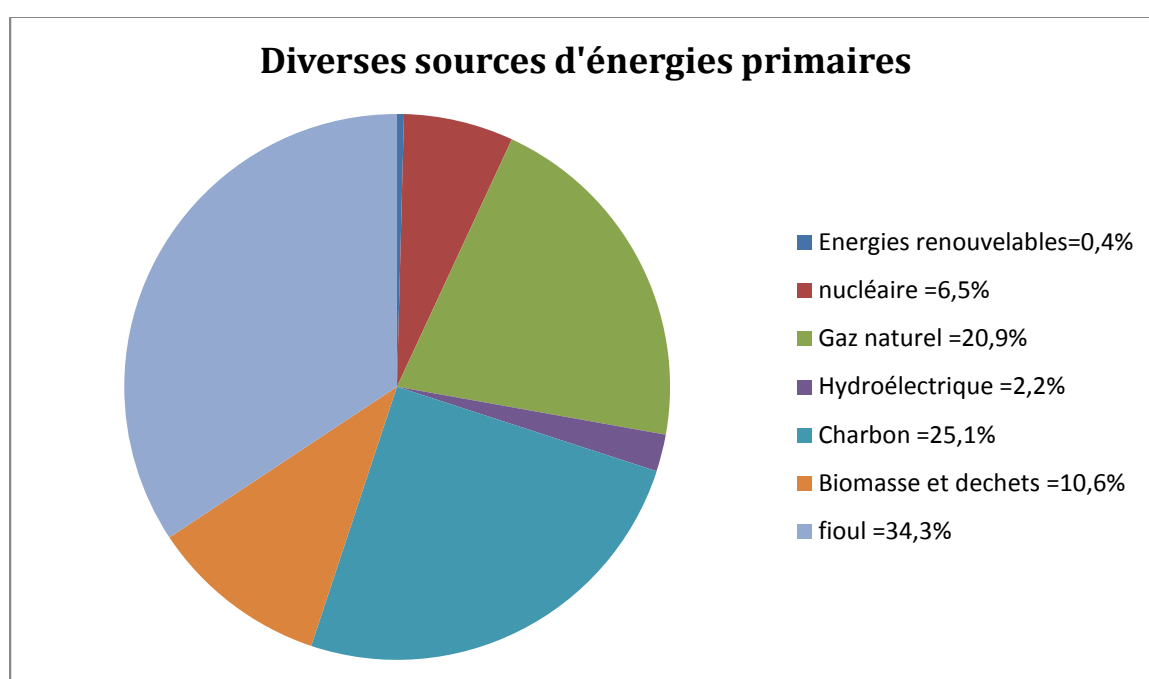


Figure 1.2 : importance relative en pourcentage des énergies primaires dans le monde, source : AIE, Statistiques 2006.

La figure 1.2, montre l'importance relative des diverses sources d'énergie primaire au niveau mondial, selon les données de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE).

Chaque année, la demande mondiale en pétrole et en gaz augmente de manière significative. Selon la plupart des compagnies pétrolières et de gaz, de nouvelles ressources importantes de pétrole pourront être exploitées, ou restent à découvrir. On admet généralement que les

⁵ L'énergie primaire est l'énergie originelle avant sa transformation en une énergie plus pratique comme l'électricité.

⁶ L'unité d'énergie dans système international est le Joule ; on utilise les multiples tels que le Kilojoule (KJ), MJ, GJ, TJ (10^{12}) et EJ (10^{18}). La puissance est exprimée en Watt ($1W=1J/s$).

réserves de pétrole, permettent de satisfaire la demande actuelle pour encore 30 ans. Pour le gaz, les dernières estimations indiquent une période plus grande que le pétrole, soit 60 ans⁷.

En tout état de cause, cette consommation folle des énergies fossiles, va sans doute se répercuter sur les populations futures. Au siècle prochain, le monde sera confronté à deux problèmes principaux. Le premier concerne les réserves des énergies fossiles ; le second est relatif à l'effet de serre.

1.3.1 L'utilisation efficace des énergies :

On assiste à une diversification des sources d'énergie et cette tendance a de fortes chances de se poursuivre au cours du siècle prochain. La consommation d'électricité va croître car c'est un vecteur énergétique important et commode pour le consommateur. Le choix de la palette d'énergies primaires est spécifique à chaque pays, à ses richesses énergétiques propres et à son passé énergétique. Il n'y a pas de solution unique et tout doit être étudié dans le détail en tenant compte des facteurs économiques, des effets sur l'environnement, etc.

La population mondiale devrait doubler d'ici le milieu du 21^{ème} siècle. Compte tenu de l'amélioration des intensités énergétiques, la croissance de la demande en énergie primaire devrait se multiplier, et la croissance de la demande d'électricité devrait être plus forte, et pourrait même déjà doubler d'ici 2020⁸.

De manière évidente, le monde est obligé de prendre des mesures efficaces, pour obtenir le plus grand effet dans la réduction du changement climatique. Dans la plupart des pays, dont l'Algérie fait partie, des incitations financières et des régulations sont maintenant en place, pour encourager les rendements énergétiques, mais leur effet reste modeste. Le passage à l'étape d'utilisation des énergies renouvelables est devenu obligatoire, pour préserver le peu de richesse fossile à nos générations futures.

1.4. Changement climatique en Algérie :

L'avenir sur le plan climatique n'augure rien de bon pour l'Algérie. Des experts dans le domaine de la météorologie de l'institut hydrométéorologique de formation et de recherche d'Oran, ont dressé un tableau noir de ce que seront les prochaines années dans notre pays. Du fait qu'elle soit située dans le bassin méditerranéen, l'Algérie reste une région très vulnérable aux changements climatiques et catastrophes naturelles. S'appuyant sur des études scientifiques, les mêmes experts estiment que des pluies et des orages comme ceux qui ont caractérisé les régions de Ghardaïa ou Béchar seront de plus en plus fréquents. Ils soutiennent

⁷ Source : AIE (Agence internationale d'énergie), statistiques 2006.

⁸ C.Ngô, « quelles énergies pour demain », Commissariat à l'énergie Atomique Européen, 1999.

qu'il faut s'attendre à l'accentuation de ces phénomènes météorologiques, qui seront de plus en plus violents et dangereux. « Des études ont démontré qu'il y aura une aggravation de la désertification, des orages, de la pollution et autres phénomènes sur notre planète ». « Il faut s'attendre à une réduction de l'ordre de 20% en termes de précipitation dans les prochaines années »⁹, selon les mêmes sources.

Parmi les impacts potentiels en Algérie, on peut citer les phénomènes violents (cyclogénèse, vagues de chaleur, tempêtes de sable), les impacts sur les ressources en eau, sur la production agricole et sur la santé. Les experts préconisent de mettre le paquet sur la prévention. Pour ce qui est des aspects à résoudre, de passer à la variabilité climatique régionale et locale.

Sur le plan politique, il faut passer de la gestion des crises à la gestion des risques, intégrer toutes les causes, les politiques sectorielles, les savoirs locaux et les indicateurs de suivi des stratégies. Il faut, dans le cadre méditerranéen, instaurer une meilleure collaboration. L'Algérie, partage les mêmes tendances climatiques du bassin méditerranéen, soutenant qu'il s'agit d'une région des « plus vulnérables » à la variabilité et aux changements climatiques et aux catastrophes naturelles. Les précipitations et les vagues de chaleurs du pays depuis les années 1930, avec quelques projections à l'horizon de 2020, il se peut qu'il puisse y avoir, dans le futur, un maximum quotidien de précipitations dépassant la moyenne annuelle habituelle dans le sud du pays. De même que la sécheresse et les vagues de chaleurs devraient se multiplier, « il y aura une diminution des saisons de pluies et une augmentation des températures de l'ordre de 1° à 1,5° à l'horizon 2020 »¹⁰. De plus l'exploitation importante des hydrocarbures, en Algérie est responsable en grande partie des émissions de gaz à effet de serre. Cependant, la prédominance du gaz naturel dans le bilan énergétique national constitue déjà une mesure d'atténuation des émissions des GES.

1.5.L'effet de serre :

Sans l'effet de serre, la température moyenne de notre planète serait à -18°C. L'existence de ce phénomène fait que la température moyenne sur la terre est de 15°C. Notre planète utilise en moyenne 240 W/m² pour se réchauffer.

⁹ IHFR : institut hydrométéorologique de formation et de recherche d'Oran, revue « PROPRAL », n°2 novembre 2007.

¹⁰ : ONM : office national de météorologie.

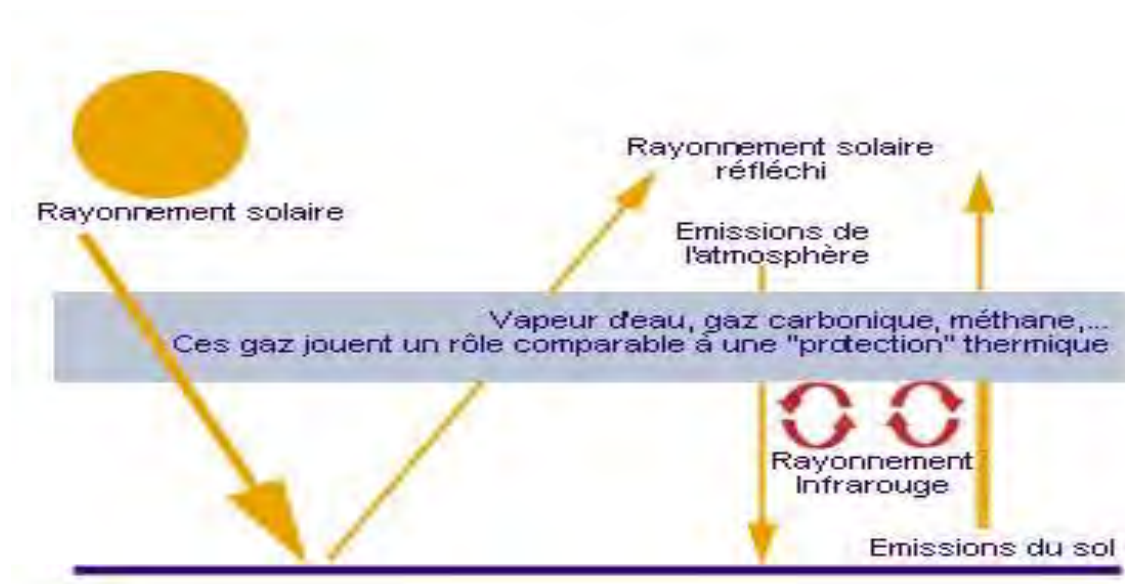


Figure 1.3. Le principe du gaz à effet de serre. Source : Suissolar.2009.

Depuis le début de l'ère préindustrielle, l'effet de serre a augmenté de $2,45 \text{ W/m}^2$, soit de 1%. Ceci a eu pour conséquence d'accroître la température moyenne, entre 1850 et 1995, de $0,3$ à $0,5^\circ\text{C}$. C'est cette augmentation qui est préoccupante.

Plusieurs scénarios ont été proposés pour évaluer la température moyenne en 2100. Selon le scénario, on trouve un réchauffement moyen compris entre 1°C et $3,5^\circ\text{C}$. Les valeurs hautes auraient des conséquences dramatiques sur l'environnement avec notamment la montée du niveau de la mer. Les gaz responsables de l'augmentation de l'effet de serre sont essentiellement le CO_2 , qui contribue pour $1,56 \text{ Wm}^2$, le CH_4 , pour $0,5 \text{ Wm}^2$, le NO_x , pour $0,1 \text{ Wm}^2$ et les CFC pour $0,3 \text{ Wm}^2$.

Les combustibles fossiles rejettent tous du CO_2 par combustion. Une meilleure gestion de la combustion (technique du lit fluidisé pour la combustion du charbon, par exemple) et le choix du combustible fossile (par exemple, pour une même quantité d'énergie fournie, la combustion du gaz naturel émet deux fois moins de CO_2 que celle du charbon) peut optimiser l'émission de gaz à effet de serre mais on ne pourra jamais la faire disparaître complètement car la combustion du carbone donne toujours du gaz carbonique. Les énergies renouvelables et le nucléaire permettent, par contre, de diminuer notablement l'émission de gaz à effet.

Dans un contexte de ressources énergétiques limitées et d'engagement de limitation des émissions de gaz à effet de serre (Kyoto, 1998), il faut non seulement accroître les économies d'énergies mais surtout penser à répartir différemment notre consommation énergétique¹¹.

¹¹ C. NGÔ, « Quelles Energie pour demain », Commissariat à l'énergie Atomique, France, 1999.

Les énergies renouvelables et le nucléaire peuvent y contribuer. Pour illustrer ce point, nous donnons quelques chiffres concernant la production d'électricité par l'énergie nucléaire. Il y a peu de rejets de CO₂ (ce dernier provient essentiellement de la construction des centrales et des transports qui interviennent à toutes les étapes du cycle). Pour l'union européenne, par exemple, les quantités de CO₂ évitées grâce au nucléaire, qui produit 34% de son électricité, correspondent aux émissions des 200 millions de véhicules qui constituent le parc automobile. Le bâtiment et la ville restent comme même pollueurs et par conséquent participants aux émissions des gaz à effets de serres.

1.5.1. Impact sur l'environnement :

Les carburants carbonés d'origine fossile ont tous une chose en commun : ils créent tous du dioxyde de carbone (CO₂) lors de leur combustion. Ils ont une part importante du long cycle terrestre de carbone, qui a été fixé durablement durant les périodes géologiques, quand le climat était tropical sur la majorité de la planète, et le taux de CO₂ très important. Le taux bien connu d'émission de 386 g de CO₂/kWh introduit par les centrales au gaz. Bien que la relation entre la concentration en CO₂, le changement de la température et les variations indésirables du climat soit très complexe et dès lors très difficile à prévoir avec précision, il est largement admis que cette concentration doit être stabilisée si on veut que les dommages dus au réchauffement de la planète soient évités.

D'autres gaz aux effets néfastes, après le CO₂, le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O), les hydrofluorocarbures (HFC), les hydrocarbures per fluorés (PFC), et l'hexafluorure de soufre (SF₆).

Cependant, la production d'électricité est une source appréciable d'émission de gaz à effet de serre en raison des consommations volumineuses de combustibles fossiles.

A cet effet, des actions essentielles peuvent être mené immédiatement :

- Accroître le rendement dans l'utilisation de l'énergie.
- Imposer des règles strictes pour les émissions de gaz carbonés.
- Accroître l'usage des énergies renouvelables.

Le développement et l'intégration de systèmes de production d'électricité à partir de l'énergie photovoltaïque contribueront à la réduction de ces émissions atmosphériques.

1.6. Critères environnementaux :

A la fin des années quatre-vingt et avec l'apparition et la diffusion du concept de « développement durable », on en vient à une approche plus globale : l'architecture devient

écologique, verte et environnementale. Il ne s'agit plus seulement d'économiser l'énergie et de favoriser le confort mais de penser également à la santé des occupants, de gérer les ressources (énergie et matières) grâce notamment à l'étude des cycles de vie, tout en limitant les pollutions.

1.6.1. Impact du bâtiment :

Pour préserver notre environnement, le secteur du bâtiment doit jouer un rôle primordial, car il est responsable d'un large impact environnemental (les données suivantes diffèrent d'un pays à un autre) :

- 50% des ressources naturelles exploitées ;
- 45% de la consommation totale d'énergie ;
- 40% des déchets produits (hors déchet ménager) ;
- 30% des émissions de gaz à effet de serres ;
- 16% de la consommation d'eaux dont 1 à 2% pour l'alimentation humaine ;

Conscient de l'importance du déficit à relever, il faut se mobiliser de plus en plus pour maîtriser et réduire autant que possible ces impacts environnementaux en cherchant à prendre en considération l'ensemble des différentes phases du cycle de vie des produits de construction et plus largement du bâtiment¹² :

- Fabrication des produits de construction ;
- Construction ;
- Exploitation et maintenance ;
- Réhabilitation ou adaptation ;
- Déconstruction ;

A chacune de ces phases, dès la fabrication des produits de construction, les travaux entrepris constitueront une charge importante pour notre environnement en terme de :

- Consommation énergétique pour l'extraction des matières premières, le transport et la production des produits de construction ;
- Production des déchets de construction et de démolition (matières inertes, bois, métaux, pots de peinture...) ;

¹² A.Liébard et A.de Herde « Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques », 2004.

- Pollution de l'air, de l'eau et du sol (gaz d'échappement, huiles usagées, eaux usées non traitées...);
- Destruction de la flore ou de la faune existante ;
- Nuisances diverses sur l'environnement proche (bruits, poussières...).

Cependant, c'est au cours de sa vie que le bâtiment (voir illustration ci-dessous) sera réellement le plus pénalisant pour l'environnement. La phase d'exploitation-maintenance contribue pour une large part aux impacts environnementaux d'un bâtiment : consommation de fuel, de gaz ou d'électricité pour le chauffage, le rafraîchissement, ou l'éclairage, d'eau potable pour l'alimentation ou les sanitaires, production de déchets ménagers, rejets d'eaux usées, émission de gaz à effet de serres émis par les systèmes de chauffage (NO_x, CO₂, SO₂, poussières)...

En fin de vie, le bâtiment devra être finalement démoli, voire déconstruit de manière à récupérer sélectivement ce qui sera devenu un ensemble de déchets. Le bâtiment disparu, il conviendra de procéder à une remise en état du site (récupération des fondations, dépollution du sol, replantation...).

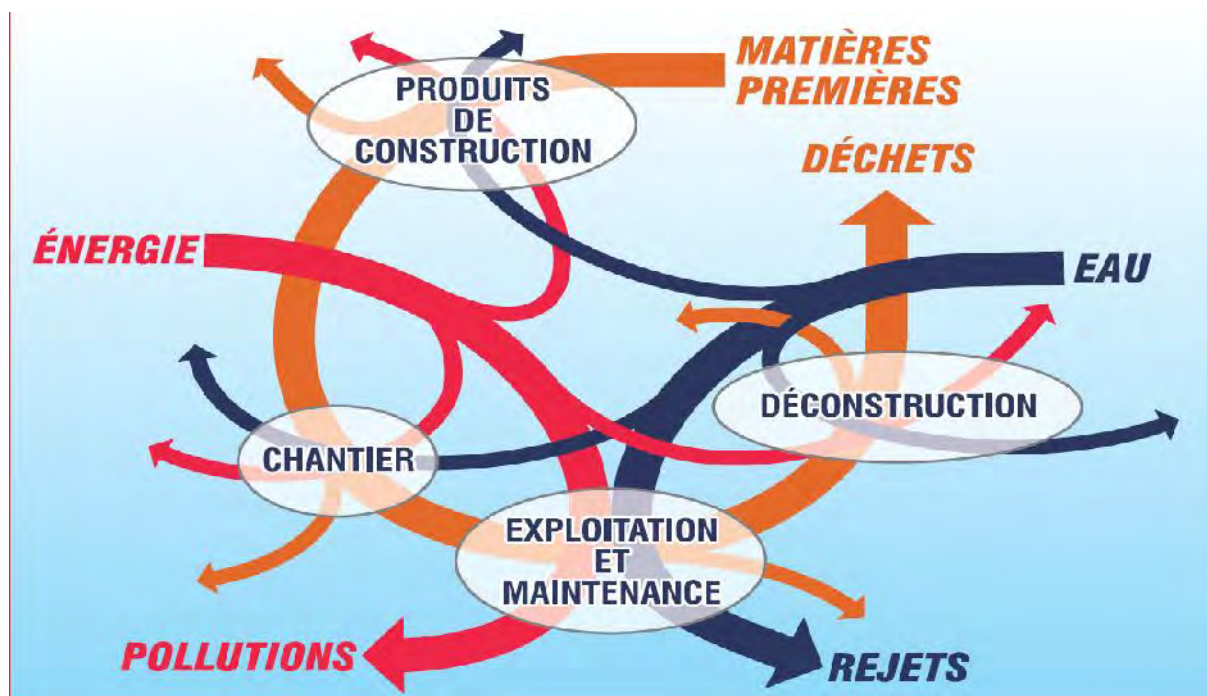


Figure 1.4 : Cycle de vie d'un bâtiment (d'après E.Dufrasnes). Source : A.Liébard et A.de Herde 2004.

1.6.2. Impact de l'urbanisme :

Toutes les échelles spatiales doivent être évoquées, de l'échelle des matériaux et technologies à l'échelle de la ville ou du fragment urbain, dans une approche éco systémique. En effet l'appréhension des questions énergétiques doit aujourd'hui tenir compte d'une approche plus globale, visant l'intégration de la démarche climatique dans un développement urbain durable.

La ville, partie principale du développement durable, celle qui inclus le bâtiment et les transports urbains, représente plus de la moitié des émissions de gaz à effet de serre et environ les deux tiers de la consommation énergétique. Son développement est composé de trois dimensions : urbanisme, bâtiment et transport, sont devenus le problème numéro un du changement climatique et de l'approvisionnement énergétique.

Sur le plan urbanistique, les conditions climatiques ne sont pas les seuls facteurs de la forme de l'habitat. Ainsi, par exemple ; au sud-ouest de l'Amérique du Nord, des sites et climats similaires ont vu se développer aussi bien la maison navajo hautement individuelle que l'agglomération collective pueblo. Cependant, certaines contraintes solaires ont favorisé des formes d'habitats groupés : Rapoport¹³ cite le regroupement des habitations « yokut » sous un même pare-soleil continu fait de branchages, où le plan compact, typique des climats chauds et arides, fait d'éléments accolés les uns aux autres, qui se portent ombrage mutuellement, nos villes sahariennes furent de bonnes exemples.

Certains historiens de l'urbanisme ont voulu voir dans les villes anciennes des principes d'orientation solaire. Cette théorie n'a pas résisté à une étude statistique étendue.

Plus récemment, les physiologistes ont voulu donner une base scientifique à l'orientation des rues de nos villes ; mais ils ne s'appuient pas sur des observations rigoureuses prenant en compte le mouvement apparent du Soleil, ses variations de hauteurs saisonnières, ou la valeur des apports énergétiques. Ils préconisent généralement l'exposition est-ouest. En ce qui concerne les villes, la plupart des constructeurs se désintéressaient des questions d'ensevelissement, difficilement applicables au parcellaire existant et aux coutumes urbaines d'implantation, nos lotissements sont le bon exemple.

1.6.2.1. La démographie et l'urbanisme:

Ces villes de plus en plus demandeurs d'énergie et continuaient à polluer l'environnement, se sont trouvées confronter au XXème siècle, à une augmentation de la

¹³ A.Rapoport, « Pour une anthropologie de la maison ». Collection DUNOD.

population urbaine qui a été multipliée par dix fois¹⁴. Cette démarche galopante est pourtant une des principales causes du mal-être planétaire. Congestion urbaine, étalement urbain, dégradation de nos écosystèmes, gaz à effets de serres, insalubrité, pauvreté... Pour comprendre l'émergence du souci de développement durable dans l'urbanisme, il faut tout d'abord appréhender le contexte, dans lequel ces préoccupations sont apparues. On peut dire que la croissance urbaine est le phénomène le plus marquant de l'évolution des territoires depuis la révolution industrielle et ce, à peu près partout dans le monde. Ce phénomène est d'autant plus inquiétant que cette démographie urbaine s'opérera principalement en Afrique et en Asie où la population urbaine doublera de 2000 à 2030¹⁵, accueillant plus de 80% de population mondiale. Creuset du développement économique, des échanges et du métissage culturel, les villes composent depuis longtemps le principal revenu des pays en développement. L'accès aux biens essentiels (santé, éducation, eau, assainissement) y est généralement plus favorable, mais le paysage évolue. Les villes deviennent progressivement génératrices d'exclusion, d'inégalités, de pollutions. La plupart d'entre elles sont aujourd'hui des condensés de maux engendrés par un développement incontrôlé : accumulations d'immondices, congestion urbaine, transport, pollution de l'air, insalubrité, mal-être, insécurité...

La pauvreté est sans conteste le plus grand fléau des villes pour les décennies à venir. « Bien que la majorité des pauvres de la planète réside encore dans des régions rurales, la pauvreté se transforme rapidement en un phénomène urbain » affirmait Robert M. Buckley, conseiller aux questions de logements à la division du développement urbain de la banque mondiale. Le mal-logement est l'une des conséquences les plus visibles de la pauvreté. Actuellement, un milliard de personnes ne disposent pas d'un logement convenable et on estime à plus de 100 millions le nombre des sans abris¹⁶. 14 millions d'habitants dans nos grandes villes Algériennes en 2025.

1.6.2.2. L'écologie urbaine :

Confrontées au phénomène de l'étalement et de la fragmentation urbaine, les villes sont fortement génératrices de déplacement. Elles doivent prendre conscience aujourd'hui de leurs impacts et développement. Nos villes algériennes ont connu le même essor.

¹⁴ La population mondiale urbaine passant de 220 millions à 2.8 milliards d'habitants en un siècle, source : ONU.

¹⁵ Selon le « fonds des nations unies pour la population, entre 2000 et 2030, la population urbaine passera de 1.36 milliards à 2.64 milliards en Asie et 294 millions à 742 millions en Afrique.

¹⁶ ONU, Habitat 2006.

La communauté internationale prend conscience de plus en plus des risques humains, sociaux et politiques engendrés par les concentrations urbaines auxquelles ni les populations, et ni les villes ne sont séparées. Dans nombreux pays en développement, les maigres moyens, tant politiques que financiers, des autorités locales ne permettent pas d'assurer les besoins élémentaires : eau potable, assainissement, énergie...

A la fin des années soixante, la problématique écologique prend une nouvelle forme et une nouvelle ampleur. Il devient évident que le développement industriel, la croissance économique et le productivisme génèrent des nuisances : la pollution rejetée dans l'air et dans les eaux ; la déforestation et la désertification ; les menaces contre la conservation des sols ; de la flore et des espèces sauvages. Pour répondre à ces défis et prévenir les tensions sociales et environnementales liées à l'urbanisation, les collectivités décident de s'engager dans un « agenda 21 local » en mobilisant l'ensemble des acteurs du territoire urbain sur des objectifs partagés.

La ville est un système complexe ayant ses propres modes de mutation¹⁷, métastases ou renouvellement. Cet ensemble est fortement contraint par son environnement social, économique et physique. Le développement urbain est ainsi marqué par de profondes mutations dont les effets concomitants sur le secteur de l'environnement ne peuvent être négligés. On peut citer par exemple l'extension et la dilution des villes, la ségrégation spatiale, les mobilités nouvelles (déplacements sur des distances toujours plus importantes, pour les usages de plus en plus variés), les exigences de délais, l'accélération, la multiplication des impacts environnementaux (consommation d'espace, de ressources ou d'énergies, émissions, bruits, paysages, etc.).

1.7. Bâtiment et énergie :

Le Grenelle de l'environnement n'a cessé de souligner l'impérieuse nécessité de s'attaquer au secteur du bâtiment, à l'origine de 40% de la demande finale en énergie au niveau national, contre 46% en Europe¹⁸, et de 19% des rejets de CO₂ dans l'atmosphère, contre 25% ailleurs. Peu importe les chiffres énoncés par les différents organismes, ce qui est sûr, c'est que ce secteur représente un potentiel énorme d'efficacité énergétique et de réduction des gaz à effet de serre, il est bien de savoir que pendant la durée de vie d'un bâtiment, l'énergie produit 70 à 80% des impacts environnementaux, c'est comme même très important.

¹⁷ P.Fernandez et P.Lavigne : « Concevoir des bâtiments bioclimatiques », le moniteur, 2009.

¹⁸ : <http://www.logement.gouv.fr>, consulté en juillet 2010.

1.7.1. Gleneagle, Heiligendamm :

En juillet 2005 a eu lieu le Sommet du G8 de **Gleneagle**, en **Ecosse**. Les huit pays les plus industrialisés de la planète ont souhaité, entre autres, « promouvoir des bâtiments économes en énergie ». L'agence Internationale d'Energie (L'AIE)¹⁹ a été sollicitée pour proposer des mesures dans ce sens.

Selon l'AIE, le secteur des bâtiments compte pour **40%** de la quantité d'énergie utilisée par les pays européens, et son potentiel d'économies d'énergie est immense. Étant donné les nombreuses possibilités de réduire les besoins énergétiques des bâtiments, le potentiel d'économies d'énergie dans ce secteur pourrait grandement contribuer à une réduction de consommation d'énergie à l'échelle de la société. Les implications d'un tel potentiel de réduction ne devraient pas être sous-estimées, selon l'AIE, étant donné que le champ d'application de l'efficacité énergétique dans les bâtiments est suffisamment grand pour pouvoir influencer la sécurité d'approvisionnement, la préservation du climat et la santé publique, à une échelle globale. En juin 2007, suite à la demande du G8, une liste de 12 mesures d'efficacité énergétique a été présentée par l'AIE au sommet d'**Heiligendamm** en Allemagne.

L'AIE a urgemment recommandé aux pays de renforcer leurs standards d'efficacité énergétique, afin que les coûts totaux des bâtiments soient minimisés sur une période de 30 ans. Elle a également encouragé la construction de bâtiments passifs et à « zéro énergie », et a demandé aux gouvernements de définir des objectifs de parts de marché de ces bâtiments pour 2020.

La gestion efficace de l'énergie et les grands défis énergétiques, notamment la diminution de l'émission des gaz à effet de serres (voir figure 1.3)²⁰ sont bien souvent absents des agendas politiques, ou spoliés par des lobbies industriels. Les solutions pour réduire le gaspillage énergétique des bâtiments sont pourtant nombreuses, et leur mise en œuvre se montre efficace et avérée dans de nombreux cas pratiques. C'est dans ce contexte que les maisons passives, où à basse consommation, où à énergie positive (peu importe l'appellation), prennent toute leur importance.

¹⁹ AIE : agence internationale d'énergie.

²⁰ Source : www.aie.org, Consulté en juillet 2010.

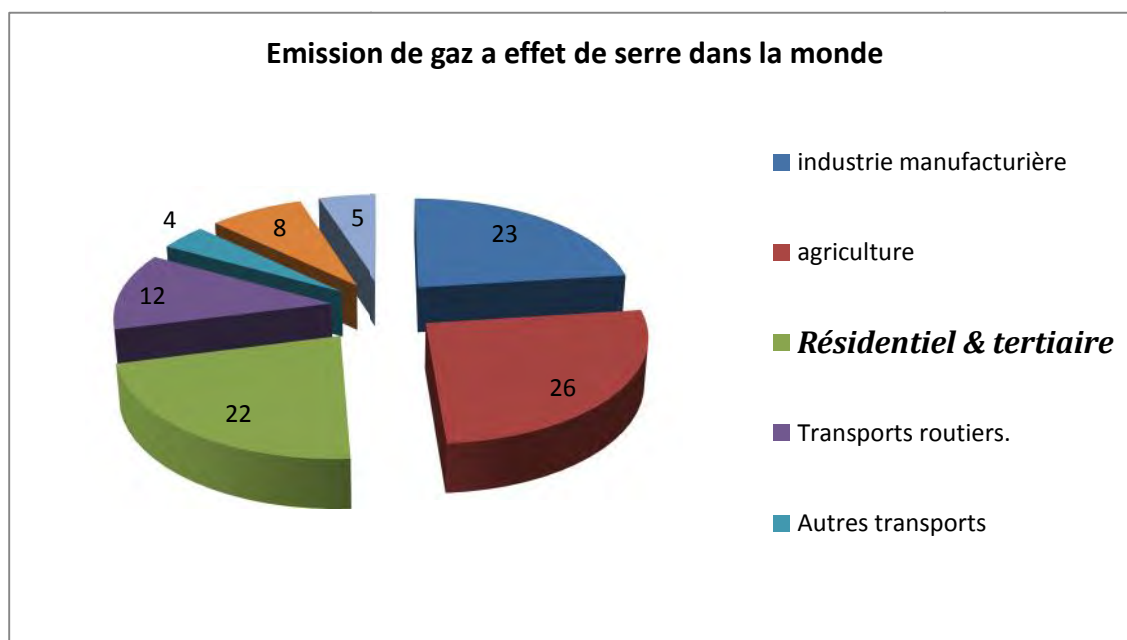


Figure : 1.5 : Répartition approximative des émissions de gaz à effet de serre hors ozone dans le monde par secteur, pour l'année 2000, Source : IPCC & AIE (Agence internationale d'énergie).

1.7.2. L'Europe:

L'Europe s'est affichée leader en matière d'objectifs de réduction dans le cadre du protocole de Kyoto. Son objectif total de réduction est de 8%, répartis différemment entre chacun des pays. L'Europe « souhaite que le débat international sur le changement climatique se poursuive et milite pour faire adopter l'ambitieux projet d'abaisser de 30% les émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici à 2020 ». Ce secteur représente dès lors un immense gisement de réductions potentielles d'énergie.

Cependant, il est également un de ceux qui présentent la plus forte inertie d'évolution. Un bâtiment est en effet souvent construit pour une longue durée, à laquelle le taux d'évolution technologique dans ce secteur est corrélé.

Les changements prennent donc du temps. Des bâtiments inefficaces construits aujourd'hui devront être supportés pendant des dizaines d'années. Un constat est d'ailleurs clair : de nombreux bâtiments existant aujourd'hui datent encore d'avant la dernière guerre mondiale, alors que les normes en matière d'isolation des logements étaient pratiquement inexistantes. De plus, et malgré l'amélioration de l'efficacité énergétique des habitations résidentielles depuis 1990, la consommation totale des ménages n'a pas connu de baisse sensible. On constate une baisse légère pour 5 pays de l'Europe des 15 entre 1990 et 2002, tandis que la consommation de 9 autres pays a augmenté sur la même période, soit : 1 176 120

ktep de consommation finale énergétique dans l'Europe des 27 en 2006, dont²¹ : Les ménages (25,9%), l'industrie (27,6%), les transports (31,5%), l'agriculture (2,4%), les services (11,4%), le reste (1,2%)

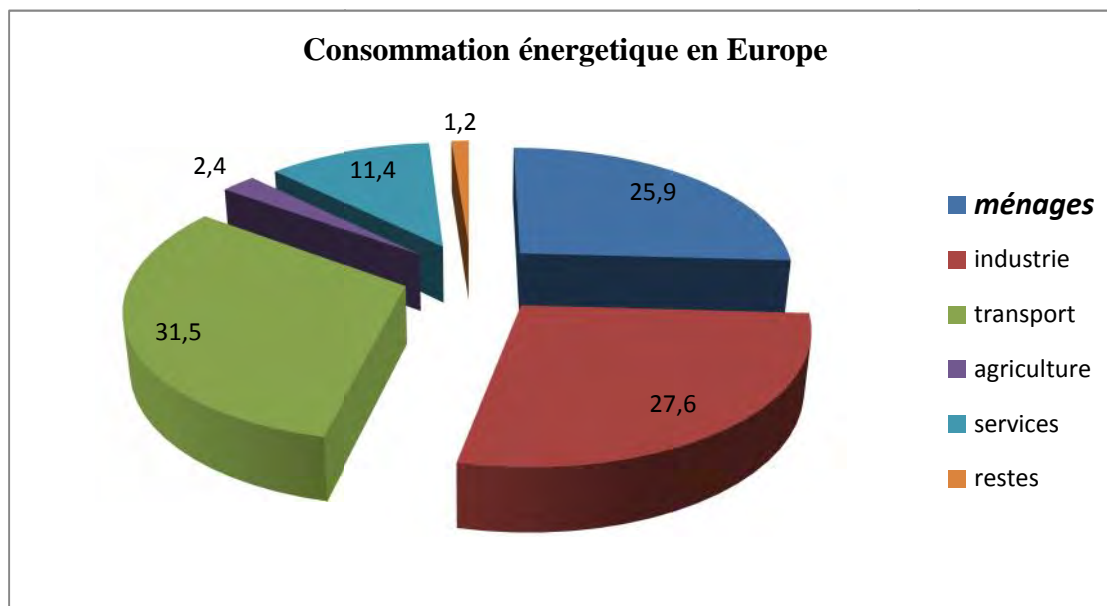


Figure 1.6 : Ratios de consommation énergétique, Source : AIE (Agence internationale d'énergie).

Ceci est imputable à de multiples raisons, dont l'augmentation du nombre d'équipements consommateurs dans les ménages (télévisions, ordinateurs, sèche-linges, ...), l'augmentation de la température de confort intérieure des logements (en hiver), la démocratisation des appareils de climatisation (en été), l'augmentation des ménages monoparentaux, ...

L'Europe manifeste un intérêt grandissant pour l'efficacité énergétique. Son plan reprend de nombreuses mesures, même si on peut parfois leur reprocher de ne pas être assez ambitieuses, ou de ne pas proposer d'objectifs intermédiaires chiffrés précédant les objectifs annoncés à moyen terme.

En France, pays proche de l'Algérie, et l'un des pays en Europe qui connaît un retard, dans ce sens ; les secteurs résidentiels et tertiaires représentent 23% des émissions de dioxyde de carbone, derrière le secteur des transports qui contribue à hauteur de 34 % et celui de l'industrie (19 % pour la combustion à laquelle il faut ajouter 4,8 % si l'on inclut les autres procédés industriels)

²¹ Données tirées thèse de magistère : F.Ruelle, la standard « maison passive » en Belgique, 2008.

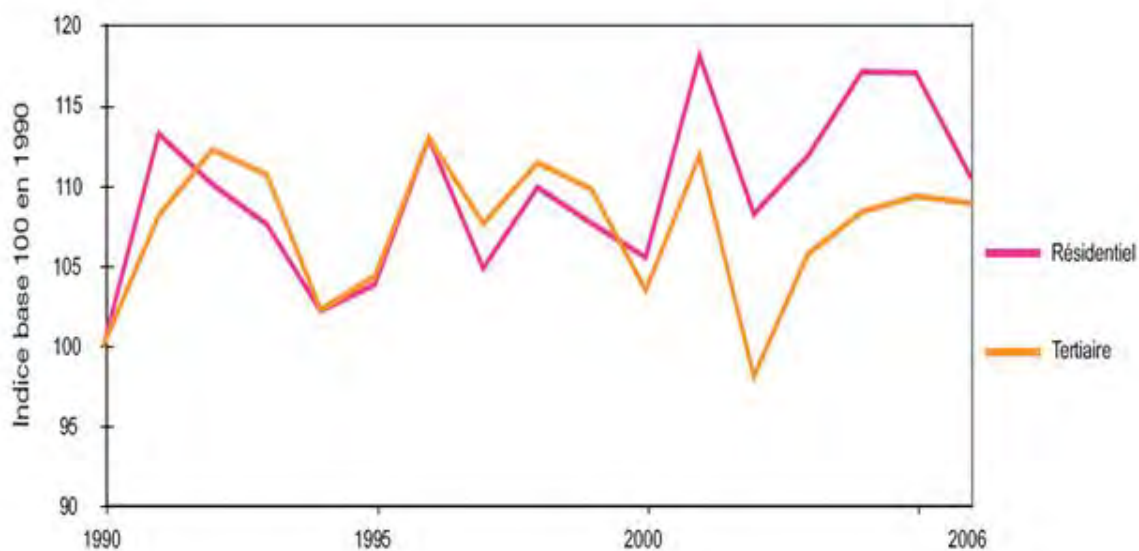


Figure 1.7 : émission des gaz entre le résidentiel et le tertiaire.

Source : Agence européenne de l'environnement.2008.

La production d'électricité et de chaleur compte pour 12 %. La part de ce dernier secteur est faible en France²² en raison de la taille de son parc nucléaire, alors qu'il occupe la première place en tant qu'émetteur de CO₂ dans l'UE (32 %), devant les transports (23 %). Elle s'accompagne de certaines modifications des consommations.

Si l'on examine les combustibles utilisés pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire depuis 1990 (hors électricité et chauffage urbain), on note un accroissement des émissions dues au gaz concomitant au recul de celles découlant de l'usage du fioul et du charbon (voir figure 2.3 ci-dessus).

1.7.3. L'Algérie :

La surconsommation de l'énergie fossile accentuant les émissions atmosphériques de gaz à effet de serre (GES) mais également le fait que le bâtiment soit le premier poste de consommation de l'énergie, plus de 40% du bilan énergétique annuel est consommé par ce secteur. Cette consommation, qui a triplé durant les trois dernières décennies dans le bassin méditerranéen et il est prévu sa multiplication par le même facteur d'ici l'an 2025, a impulsé chez les chercheurs, algériens cette fois, l'idée de repenser la maison de demain.

²² Bilan énergétique de la France pour 2008, Commissariat général au développement durable, Service de l'observation et des statistiques : http://www.statistiques.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/bilan_energ_08_avec_correctionP12_cle09597f.pdf.

Le deal étant de concrétiser via matériaux et équipements “durables” l’efficacité énergétique dans le secteur de la construction. Il faut dire qu’à l’heure où les sociétés modernes en sont à réaliser des “éco-quartiers”, déjà très présents en Europe du Nord (Comme BedZed : Beddington Zero Energy “fossil” Development, nom futuriste donné au quartier défavorisé situé au sud de Londres) et des villes vertes et ont développé, comme c’est le cas en Allemagne, le concept insolite “Bepos” (bâtiment à énergie positive).

L’Algérie est loin derrière, et accuse un retard certain dans le domaine du développement durable. C’est dire le peu d’intérêt encore accordé par les pouvoirs publics aux avancées technologiques dans le secteur de la construction notamment. Des tentatives timides verront le jour en Algérie, avec le lancement des logements sociaux type HPE-haute performance énergétique, ainsi qu’un prototype conçu et réalisé par le Centre national d’études et de recherches intégrées du bâtiment (Cnerib) en collaboration avec le CDER (Centre de développement des énergies renouvelables) a été sélectionné dans le cadre d’un concours lancé par le programme MED-ENEC (Mediterranean Energy Efficiency in Construction Structure) en 2006²³.

En substance, les principales contraintes techniques imposées aux architectes bioclimatiques et aux techniciens ont essentiellement porté sur la mise en œuvre des mesures relatives à l’efficacité énergétique dans le bâtiment à travers l’application de la réglementation thermique, l’utilisation des énergies renouvelables et le développement de nouveaux matériaux et systèmes constructifs à haute qualité énergétique. L’augmentation fulgurante de l’activité de construction en Algérie (immeubles d’habitation, grands équipements, villes nouvelles...) n’est pas un moindre détail car « le secteur du bâtiment, est juste titre celui où l’on peut économiser le plus d’énergie.

Pour rappel, en 2000, il y a donc de cela onze ans, le décret 2000/90 du 24.04.2000 portant réglementation thermique des bâtiments neufs était censé être appliqué immédiatement pour les bâtiments publics, contre 5 ans pour la construction individuelle. Rien n’en fût ! Alors que déjà bien plus tôt, soit en 1997 et 1999 – ce qui aurait dû faire avancer les choses – le Cnerib avait élaboré deux DTR (documents techniques réglementaires) y afférents. Il y est question d’atteindre l’efficacité énergétique via la maintenance du niveau de confort situé d’après) entre 18°C et 25°C.²⁴

²³ <http://www.cder.org>, consulté en juin 2010.

²⁴ : OMS : organisation mondiale de la santé

En effet, la maison durable se devait de répondre à des impératifs tant technologiques qu'environnementaux par l'application des mesures passives, d'une part, et des mesures actives, d'autre part. Pour ce qui est des premières, il s'agit de l'orientation (le sud est privilégié pour limiter au maximum la facture énergétique), l'ombrage naturel (par les plantations), la ventilation naturelle, l'isolation de l'enveloppe, le double vitrage (qui divise par deux à trois, le flux de chaleur), l'éclairage naturel et les lampes à basse consommation et l'isolation optimale de l'enveloppe.

La brique de terre, la pierre, le gypse... des matériaux à valoriser. En Algérie, ce sont les matériaux locaux tels que la brique de terre ou béton de terre stabilisé (BTS) et la pierre, les deux ne nécessitent pas d'énergie lors de leur extraction et fabrication puisque le plus souvent extraites de l'assiette en question, mais également le plâtre et le gypse qui sont privilégiés dans notre pays. Les mesures actives concernent, en outre, le recours aux panneaux solaires (utilisation de l'énergie solaire) pour l'eau chaude sanitaire, et la production de l'électricité. Intégrées dans le bâtiment, ces mesures permettent de réduire jusqu'à **50%** la consommation énergétique, de préserver l'énergie fossile et d'atténuer les émissions de CO₂.

Et si la maison durable requiert près de 10% d'investissement supplémentaire, il faut savoir que la facture énergétique est amortie sur les 10 ans à venir.

1.7.3.1.L'énergie et le bâtiment en Algérie :

D'après les données de l'année 2005 (seule source disponible actuellement), issues du ministère de l'énergie et des mines, la consommation énergétique finale nationale a atteint 17 millions de tep²⁵ en 2005 (document intitulé : Consommation énergétique finale de l'Algérie, chiffres clés année2005).

Elle ne cesse de progresser depuis, due au nombre important des logements qui on été lancés ces dernières années à travers tout le pays, conséquences ; augmentation de la demande énergétique et émission de gaz à effet de serre, jusqu'à arriver à des seuils assez conséquents, qui peuvent avoir des conséquences fatales sur l'environnement de notre pays.

²⁵ Tep=tonne équivalent pétrole

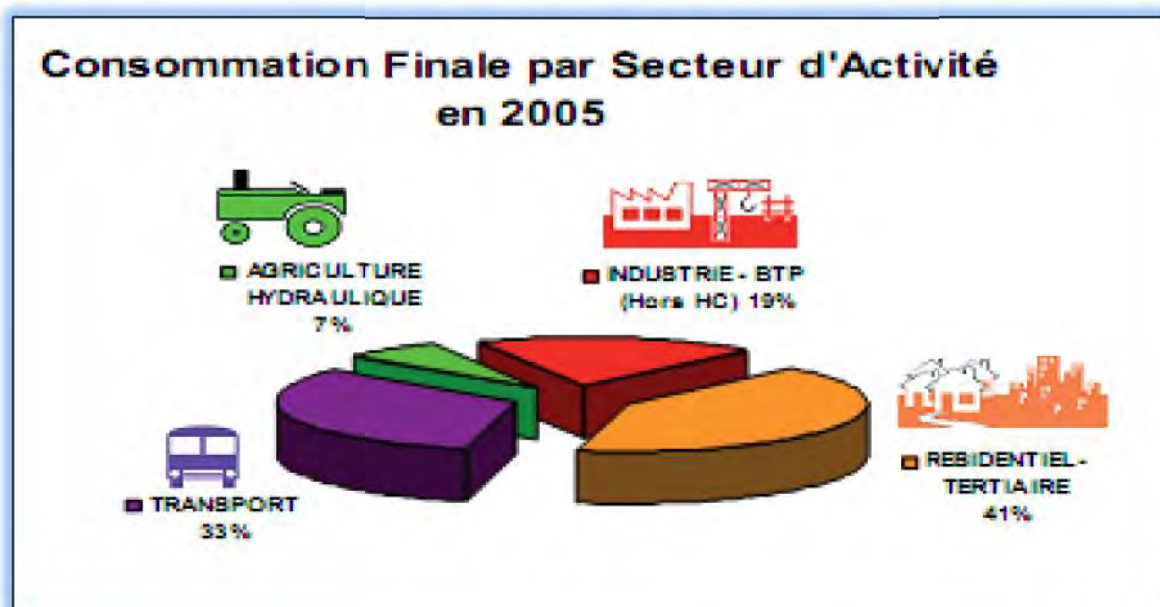


Figure 1.8 : La consommation finale par secteur d'activité en Algérie, année 2005. Source : MEM

La population a atteint 32,906 millions d'habitants en 2005, et 35,6 millions en 2010²⁶, avec une superficie de 2 381 741km². Ce qui signifie la forte demande actuelle d'énergie. Les émissions dues à l'énergie consommée sont estimées à 40 000 tonnes équivalent CO₂.

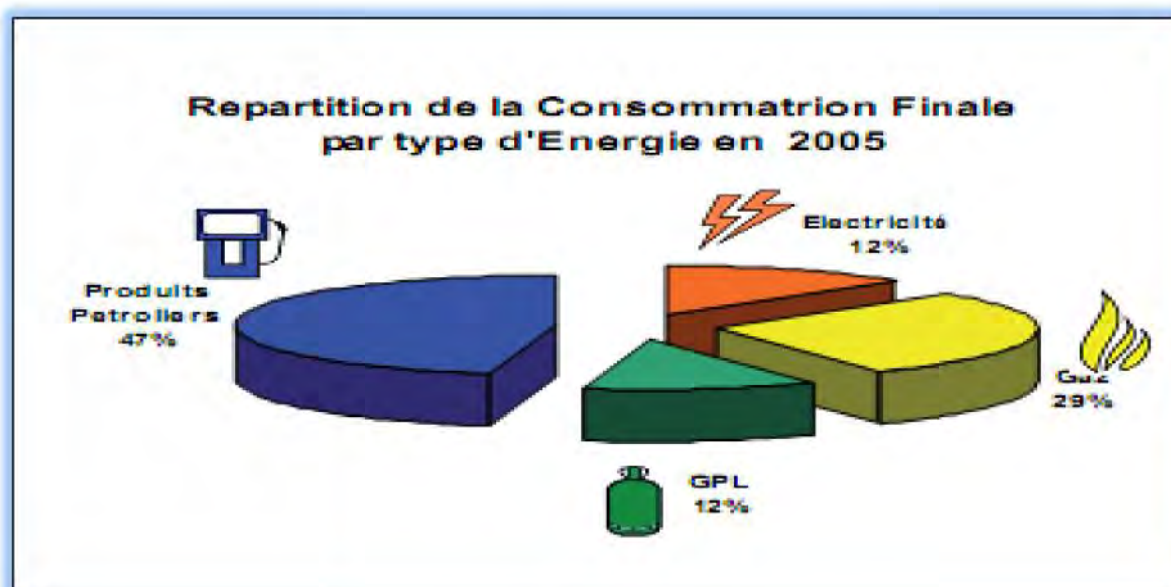


Figure 1.9 : La répartition de la consommation finale par type d'énergie, année 2005. Source : MEM

- La Consommation moyenne : 0,694 tep/hab.
- Les émissions dues à l'énergie : 1,22kg équivalent CO₂ /hab.

²⁶ Source : RGPH (Recensement Général de la population et de l'habitat), avril 2008.

Tableau 1.1 : La répartition de la consommation finale par type d'énergie, année 2005. Source : MEM

KTEP/PCI/2005	Solides	Essence	Gas Oil	Fuel lourd	Fuel léger	GPL	GN	Electricité	Total
INDUSTRIE + BTP	0	0	548	0	0	72	2 078	528	3 226
RESIDENTIEL	0	0	1 165	0	54	1 498	2 509	807	6 034
TERTIAIRE	0	0	101	0	0	55	360	498	1 013
TRANSPORT	0	2 377	2 482	334	0	338	0	4	5 536
AGRICULTURE +HYDRAULIQUE	2	0	862	0	0	0	0	266	1 130
Consommation Finale	2	2 377	5 158	334	54	1 964	4 947	2 104	16 939

L'hydraulique de 7,68%, suivi du résidentiel -tertiaire 6.28%, puis l'industrie 5.86% et le transport 4,49%.

- Un taux de croissance annuel moyen (TCAM) pour les produits gazeux de 6.14% suivi de l'électricité 6%, puis les produits pétroliers en troisième position avec un taux de 5.20%.

A partir des figures et tableaux précédents, on peut confirmer que le bâtiment en Algérie est le principal consommateur d'énergie et le plus pollueur après les hydrocarbures. Et le premier dans la chaîne de consommation d'énergie électrique²⁷, notamment l'« électricité spécifique²⁸ ». En général, la consommation finale de ce secteur a atteint les six-6-millions de tonne équivalent pétrole (tep) dans l'année 2005.

1.7.3.1.1. Évolution de la consommation d'énergie en Algérie :

La croissance de la consommation de l'électricité en Algérie a atteint son niveau le plus élevé dans les années soixante-dix, avec un taux de croissance annuelle moyen de 13 % enregistré de 1970 à 1980. Durant la dernière décennie, cette croissance a été pratiquement stable autour d'un taux annuel moyen de 5,6%, dont le taux d'équipement des ménages est de 70%. Avec un parc logement qui tourne autour de 5.745.645 millions de logements dont 60% urbain, en 2007, le parc logement est arrivé à 7 millions et par conséquent sa consommation a augmenté aussi. Arrivé à 52% de la consommation finale en 2009²⁹, répartie entre gaz naturel et électricité avec un total de 16,1 MTEP (million équivalent pétrole).

²⁷ Source : Sonelgaz, 2005. Disponible sur www.sonelgaz.dz.

²⁸ L'électricité spécifique correspond à l'électricité nécessaire pour les services qui ne peuvent être rendus que par l'usage de l'énergie électrique. On ne prend pas en compte dans l'électricité spécifique : l'eau chaude, le chauffage et la cuisson qui peuvent utiliser différents types d'énergie.

²⁹ www.mem-algeria.org/fr/statistiques/bilan_Energetique_National_2009_edition_2010.pdf. Consulté en juin 2010.

La répartition par produit énergétique de la consommation du secteur des ménages et autres fait, ressortir la prédominance de deux produits énergétiques : électricité et gaz naturel. La demande croissante en énergie électrique de ce secteur, exige des investissements importants pour satisfaire cette demande. L'accessibilité à l'énergie, à des prix abordables et reflétant les coûts réels de production des services énergétiques, nécessite la mise en place d'une stratégie intégrant de nouvelles approches de rationalisation de l'énergie. Le secteur des ménages et autres, grand consommateur d'énergie, constitue, en même temps, un important potentiel d'économie d'énergie.

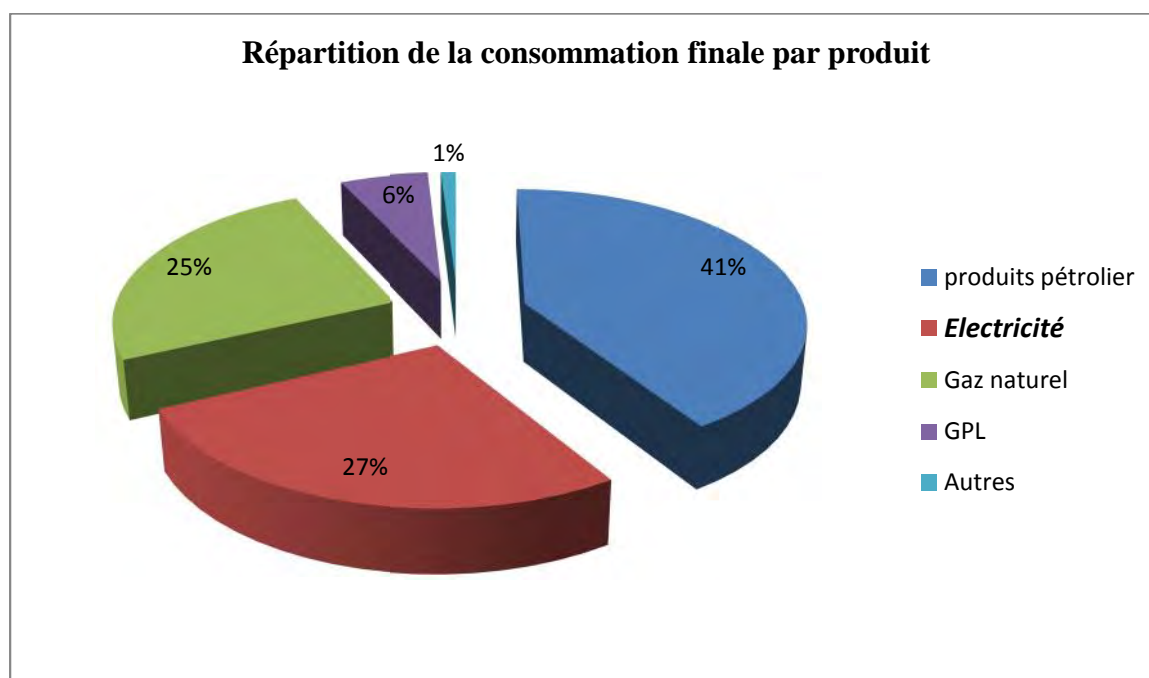


Figure 1.10 : ratio de consommation finale par produit, source : Bilan Energétique National 2009.

Cette domination de la consommation électrique et gaz par le bâtiment, oblige l'empreinte d'une bonne stratégie politique de gestion des énergies, par les acteurs de ce secteur, car elle peut induire un gain énergétique assez-conséquent, en optant l'approche bioclimatique dans la conception, la réalisation et enfin la gestion.

Nous penchons beaucoup plus dans notre recherche, sur la consommation électrique qui ne cesse augmenter d'année en année, dans ce secteur sensible. La figure 1.11 ci-dessous, est la preuve, car dans les quarantaines d'années marquées sur le schéma, la consommation a été multipliée par six.

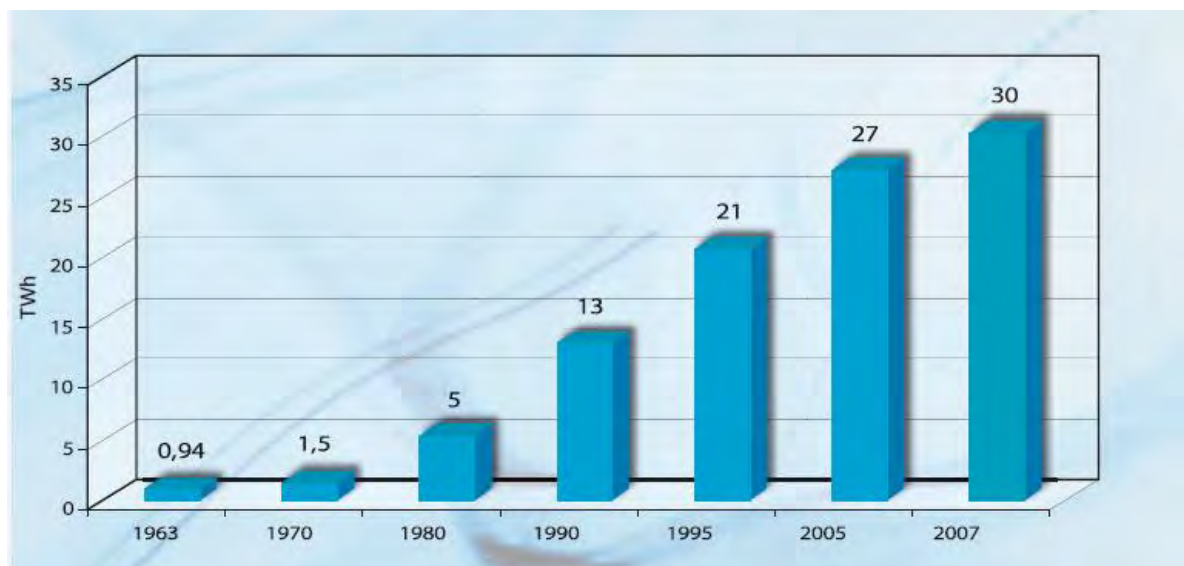


Figure1.11 : historique de consommation électrique 1963-2007. Source : Sonelgaz

1.7.3.2. Les Labels et le bâtiment algérien :

L'efficacité énergétique des bâtiments a certes progressé, ces dernières années en Europe, très peu voire négligeable en Algérie, mais beaucoup reste à faire si nous voulons atteindre les objectifs de « Kyoto ». En comparant au parc de logement Français, celui-ci compte 30,2 millions de logements, dont 63% ont été construits avant 1975, ces logements sont relativement peu voire pas du tout isolés, ce qui signifie, qu'ils subissent une grande déperdition thermique, et de ce fait consomment beaucoup plus d'énergie, donc fortement émetteurs de gaz à effet de serre (GES)³⁰.

En ce qui concerne le parc algérien, le phénomène est renversé, le parc nouveau, compte plus de 7 millions de logements au 1^{er} janvier 2007⁴. Ce chiffre qui a augmenté ces jours-ci, ne répond pas aux recommandations bioclimatiques, et ne respecte pas les réglementations thermiques (RT) exigeantes. On peut affirmer qu'il n'existe, à ce jour aucune réglementation technique pour la réalisation des bâtiments bioclimatiques³¹.

La vie quotidienne dans le bâtiment induit des consommations énergétiques, et donc des émissions de gaz à effet de serre, à travers le chauffage, la climatisation, la production d'eaux chaudes, la cuisson et l'utilisation d'électricité, en régime d'utilisation, mais aussi dès le processus de construction : plus de 10% de CO₂, 20% de dioxyde de soufre proviennent de la phase de construction, en outre, on peut également considérer à quel point les matériaux

³⁰ Les différents gaz à effet de serre : le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O), les hydrofluorocarbures (HFC), les hydrocarbures per fluorés (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF₆).

³¹ M.Ould-henia « Recommandations architecturales ». ENAG, Algérie, 1993.

utilisés et leurs débris sont recyclables³². Cette facture pèse lourd dans le budget du ménage algérien. La consommation d'énergie des bâtiments a augmenté de 30% au cours des 30 dernières années, à cause de l'accroissement du parc en question. D'autres pays sont vite allés obliger l'utilisation des étiquettes de performance énergétique, pour arriver à réaliser des bâtiments neufs à basse consommation de 80 voire 50 kWh/m²/an, au lieu de 300 kWh/m²/an³³, et définir des exigences réglementaires des niveaux de performance énergétique des constructions neuves : HPE, HPE EnR, THPE, THPE EnR et BBC (voir liste des abréviations). Ainsi, actuellement en Suisse, le label « Minergie » vise une consommation globale égale à 35% de celle d'un bâtiment conventionnel et l'utilisation renforcée des énergies renouvelables. Le standard « maison passive », d'origine Allemande, vise une consommation de 20%, ce qui permet même, grâce à l'utilisation notamment de capteurs photovoltaïques, de concevoir des bâtiments « à énergie positive » qui produisent plus d'énergie (thermique+électrique) qu'ils n'en consomment.

Toutes ces constructions peuvent être labélisées par des institutions reconnues telles que : EFFINERGIE, MINERGIE, BPOS, PASSIVHAUS...

D'autres visent à plus d'exhaustivité avec des méthodes multicritères qui peuvent utiliser au-delà des frontières de leur pays d'origine. Il en est ainsi par exemple des méthodes BREAMM (Grande-Bretagne, la première utilisée), LEED (Etats-Unis, Canada), DCBA (Hollande), Green Building Tool (développée par l'association Green Building Challenge qui regroupe 14 pays). En France, la « démarche HQE », s'appuie sur la définition d'objectifs environnementaux répertoriés en quatre thèmes et quatorze cibles.

Les institutions algériennes ne sont pas arrivées encore à ce stade, et le bâtiment algérien reste toujours soumis à des cahiers des charges classiques, négligeant tous les paramètres climatiques. Cette négligence des qualités énergétiques des bâtiments algériens, est due à l'importation massive et irréfléchie des modèles industrialisés à forte consommation énergétique et insuffisamment maîtrisés par notre pays. En conséquence, cette tentative de transplantation d'un type de construction, conçu par d'autres latitudes, dans nos régions aux caractéristiques climatiques spécifiques (hauts plateaux, Sahara...), s'est heurtée à un phénomène de rejet très fort. Malgré tout ça, des tentatives commencèrent à voir le jour, l'OPGI à lancer des concours de conception bioclimatiques type HPE (haute performance énergétique), dans plusieurs wilayas, mais l'opération reste insuffisante.

³³ Objectif à atteindre par toutes les institutions européennes, Source : www.Effinergie.org, consulté en juin 2010.

1.8. Le bio climatisme et le développement durable :

A travers les deux aspects, celui des ressources finies et celui des risques liés à une démographie incontrôlée, surtout dans les pays les plus pauvres, c'est la gestion globale de la planète et de ses écosystèmes que l'homme se doit de mettre en œuvre. Malgré des hauts et des bas dans les volontés politiques et surtout des variations considérables d'un pays à l'autre, la commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU pouvait, dans son rapport intitulé *notre avenir à tous*, dit rapport Bruntland, en 1988, proposer que les nations adoptent officiellement la notion de *sustainable development* dont la difficile traduction française (développement durable) est le terme consacré peut prêter à confusion. Sa définition est la suivante :

« Le développement durable est un développement social, économique et politique, qui répond aux besoins présents, sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leur propre développement. »

Cette notion fait apparaître la nécessité, tout à fait nouvelle dans son affirmation internationale officielle, d'une double solidarité : solidarité entre tous les peuples de la planète et solidarité entre les générations. Chaque acteur de chaque secteur de la vie économique se trouve donc confronté à la responsabilité qui lui incombe dans la gestion globale des ressources et de l'environnement.

Le bio climatisme se place comme solution incontournable, à cet effet, la compréhension des phénomènes physiques de base liés au climat est essentielle à la bonne gestion d'un projet d'architecture. Cependant, celle-ci ne doit pas être considérée sous un angle exclusivement technique, très réducteur. Dans la position de l'architecte, elle doit au contraire être abordée telle qu'elle est définie dans le concept d' « architecture bioclimatique » ou, plus simplement, d'« architecture climatique », en prenant cette appellation dans son acception la plus large. Cette conception s'est devenue obligatoire, vue les enjeux-cités au paravent-qui en découlent.

1.8.1. Définition de la démarche bioclimatique

Le terme bioclimatique fait référence à une partie de l'écologie qui étudie plus particulièrement les relations entre les êtres vivants et le climat.

En architecture³⁴, cette expression vise principalement l'amélioration du confort qu'un espace bâti peut induire de manière naturelle, c'est-à-dire en minimisant le recours à l'énergie non

³⁴ P.Fernandez et P.Lavigne : « Concevoir des bâtiments bioclimatiques », le moniteur, 2009.

renouvelable, les effets pervers sur le milieu naturel et les coûts d'investissement et de fonctionnement. L'intérêt du bioclimatique va donc du plaisir d'habiter ou d'utiliser un espace à l'économie de la construction, ce qui en fait un élément fondamental de l'art de l'architecture. Toutes les échelles de l'architecture sont concernées, de la pièce habitable au fragment de ville, à la fois par l'amélioration à chacun des niveaux et par l'interdépendance de ces différentes échelles d'intervention. Par exemple, la réalisation des conditions de confort dans un bâtiment et l'utilisation des énergies renouvelables exigent la prise en compte de son environnement mais le modifient en retour. Il dépend donc de celui-ci et lui est nécessairement intégré. On peut donc considérer que la démarche bioclimatique consiste à sublimer une contrainte pour en faire un élément moteur de la conception. Notre propos n'est pas de tenter de prôner une telle démarche chez tous les concepteurs. Cependant, il nous semble nécessaire que ces derniers en connaissent les fondements, ne serait-ce que pour apprendre à mieux gérer les interactions entre la dimension climatique et les autres composantes du projet. Il s'agit, en quelque sorte, que le concepteur s'approprie les avancées réalisées dans ce domaine.

1.8.2. Fondements de la démarche bioclimatique

Notre planète, dont on peut négliger l'effet thermique du magma est couche atmosphérique comprise, en équilibre thermique : elle reçoit de la chaleur du soleil et la perd dans le vide qui l'entoure en prenant, en première approximation, une température d'équilibre telle que la chaleur reçue est égale à la chaleur perdue.

Plus précisément, on observe que :

- le rayonnement solaire reçu annuellement dépend de la latitude, pour des raisons purement géométriques (l'équateur en reçoit le maximum et les pôles le minimum) ;
- le rayonnement solaire est fonction de la saison, pour des raisons géométriques également ;
- Le rayonnement reçu n'atteint que partiellement le sol, selon la nébulosité du lieu ;
- Des échanges de chaleur ont lieu entre différentes régions du globe par les déplacements d'air, plus ou moins chaud ou froid, que sont les vents ;
- Selon les lieux, l'air est plus ou moins humide, en particulier en fonction des déplacements des eaux assurées par les vents ;
- la température de l'air décroît avec l'altitude ;

1.9. L'expérience allemande :

L'Allemagne comme étant le pays leader en matière d'utilisation des énergies renouvelables au monde, et éventuellement l'un des rares pays qui ont créé le concept des maisons passives, ce concept a été développé à partir des expériences des années 1970. Alors, entre 1984 - 1995, la consommation d'énergie en besoin de chauffage est passée de 220 kWh/m².an à 100 kWh/m².an, dans ce pays, avec l'adoption de nouvelles normes de protection contre les déperditions (isolation,). L'objectif de cette politique est de faire de l'habitat à Faible Consommation d'Energie (< 70 kWh/m².an), un standard de construction. Quant à l'habitat passif, il reste un objectif à long terme. Actuellement, 3000 projets de démonstration de maisons passives sont en cours d'évaluation en Europe³⁵.

Les normes adoptées, ainsi que les exigences, en termes d'indicateurs de déperditions, sont revues et corrigées périodiquement. Les résultats obtenus par ces pays, en termes d'efficacité énergétique, ont eu des retombées bénéfiques aussi bien sur la qualité du cadre bâti que sur le développement de l'industrie du bâtiment.

Dans le photovoltaïque, l'Allemagne vient en tête devant l'Espagne et le Japon avec une puissance installée de 5400 mégawatts.

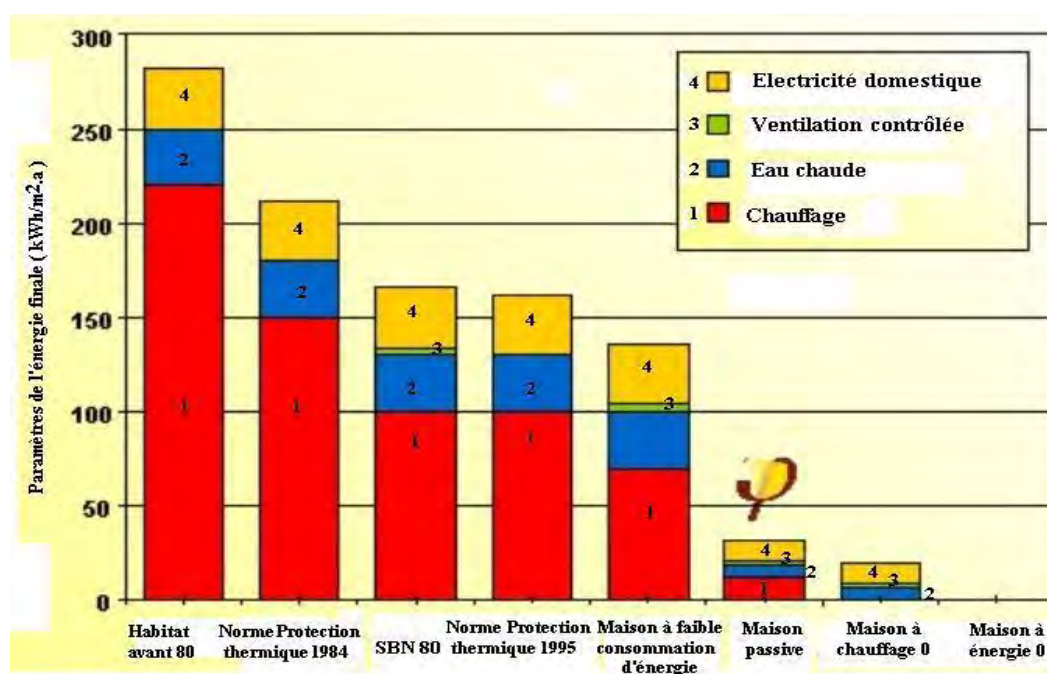


Figure 1.12. Réduction de la consommation énergétique dans l'habitat en Allemagne. Source : Cepheus.

³⁵ www.cepheus.de « passive houses in europe », consulté en février 2011.

1.10. Le contexte du bâtiment algérien :

Compte tenu du contexte de forte croissance de la consommation domestique d'électricité, il serait de l'intérêt des ménages d'investir dans l'amélioration de l'efficacité énergétique de leur habitat et de leurs équipements électroménagers. Selon une étude récente du Centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment (CNERIB), la consommation moyenne d'un appartement en Algérie est estimée à 15,2 m³ par m² par an pour le gaz et à 2200kWh par an pour l'électricité. Néanmoins, cette tendance est très peu répandue, et ce pour diverses raisons. Dans les pays où le prix de l'énergie est subventionné, les ménages ne sont aucunement motivés par la poursuite d'améliorations de la performance énergétique de leur habitat et appareils domestiques, leur facture énergétique demeurant peu élevée. Le prix de l'électricité est effectivement un élément déterminant du niveau de consommation.

Dans les années 1990, l'Algérie développe plusieurs dispositifs réglementaires quant à l'efficacité énergétique dans l'habitat. Suite à une réflexion sur la consommation active et passive des logements neufs initiée en 1995, le ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme met en place des Documents techniques réglementaires (DTR) en 1997. Ceux-ci déterminent notamment les valeurs de référence relatives aux déperditions et aux apports calorifiques concernant les bâtiments neufs à usage d'habitation et tertiaire, les méthodes de calcul des déperditions et des apports calorifiques, les valeurs limites pour le climat intérieur des locaux et les zonages climatiques. Ces DTR ont par la suite été approuvés par le ministère de l'Énergie et des Mines et ont fait l'objet, en 2000, d'un décret portant sur la réglementation thermique dans les bâtiments neufs en application à la loi relative à la maîtrise de l'énergie adoptée le 28 juillet 1999. L'application de la réglementation thermique devait prendre effet dès 2005 et devait permettre de réduire de 30 % la consommation d'énergie des bâtiments neufs, hors poste climatisation. Outre les normes et exigences d'efficacité énergétique portant sur l'isolation thermique dans les bâtiments neufs, la loi sur la maîtrise de l'énergie introduit des normes de performance énergétique des appareils fonctionnant à l'électricité, au gaz et aux produits pétroliers, mais aussi le contrôle d'efficacité énergétique et l'audit énergétique obligatoire et périodique pour les bâtiments du secteur tertiaire. Cette loi prévoit également le financement des actions relatives à la maîtrise de l'énergie par la mise en place d'un Fonds national, qui permettra notamment de mettre en œuvre les différentes mesures incitatives financières prévues par cette même loi. Le FNME (Fonds national pour la maîtrise de l'énergie) est alimenté par des taxes sur la consommation énergétique (électricité et gaz)

prélevées auprès des gros consommateurs (hors PME et ménages), et peut être abondé par des fonds internationaux (FEM, FFEM, etc.). Enfin, en cas de non respect des dispositions énoncées par la loi relative à la maîtrise de l'énergie, des sanctions sont prévues. Elles peuvent se traduire par des taxes, par exemple sur les appareils neufs fonctionnant à l'électricité, au gaz ou aux produits pétroliers dont la consommation est excessive par rapport aux normes d'efficacité énergétique, des amendes pour les établissements qui ne se conforment pas à l'obligation d'audit énergétique dans les 6 jours, ou d'autres sanctions, notamment pour l'infraction aux dispositions relatives à l'étiquetage et la non-conformité aux normes établies par la réglementation thermique dans les bâtiments neufs. Cependant, malgré toutes les dispositions prévues par la loi relative à la maîtrise de l'énergie et la tenue en 2001 d'une « Conférence nationale sur la maîtrise de l'énergie dans un contexte d'économie de marché » recommandant la mise en œuvre opérationnelle des différents outils, organismes et instruments définis par cette loi, il semblerait que la volonté politique des décideurs publics algériens soit axée sur le prix des matières premières : avec l'envolée des prix des hydrocarbures, l'engouement pour la maîtrise de l'énergie visible à la fin des années 1980 aurait disparu et cette préoccupation reléguée au second plan par le gouvernement. En témoigne l'inefficacité du mécanisme de contrôle et de sanctions et par là même la non-application de la réglementation thermique dans les bâtiments neufs. De plus, le système de décision des projets de construction dépendant entièrement de la volonté du Président, aucune concertation n'est engagée avec les acteurs concernés. Ainsi, pour répondre à la pénurie de logements, les critères de construction prioritaires sont la rapidité et le faible coût, et aucune réflexion sur la conception des bâtiments n'est engagée.

En fin des concepts utilisés dans le monde pour définir les caractéristiques de performance énergétiques des bâtiments, certains peuvent être cités ci-après :

1.11. Le bâtiment à énergie positive

Parmi les nombreux concepts de bâtiments performants, le bâtiment à énergie positive est parmi les plus récents [Disch 2008]³⁶. En raison de son haut niveau d'exigence, aucune réglementation et aucun standard ne l'ont encore intégré et sa définition n'est donc pas encore clairement établie.

Identifier les spécificités de ce concept et en proposer une définition est nécessaire et passe notamment par l'analyse des principaux concepts de bâtiments performants existants. L'examen de quelques réalisations correspondant à ces concepts va permettre d'en identifier

³⁶ Site : www.plusenergiehaus.de consulté en juillet 2012.

les éléments techniques (solutions architecturales, méthodes constructives, équipements) les plus adaptés. Finalement, compte tenu des objectifs du bâtiment à énergie positive, il est possible de retenir un certain nombre de solutions techniques éprouvées ou disponibles à court terme qui pourra constituer un bâtiment à énergie positive.

1.12. Les concepts de bâtiments performants

Un concept de bâtiment performant est défini par un ensemble d'objectifs et de solutions techniques destinés à guider le concepteur. Ce dernier, en s'appuyant sur divers outils d'aide à la conception, associe des techniques, matériaux, structures et équipements de manière à atteindre au mieux les objectifs fixés. Enfin, après la mise en service du bâtiment, une phase d'évaluation permet au concepteur et au maître d'ouvrage de quantifier les performances réelles du bâtiment et de les comparer aux objectifs originaux.

1.12.1. Typologie des bâtiments performants

Les concepts de bâtiments performants se trouvent le plus souvent définis dans le cadre de certifications, de labels ou de réglementations. Ils sont alors associés à un cahier des charges décrivant leurs objectifs ou à une méthode d'évaluation de leur niveau de performance. Leurs dénominations sont variées, chacune mettant l'accent sur une caractéristique majeure du bâtiment.

Pourtant le concept sous-jacent ne se résume pas à cette simple caractéristique ; ces dénominations sont nécessairement réductrices. Une typologie des dénominations rencontrées dans la littérature a été réalisée, de manière à faire ressortir les principales caractéristiques de ces bâtiments et les principaux concepts associés. Deux types d'approches se distinguent : des approches purement énergétiques et des approches plus larges.

1.12.1.1. Concepts purement énergétiques

Les concepts purement énergétiques accompagnent des réglementations visant la performance énergétique des bâtiments, la réglementation *Energieeinsparverordnung* [EnEV 2004] en Allemagne) ou sont simplement associées à des labels (*Minergie*® en Suisse¹ [Minergie 2008], *Passivhaus* en Allemagne [Passivhaus 2008], *CasaClima/Klimahaus* en Italie [Klimahaus 2008]). En France, la réglementation propose cinq labels (*HPE, THPE, HPE EnR, THPE EnR* et *BBC 2005*)³⁷, soit plusieurs niveaux de performance différents, et incite à l'intégration de sources d'énergies renouvelables au bâtiment. Pour ces approches, les critères

³⁷ HPE : Haute performance énergétique, THPE : Très haute performance énergétique, EnR : Energies renouvelables, BBC : Bâtiment Basse Consommation énergétique

évalués sont peu nombreux, bien définis et quantifiables ce qui facilite l'identification des concepts sous-jacents. Ceux qui ont été identifiés sont les suivants :

- **Le bâtiment à basse consommation** ou « *basse énergie* » (en anglais : *low energy house*) :

Ce bâtiment se caractérise par des besoins énergétiques plus faibles que les bâtiments standards. Ce premier niveau de performance peut être atteint par l'optimisation de l'isolation, la réduction des ponts thermiques et l'accroissement des apports passifs. Ce concept ne comprend a priori aucun moyen de production local d'énergie, sans toutefois l'exclure.

- **Le bâtiment « passif »** (en allemand : *Passivhaus*, en anglais : *passive house*) :

Ce bâtiment très faiblement consommateur d'énergie ne nécessite pas de systèmes de chauffage ou de rafraîchissement actifs : les apports passifs solaires et internes et les systèmes de ventilation suffisent à maintenir un ambiance intérieure confortable toute l'année. Ce concept inclut également une réduction des besoins en électricité spécifique et éventuellement une production d'électricité à base de sources d'énergie renouvelables. En pratique, un petit système d'appoint est nécessaire au maintien du confort thermique durant les jours les plus froids ; il est le plus souvent associé à la ventilation.

- **Le bâtiment « producteur d'énergie »** (en anglais : *near zero energy house*) :

Il est doté de moyens de production d'énergie locaux. Cependant, cette dénomination ne spécifie ni le niveau de consommation ni la part de cette consommation couverte par la production ni même la nature de l'énergie produite. Il s'agit donc plus d'une caractéristique du bâtiment que d'un concept de bâtiment à proprement parler. L'expression "*bâtiment producteur d'énergie*" est néanmoins parfois employée pour désigner un « bâtiment à énergie positive ».

- **Le bâtiment « zéro énergie »** ou « zéro net » (en anglais : *net zero energy house*) :

Ce bâtiment combine de faibles besoins d'énergie à des moyens de production d'énergie locaux. Sa production énergétique équilibre sa consommation si celle-ci est considérée sur une année. Son bilan énergétique net annuel est donc nul [Bernier 2006].

- **Le bâtiment « à énergie positive »** (en allemand : *Plusenergiehaus*) :

Ce bâtiment *producteur d'énergie* dépasse le niveau « zéro énergie » : il produit globalement plus d'énergie qu'il n'en consomme. Comme le précédent, ce bâtiment est raccordé à un réseau de distribution d'électricité vers lequel il peut exporter le surplus de sa production électrique [Disch, 2008 ; Maugard *et al.* 2005].

▪ Le bâtiment autonome

Un bâtiment est autonome lorsque sa fourniture énergétique ne dépend d'aucune ressource distante. Ainsi la totalité de l'énergie consommée par le bâtiment est produite sur place à partir de ressources locales. En pratique, le bilan net d'énergie de ce bâtiment est nul à tout instant. Un tel bâtiment se passe des avantages apportés par les réseaux d'approvisionnement (foisonnement, sécurité d'approvisionnement), ce qui impose l'usage de moyens de stockage d'énergie (batteries d'accumulateurs, inertie thermique etc.). Ce type de bâtiment est particulièrement adapté aux sites isolés ou insulaires car il évite les coûts de raccordement aux divers réseaux.

1.12.1.2. Concepts plus larges :

Certains concepts découlent d'approches globales qui prennent en compte un grand nombre d'interactions du bâtiment avec son environnement, la question énergétique ne formant qu'une partie de ces interactions. C'est le cas des méthodes *CASBEE* (Japon) [CASBEE 2008], *LEED* (États-Unis d'Amérique) [USGBC 2008] et *BREEAM* (Royaume-Uni) [BREEAM 2008] qui visent une labellisation ou une certification, mais aussi de la *norme R-2000* au Canada, qui est associée à une réglementation [R2000 2005]. En France, la *démarche HQE®* (Haute Qualité Environnementale), proposée aux maîtres d'ouvrage, ne fixe aucun objectif de performances [AssoHQE 2006]. Des organismes certificateurs proposent des référentiels.

Ces différentes approches globales visent à apprécier la « qualité environnementale » du bâtiment. Cependant, les critères de performances environnementales considérés sont nombreux et variables selon les approches. D'autres concepts sont basés sur une approche économique. Les principaux concepts identifiés sont les suivants :

▪ « **zero utility cost house** », « net zero annual energy bill » ou « zero energy affordable housing » :

Ces expressions, plutôt évoquées au Japon ou aux États-Unis d'Amérique, désignent des bâtiments dont la facture énergétique est nulle : la vente d'une partie de la production énergétique du bâtiment compense les frais engendrés par l'achat de l'énergie consommée (électricité, hydrocarbures etc.). Cette approche est privilégiée dans l'habitat social pour lequel la facture énergétique représente une part importante du budget des occupants. L'objectif est atteint grâce à la réduction des consommations et à l'usage de ressources énergétiques renouvelables gratuites. Mais le bilan dépend de facteurs non physiques tels que les prix des énergies ou les offres commerciales des fournisseurs.

- « **maison neutre en carbone** », « maison zéro carbone » ou « bâtiment à émission zéro » (en anglais : *carbon neutral house* ou *low carbon house*) :

Ces expressions désignent un bâtiment dont le fonctionnement n'induit aucune émission de CO₂. Cette orientation, qui s'inscrit dans la démarche du protocole de Kyoto, vise à réduire la participation du bâtiment à l'accroissement de l'effet de serre. La démarche "zéro carbone" est généralement associée à un mode de vie, dont la portée, au-delà du bâtiment, englobe les modes de déplacement, voire les modes de consommation des occupants du bâtiment. L'une des conséquences de cette démarche est l'utilisation exclusive de ressources énergétiques renouvelables. Le projet *BedZed*, en Angleterre, a été réalisé selon ce principe [BedZed 2008].

- **Le bâtiment « vert », « durable », « soutenable » ou « écologique »** (en anglais : *green building*) :

Ces qualificatifs font référence à des notions surtout symboliques dont les concepts associés sont mal définis⁴. Ils dépassent très largement le cadre énergétique et soulignent plutôt le faible impact **environnemental** du bâtiment, par exemple par les matériaux mis en œuvre. L'une des multiples facettes de tels bâtiments peut éventuellement correspondre à l'un des concepts présentés plus haut.

- **Le bâtiment « intelligent »** (en anglais : *intelligent building*) :

Cette expression désigne un bâtiment qui présente une forme « d'intelligence », généralement apportée par des automates programmables et des systèmes informatiques de supervision. Ces équipements visent à améliorer la gestion de certaines fonctions modulables du bâtiment, telles que la protection solaire, la ventilation, le chauffage, l'éclairage ou la sécurisation des accès. Il existe une multitude de définitions de ce concept [Wong *et al.* 2005], cependant l'objectif essentiel du bâtiment intelligent semble être l'amélioration du confort et de la productivité des occupants à l'intérieur du bâtiment. Par conséquent les préoccupations énergétiques et environnementales peuvent y être secondaires, voire absentes.

1.12.2. Les critères d'évaluation propres aux bâtiments performants

Il apparaît une forte convergence des concepts autour de quelques caractéristiques principales telles que :

- le besoin énergétique annuel de chauffage, rapporté à une surface, généralement la surface chauffée.
- la consommation d'énergie, également par unité de surface, pouvant inclure le chauffage, mais aussi l'eau chaude sanitaire, l'éclairage, la ventilation, les auxiliaires, voire les autres usages de l'électricité, cet indicateur étant le plus souvent exprimé en énergie primaire

- la production d'énergie à partir de ressources renouvelables :

Les concepts diffèrent surtout par les niveaux d'exigence de chacun d'eux vis-à-vis de ces caractéristiques. Ces niveaux d'exigence constituent des critères permettant de vérifier si les objectifs du concept sont atteints.

Quelques caractéristiques secondaires peuvent s'ajouter aux précédentes, telles que :

- l'étanchéité du bâtiment à l'air.

- les performances des équipements et des matériaux mis en œuvre.

- des éléments non énergétiques, tels que la nature des matériaux (naturelle ou synthétique), le surcoût de la construction, les émissions de CO₂, le niveau de confort thermique etc.

1.13. Conclusion :

Le premier constat est que l'accélération du changement climatique est brutale, profonde, définitive. L'effet de serre inaugure une période nouvelle sur toute la surface de la terre et pour tous les peuples, l'Algérie pays appartenant au bassin méditerranéen, considéré comme vulnérable ne sera pas à l'abri. L'immobilisme est interdit, les effets de cette menace sont prévisibles, calculés, dévastateurs, ces changements climatiques se déroulent sous nos yeux : des perturbations considérables, des catastrophes multipliées, dont les images devraient affoler les plus incrédules, mais une chose est certaine, la machine climatique a une inertie très forte. Nos sociétés ont atteint une étape particulière dans la maturité de leur organisation, nous sommes dans des temps très modernes. Cette modernité, cet accaparement du progrès, cette obsession quantitative de besoins non réfrénés, voilà qu'il va falloir en briser l'agencement. Cette nécessité est là, tout à fait nouvelle dans son affirmation internationale officielle, d'une double solidarité : solidarité entre tous les peuples de la planète et solidarité entre les générations. Chaque acteur de chaque secteur de la vie économique se trouve donc confronté à la responsabilité qui lui incombe dans la gestion globale des ressources et de l'environnement³⁸. Il faut que nous soyons les maîtres d'un art de l'alarme. Nous sommes face à des phénomènes sans précédent, auxquels par facilité nous apportons quelques correctifs, souvent techniques, parfois juridiques, mais de remise en cause très peu. Cette dimension fatale qui accompagne l'effet de serre nous permet de réécrire toutes nos politiques publiques, qu'aucune ne peut échapper à ce surgissement de l'écologie, comme une donnée, une contrainte, un moyen. Mais en même temps, parce que c'est un geste, un devoir, une prise de conscience et que nous évoluons plus que jamais dans la sphère civile, comprendre ce

³⁸ P. Fernandez, P. Lavigne, « Concevoir des bâtiments bioclimatiques », le moniteur, 2009.

risque, bien établir ce défi, c'est engager une politique sous le signe du privé, c'est à dire ne pas considérer que l'Etat en est le seul acteur, mais que le gouvernement de cet avenir-là appartient à chacun, qu'il est l'écriture nouvelle de l'éthique, qu'il appartient à chaque personne d'être l'agent de cette action qui guide l'espoir des générations futures. Les écoles, les mosquées, etc. Tous doivent s'y mettre. Le changement climatique est l'affaire de tous : Etat, collectivités locales, entreprises, associations, citoyens...à cet effet les maîtres d'œuvres et architectes devront commencer par une conception bioclimatique qui a pour objectif d'améliorer le confort qu'un espace bâti peut induire de manière naturelle. Elle permet de réduire le recourt aux énergies non renouvelables et les coûts d'investissements et de fonctionnement, à l'échelle d'un bâtiment comme à celle d'un quartier.

CHAPITRE II : LES ENERGIES RENOUVELABLES : SOLUTION INCONTOURNABLE

2.1. Introduction :

Les réserves de la planète en minerais et en combustibles d'origine fossile sont limitées, ainsi, l'exploitation du charbon, du pétrole, du gaz et de l'uranium ne sont pas viables à long terme. Heureusement, les énergies renouvelables provenant des flux de régénération de la nature sont inépuisables et n'ont pas à long terme d'effet négatif sur l'environnement. Aussi, ces sources naturelles pourraient devenir dans le futur la base de l'alimentation en énergie, et probablement le seul moyen de produire de l'électricité. Les prochaines années s'annoncent prometteuses pour les énergies propres. La lutte contre le changement climatique, le développement de la production d'électricité décentralisée et le progrès technique devraient donner un formidable coup de fouet à ces jeunes filières.

La figure 2.1 fournit une vue d'ensemble des principales ressources énergétiques¹ sur terre qui peuvent être exploitées pour créer de manière viable de l'électricité :

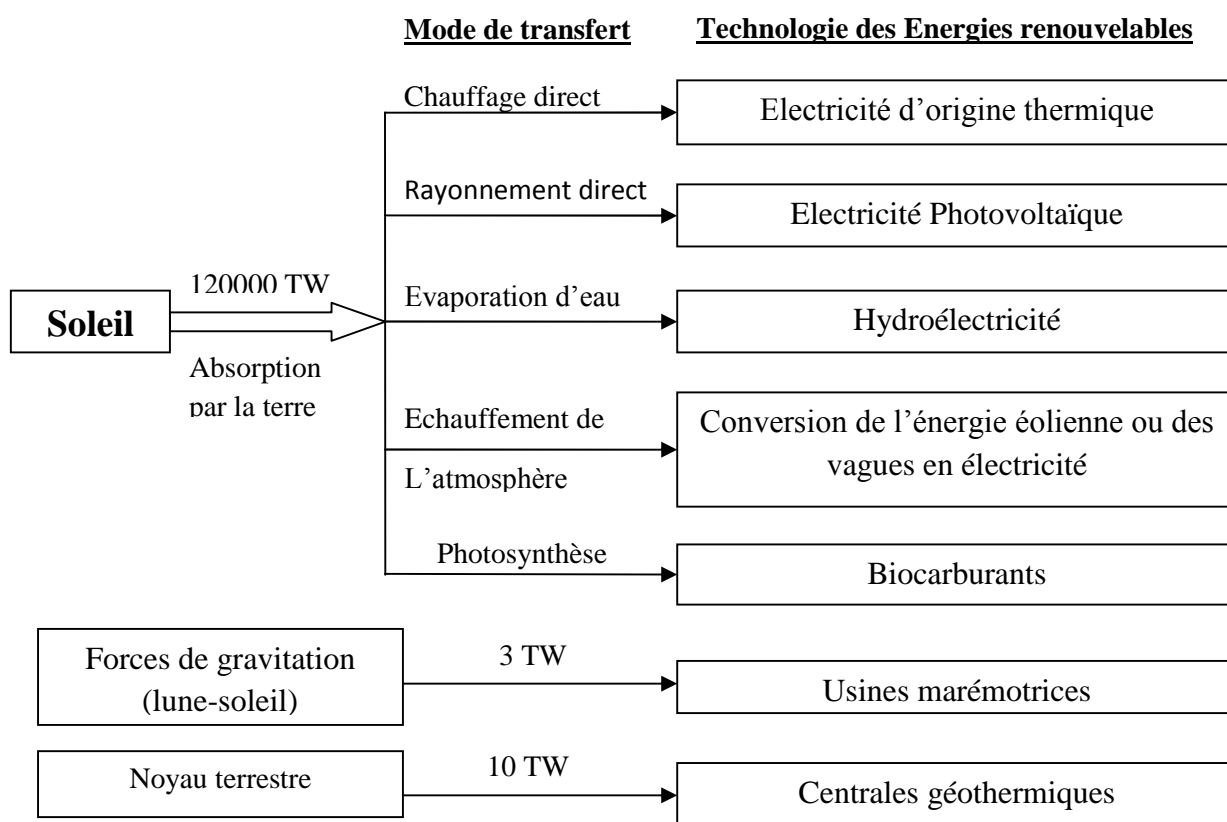


Figure 2.1-les parcours de conversion pour les énergies renouvelables. Source :L.Freris

¹ L.Freris et al « les énergies renouvelables pour la production de l'électricité »2009.

Les énergies renouvelables, solaire, hydroélectricité... sont toutes issues de l'énergie solaire. Seule la géothermie et les marées échappent à cette règle. Hormis l'énergie marémotrice provenant des forces d'attractions combinées du Soleil et de la Lune, toutes les énergies renouvelables et non renouvelables provenant (figure 2.1) :

- soit du soleil, (due à la fusion nucléaire de l'hydrogène),
- soit de la Terre, (due à la désintégration naturelle des roches de la croûte terrestre).

2.2. Energies Renouvelables :

Au vue de la loi Algérienne, les énergies renouvelables²qualifiées en tant que tel sont :

Les formes d'énergies électriques, mécaniques, thermiques ou gazeuses sont obtenues à partir de la transformation du rayonnement solaire, de l'énergie du vent, de la géothermie, des déchets organiques, de l'énergie hydraulique et des techniques d'utilisation de la biomasse (voir figure 2.2). Toutefois, de nombreux experts estiment que la part des énergies renouvelables, même si elle augmente dans les années qui viennent, restera globalement faible. D'une part, parce que les ressources d'énergies fossiles sont encore considérables³ : 40 ans de réserves prouvées de pétrole, 62 ans pour le gaz, 400 ans pour le charbon. D'autre part, parce que les énergies renouvelables resteront probablement toujours plus chères que les énergies classiques.

Cette source solaire fournit des rayonnements en moyenne, interceptés par la surface de la terre, équivalent à 8000 fois plus grand que la consommation d'énergie primaire. Avec la population mondiale actuelle, ce taux monte à une moyenne incroyable de 20 MW par personne (20 millions de W). Donc, le flux d'énergie peut être obtenu directement en utilisant une technologie thermique ou photovoltaïque, ou indirectement, grâce au vent, aux vagues, aux barrages sur rivière et aux biocarburants. La plupart des énergies renouvelables sont facilement convertibles en électricité. Mais les énergies solaire, géothermique ou provenant de la biomasse peuvent aussi servir à fournir de la chaleur. Elles peuvent assurer tous les services prévus par les sources conventionnelles : le chauffage, la réfrigération, l'électricité, et quoiqu'avec difficulté et surcoût pour le transport. Pour une source naturelle, c'est un avantage supplémentaire de pouvoir aussi fournir de l'énergie à des zones éloignées sans avoir besoin d'un réseau de transport coûteux. Il est important de noter qu'il n'est pas toujours nécessaire de convertir une énergie renouvelable en électricité. L'eau chaude solaire ou l'éolienne actionnant une pompe à eau sont des exemples de systèmes pouvant

² La loi nationale n°04/09 du 14 Aout 2004, relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.

³ Ministère Algérien de l'énergie et des mines, « guide des énergies renouvelables », 2007.

fonctionner sans aucun circuit électrique. Cependant, pour satisfaire de plus en plus les besoins des consommateurs, les énergies renouvelables seront surtout utilisées sous forme électrique.

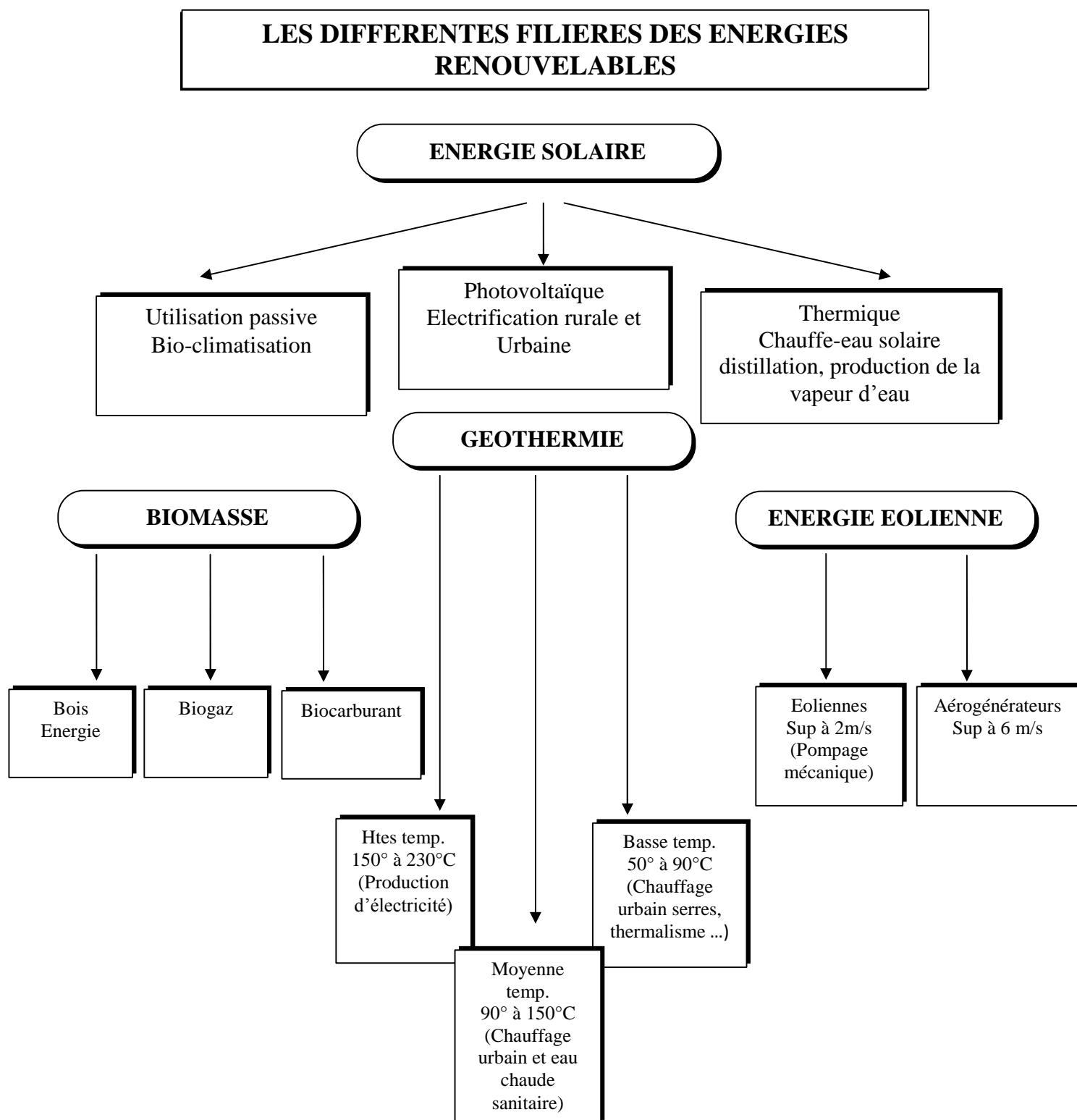


Figure : 2.2- Les différentes filières Des énergies renouvelables. Source: Guide des ER, 2007.

Aucune source d'énergie n'a un comportement neutre⁴ vis-à-vis de la nature et tout est affaire de compromis. L'objectif qui se dégage peu à peu est celui d'un développement durable ce qui signifie qu'il doit se poursuivre dans le temps sans épuiser les ressources rares, qu'il doit être viable économiquement et qu'il permette un développement harmonieux de l'économie mondiale, notamment pour les pays les plus pauvres, « un développement qui satisfait les besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs »⁵. Un aperçu sur les différents types d'énergie renouvelable d'une façon générale est nécessaire:

2.2.1. Energie solaire :



Figure 2.3-Vue terre-soleil source : CDER

Produire de l'électricité solaire n'est plus, depuis longtemps, une utopie. Des toits solaires ayant une puissance de quelques kilowatts jusqu'aux centrales de quelques mégawatts, tous ces installations contribuent à un approvisionnement en énergie respectueux de l'environnement et grâce à leur souplesse, recèlent d'énormes potentiels pour le secteur de l'énergie. Aussi avec les centrales héliothermiques, il est possible d'utiliser l'énergie du soleil à l'échelle industrielle pour la production d'électricité (grâce à la transformation du rayonnement solaire en chaleur).

L'énergie solaire est inépuisable, gratuite et non polluante et même si l'énergie solaire reçue par la terre est d'intensité variable, intermittente et peu dense, son utilisation offre de nombreuses possibilités. Parmi ses nombreuses applications, on distingue le solaire thermique qui transforme le rayonnement solaire en chaleur et le solaire photovoltaïque qui convertit la lumière en électricité.

⁴ C.NGÔ, « quelles énergies pour demain », Commissariat à l'énergie Atomique Européen, 1999.

⁵ Le rapport Brundtland, ONU, 1987.

2.2.2. La biomasse :

Grâce à la photosynthèse, les plantes utilisent l'énergie solaire pour capturer le gaz carbonique et le stocker sous forme d'hydrates de carbone, tout en assurant leur croissance. Les premiers hommes ignoraient bien sûr ce processus physico-chimique, mais ils ont vite compris l'intérêt de la « biomasse » pour se chauffer. Employé pour désigner toute la matière vivante, ce terme de biomasse s'applique depuis peu à l'ensemble des végétaux employés comme sources d'énergie. Le bois de feu est bien sûr la plus ancienne de ces sources. Aujourd'hui on peut ajouter la biomasse dite « humide » ; déchets organiques agricoles, déchets verts, boues des stations d'épuration, ordures ménagères qui constituent, à une moindre échelle, autant de sources d'énergie, mais pas forcément très écologiques.

2.2.2.1. Bois énergie :

Le bois est sans doute la source d'énergie la plus intéressante dans la problématique des énergies renouvelables. Tout le monde a en tête les dégâts provoqués par la déforestation dans les régions tropicales. Le bois constitue donc une source d'énergie renouvelable et relativement propre. Sans entrer dans un débat de spécialistes, un petit rappel s'impose ; en brûlant (ou en pourrissant sur le sol), un arbre rejette dans l'atmosphère le gaz carbonique qu'il avait absorbé en grandissant, ni plus ni moins. Dans un pays qui pratique la sylviculture et replante au minimum autant d'arbres qu'il en coupe, le bilan écologique est donc neutre.

2.2.2.2. Le biocarburant :

L'autre atout de la biomasse est la possibilité de fabriquer des biocarburants. Il en existe deux types : les éthanol et les biodiesels. Les éthanol, destinés aux moteurs à essence, sont issus de différentes plantes comme le blé, le maïs, la betterave et la canne à sucre. Le procédé consiste à extraire le sucre de la plante pour obtenir de l'éthanol après fermentation.

Quant aux biodiesels, ils sont extraits des oléagineux (colza, tournesol, soja etc.) Les esters d'huile obtenus peuvent alors être mélangés au gazole. En règle générale, ces biocarburants sont mélangés aux carburants classiques, essence et gazole. Ils entraînent alors une petite diminution des rejets de monoxyde de carbone et de dioxyde de carbone, gaz responsable de l'effet de serre. Mais ces biocarburants ont un énorme inconvénient ; ils occupent des surfaces agricoles au détriment des cultures vivrières.



Figure 2.4- différents types de biomasse, source : CDER.

2.2.2.3. Le biogaz :

Le biogaz est un mélange composé essentiellement de méthane (CH_4) et de gaz carbonique (CO_2). Suivant sa provenance⁶, il contient aussi des quantités variables d'eau, d'azote, d'hydrogène sulfuré (H_2S), d'oxygène, d'aromatiques, de composés organo-halogénés (chlore et fluor) et des métaux lourds, ces trois dernières familles chimiques étant présentes à l'état de traces. Le biogaz est produit par un processus de fermentation anaérobie des matières organiques animales ou végétales, qui se déroule en trois étapes (hydrolyse, acidogènes et méthanogènes) sous l'action de certaines bactéries. Il se déroule spontanément dans les entres d'enfouissement des déchets municipaux, mais on peut le provoquer artificiellement dans des enceintes appelées "digesteurs" où l'on introduit à la fois les déchets organiques solides ou liquides et les cultures bactériennes. Cette technique de méthanisation volontaire peut s'appliquer :

- aux ordures ménagères brutes ou à leur fraction fermentescible,
- aux boues de stations d'épuration des eaux usées urbaines ou industrielles,
- aux déchets organiques industriels, (cuirs et peaux, chimie, parachimie,...),
- ainsi qu'aux déchets de l'agriculture et de l'élevage (fientes, lisier, fumier,...).

Les voies de valorisation du Biogaz sont : chaleur seule, électricité seule, cogénération, carburant automobile, injection dans le réseau de gaz naturel.

2.2.3. L'énergie éolienne :

Une hélice entraînée en rotation par la force du vent permet la production d'énergie mécanique ou électrique en tout lieu suffisamment venté. Les applications de l'énergie

⁶ www.renewables-made-in-germany.com. Consulté en septembre 2009.

éolienne sont variées mais la plus importante consiste à fournir de l'électricité. Ce sont des parcs d'aérogénérateurs ou «fermes» éoliennes. Ils mettent en œuvre des machines de moyenne et grande puissance (200 à 2 000 kW). Des systèmes autonomes, de 500 W à quelques dizaines de kW, sont intéressants pour électrifier des sites isolés du réseau électrique (îles, villages...), et récemment dans des buildings ultra modernes, citant ici les twin-towers du Bahreïn.

2.2.3.1. La production d'énergie mécanique grâce au vent :

Les éoliennes mécaniques servent le plus souvent au pompage de l'eau. L'hélice entraîne un piston, qui remonte l'eau du sous-sol. Cette technique est bien adaptée pour satisfaire les besoins en eau (agriculture, alimentation, hygiène) de villages isolés.

2.2.3.2. La production d'électricité par aérogénérateurs

La figure ci-dessous présente les éléments principaux qui composent la machine. L'énergie du vent captée sur les pales entraîne le rotor, couplé à la génératrice, qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Celle-ci est ensuite distribuée aux normes sur le réseau, via un transformateur.

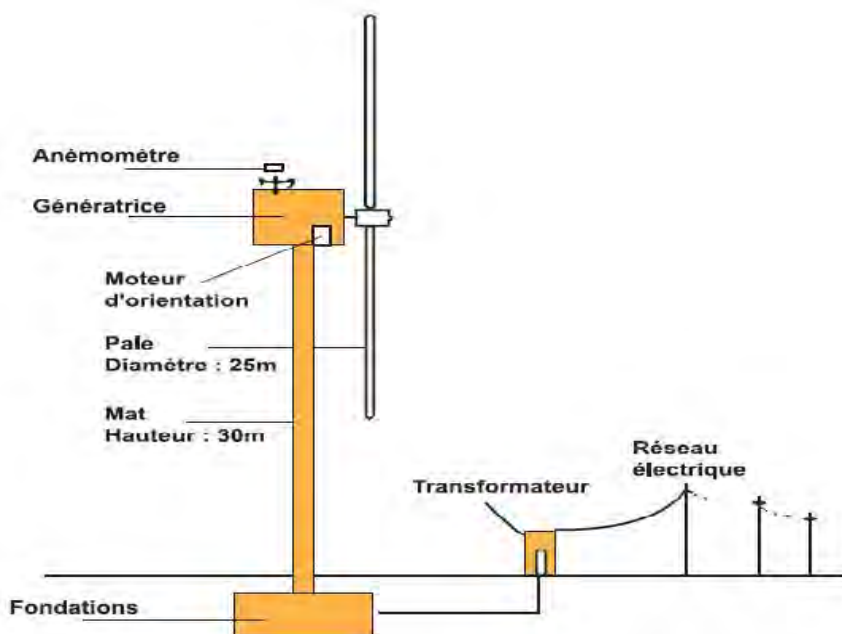


Figure2.5- Fonctionnement d'une éolienne. Guide des Energies Renouvelables, 2007.

2.2.4. La géothermie :

Le principe de la géothermie consiste à extraire l'énergie contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou d'électricité. Partout, la température croît depuis la surface vers l'intérieur de la Terre. Selon les régions l'augmentation de la température avec la profondeur

est plus ou moins forte, et varie de 3 °C par 100 m en moyenne jusqu'à 15 °C ou même 30 °C. Cette chaleur est produite pour l'essentiel par la radioactivité naturelle des roches qui constituent la croûte terrestre. Elle provient également, pour une faible part, des échanges thermiques avec les zones internes de la Terre dont les températures s'étagent de 1000°C à 4300°C. Cependant, l'extraction de cette chaleur n'est possible que lorsque les formations géologiques qui constituent le sous-sol sont poreuses ou perméables et contiennent des aquifères (nappe souterraine renfermant de l'eau ou de la vapeur d'eau). On distingue quatre types de géothermie ; la haute, la moyenne, la basse et la très basse énergie.

2.2.4.1. La géothermie de haute énergie et de moyenne énergie

La géothermie de haute énergie (> 180 °C) et de moyenne énergie (température comprise entre 100 °C et 180°C) valorisent les ressources géothermales sous forme d'électricité.

2.2.4.2. La géothermie basse énergie

La géothermie basse énergie (températures comprises entre 30 °C et 100 °C) permet de couvrir une large gamme d'usages : chauffage urbain, chauffage de serres, utilisation de chaleur dans les processus industriels, thermalisme....Par rapport à d'autres énergies renouvelables, la géothermie présente l'avantage de ne pas dépendre des conditions atmosphériques (soleil, pluie, vent), ni même de la disponibilité d'un substrat, comme c'est le cas de la biomasse. C'est donc une énergie fiable et stable dans le temps. Cependant, il ne s'agit pas d'une énergie entièrement inépuisable dans ce sens qu'un puits verra un jour son réservoir calorifique diminuer. Si les installations géothermiques sont technologiquement au point et que l'énergie qu'elles prélèvent est gratuite, leur coût demeure, dans certains cas, très élevé.

2.2.4.3. La géothermie très basse énergie : les pompes à chaleur

Le principe des pompes à chaleur (PAC) qui utilisent la chaleur contenue dans le sol pour alimenter un plancher chauffant est connu depuis une vingtaine d'années, elle a subi de notables évolutions techniques qui lui permettent aujourd'hui de rivaliser avec les moyens de chauffage « Traditionnels ». Cependant une part non négligeable de l'énergie fournie par une PAC est d'origine électrique. La technique d'utilisation des PAC est basée sur des capteurs enterrés constitués d'un réseau de tubes dans lequel circule un fluide caloporteur : fluide frigorigène de type HCFC dérivé du fréon, ou de l'eau glycolée.

Pour restituer cette chaleur dans le plancher chauffant de la maison plusieurs solutions existent. La plus répandue consiste à utiliser un «module de transfert» comprenant le compresseur, un ou deux échangeurs...La surface de captage préconisée varie entre 1,5 et 3,5

fois la surface chauffée de l'habitation. Une PAC peut être réversible et permettre au plancher de devenir rafraîchissant en période estivale. Pour 1 kWh électrique consommé, une pompe à chaleur produit en moyenne 2 à 4 kWh de chaleur. Une PAC est donc une forme adoucie de chauffage électrique. Les deux principales qualités de ce mode de chauffage sont liées au mode de diffusion de la chaleur par plancher chauffant basse température, et à la part d'énergie gratuite utilisée (qualités que l'on retrouve chez les Planchers Solaires Directs).

Par contre des problèmes de gel précoce peuvent apparaître sur certains types de terrain pour des capteurs enterrés à faible profondeur, ainsi que des assèchements estivaux si la fonction rafraîchissement est utilisée. De plus les fluides frigorigènes sont nuisibles pour la couche d'ozone (certains d'entre eux sont interdits).

2.2.4.4. Les petites centrales hydrauliques (PCH) :

Depuis des siècles, l'énergie hydraulique est captée par les hommes : c'est ainsi qu'en 1688, la machine de MARLY, ensemble de 14 roues à aubes et tuyauteries a permis de refouler l'eau de la Seine à 162m de haut pour les besoins des étangs et fontaines de Versailles.

Les petites centrales hydrauliques sont présentes partout dans le monde mais leur dénombrement s'avère difficile. On estime que la capacité mondiale installée s'élève à 37000 MW⁷. En «haute chute», l'eau d'une source ou d'un ruisseau est captée par une prise d'eau sommaire, elle est ensuite dirigée à travers une conduite vers une turbine située plus bas.

L'écoulement de l'eau fait tourner la turbine qui entraîne un générateur électrique et enfin l'électricité produite peut soit être utilisée directement, soit stockée dans des accumulateurs.

Enfin, l'eau est restituée à la rivière. En «basse chute», on ne passe plus par une conduite, l'eau est dérivée dans un canal sur lequel est aménagé la PCH.

En ce qui concerne le fonctionnement d'une centrale, la quantité d'énergie hydraulique produite dépend de deux facteurs :

Le débit de la rivière et la hauteur de la chute.

Une faible masse d'eau tombant de haut produira donc la même quantité d'électricité que beaucoup d'eau dévalant un faible dénivelé.

⁷ www.ademe.fr, consulté en janvier 2011.

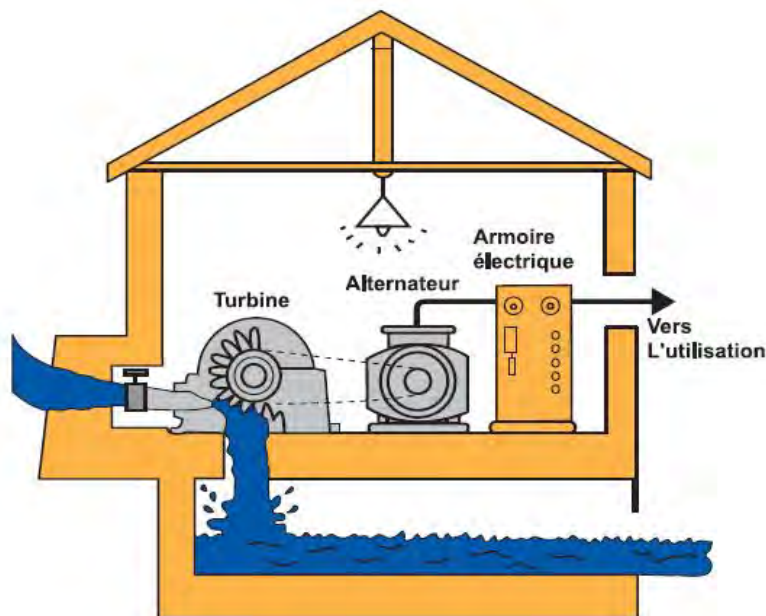


Figure 2.6- Centrale hydraulique, Source : Guide des Energies Renouvelables, 2007.

2.3. Les énergies renouvelables en pourcentage :

Globalement, la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité reste encore faible. 20 % de l'électricité produite dans le monde est d'origine renouvelable.

L'essentiel étant toujours issu des combustibles fossiles, tels que le pétrole ou le charbon (62,7 %) et par l'énergie nucléaire (17,1 %). L'électricité renouvelable provient de sources distinctes. L'hydroélectricité est la principale d'entre elles avec 86,3% du total renouvelable. La biomasse est la seconde source avec 5,9%. Suivent l'éolien (5,7%), la géothermie (1,7%), le solaire (0,3%).⁸

Toutefois, ces grandes masses sont extrêmement variables d'un pays à l'autre. Tout est, en effet, fonction des gisements d'énergies renouvelables. Ainsi, 99,2 % de l'électricité de Norvège (pays pétrolier) est générée par les barrages. À l'inverse, les Pays-Bas, pays très sensible aux questions environnementales, utilisent très marginalement les énergies renouvelables pour produire leur électricité : moins de 5 %.

La production d'électricité d'origine renouvelable a atteint 3763 TWh en 2008 (18,7% de la production totale). Cette part reste supérieure à la production d'origine nucléaire mais largement inférieure à l'électricité produite à partir des combustibles fossiles.

⁸ Observ'ER, l'observatoire des énergies renouvelables « la production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde », 11^e inventaire 2009.

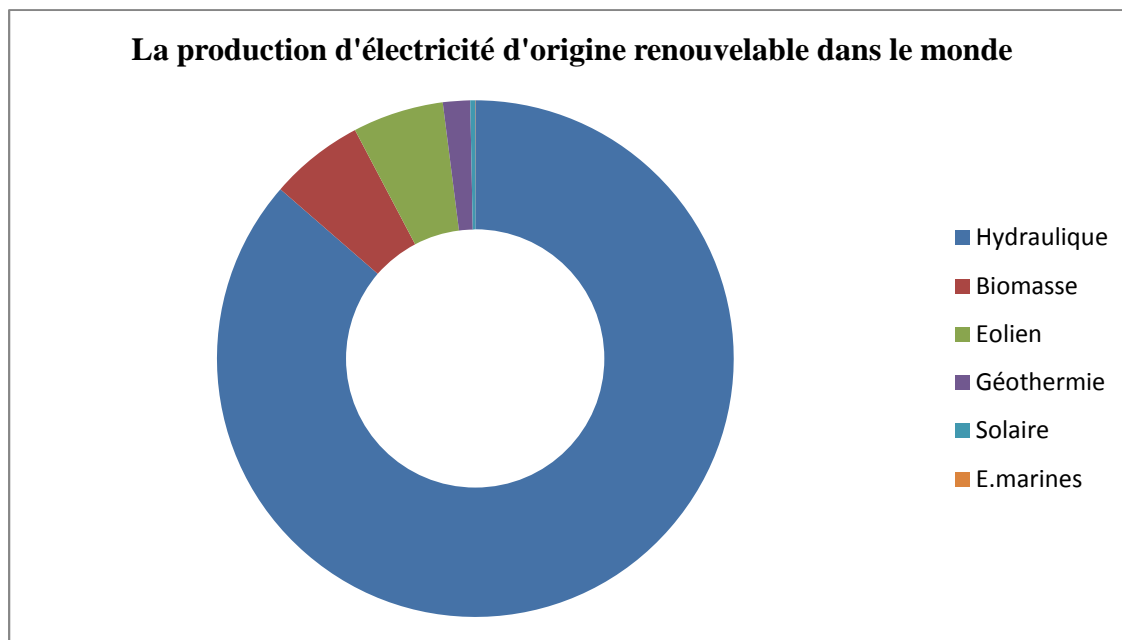


Figure 2.7-Structure de la production électrique d'origine renouvelable dans le monde(2008).

Pour produire rapidement plus tout en polluant moins, il est donc indispensable d'avoir massivement recours aux énergies renouvelables : Les seules à n'émettre aucun GES⁹. De nombreux pays riches développent de très importants parcs propres, constitués principalement d'éoliennes.

2.4. Le potentiel des Energies Renouvelables en Algérie :

L'objectif de la stratégie de développement des énergies renouvelables en Algérie est d'arriver à atteindre, à l'horizon 2017 (le niveau de 5%¹⁰ dans le bilan électrique national).

L'introduction des énergies renouvelables aura pour conséquence:

- une plus grande exploitation du potentiel disponible,
- une meilleure contribution à la réduction de CO₂,
- une réduction de la part des énergies fossiles dans le bilan énergétique national,
- un développement de l'industrie nationale,
- la création d'emplois.

Dans les pays d'Afrique du Nord (fig.2.8), la production d'électricité est principalement basée sur les combustibles fossiles. L'Algérie présente la plus faible part d'énergies renouvelables

⁹ GES : gaz à effet de serre.

¹⁰ Programme indicatif des besoins de production d'électricité 2007-2018, CREG.

(hydraulique) dans la structure de sa production électrique, plus de 99% de la production totale d'électricité provient des combustibles fossiles. Le peu qui reste (0,7%) provient des énergies renouvelables qui se résument pratiquement à une production hydroélectrique.

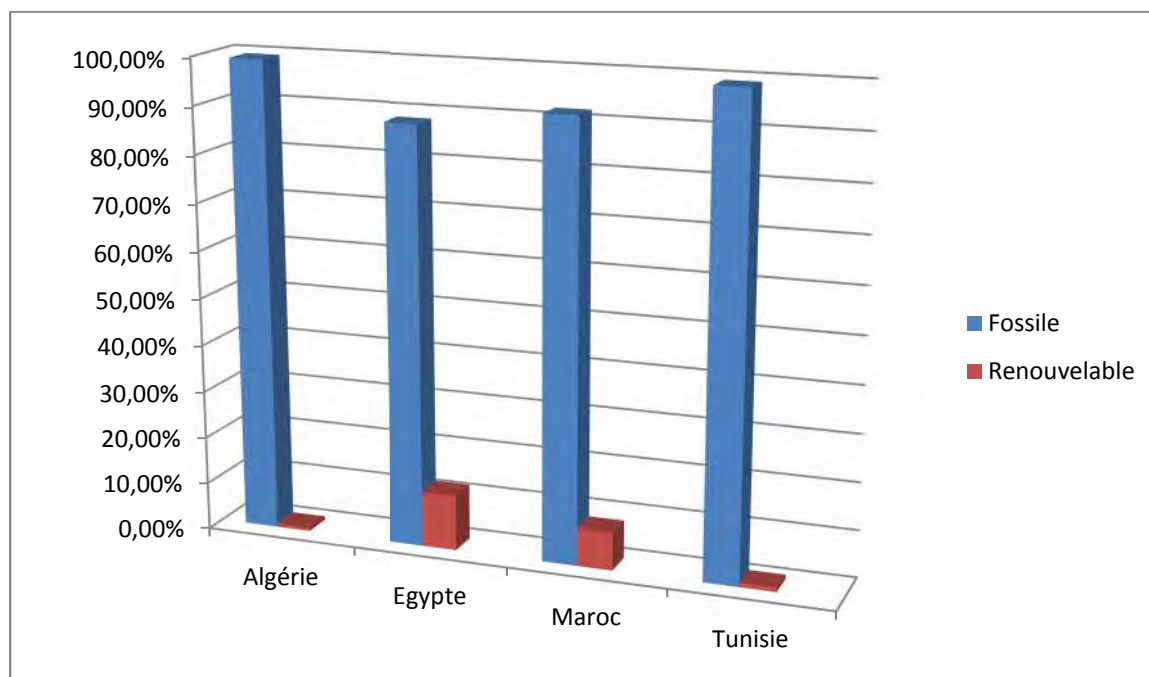


Figure 2.8- Part des énergies fossiles et renouvelables dans la production d'électricité dans les pays arabes nord-africains. Source : Observ'ER, 2008.

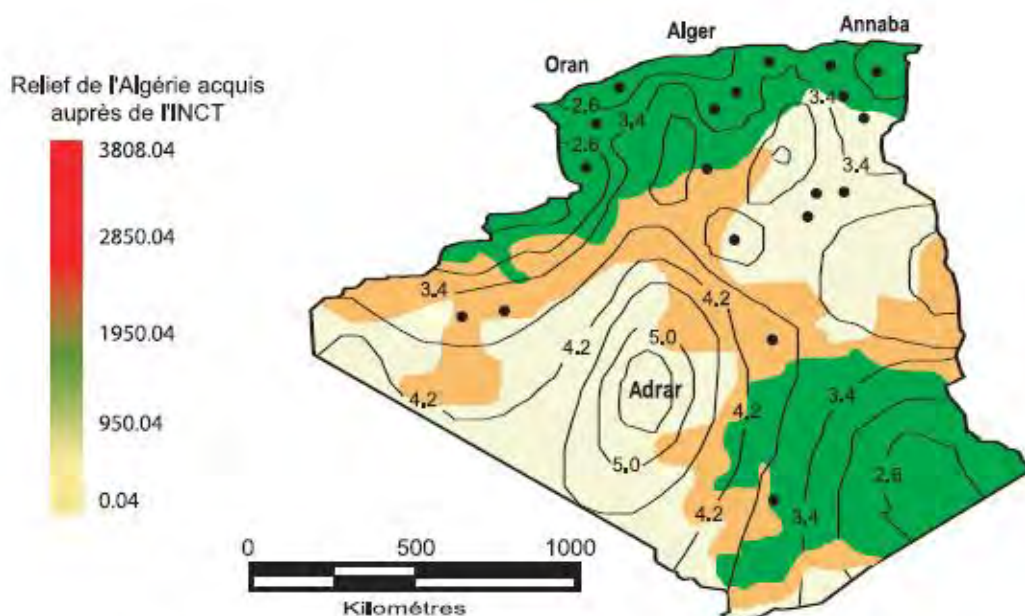
En raison des importantes sources d'énergie fossiles dont le pays dispose et de l'absence de politiques environnementales, le développement des énergies renouvelables a connu beaucoup de retard. Selon le Ministère de l'Energie et des Mines, la capacité nationale d'électricité dépasse les 8400 MW avec 2,4 MW crête seulement pour des énergies renouvelables (Année 2007)¹¹. Aujourd'hui, compte tenu des enjeux que représentent ces sources d'énergies durables, leur promotion constitue un des grands axes de la politique énergétique et environnementale du pays. D'autre part, l'Algérie possède des atouts majeurs: un potentiel considérable des énergies renouvelables et une politique énergétique favorisant une contribution plus conséquente des énergies renouvelables dans le bilan national. Plusieurs projets ont été réalisés (électrification de plusieurs villages, production d'eau chaude sanitaire,... etc.). Quant à l'utilisation du solaire thermique pour la production d'électricité, un projet d'une centrale hybride solaire-gaz (150 MW) située à Hassi R'mel est en cours de réalisation. Pour la filière éolienne, le peu de projets réalisés concernent l'installation

¹¹ Ministère de l'Energie et des Mines. Evolution du secteur de l'énergie et des mines 1962-2007. Edition 2008.

de pompes éoliennes. En plus, Un projet d'une ferme éolienne de 10 MW à Adrar est en cours d'étude. La stratégie de développement des énergies renouvelables en Algérie vise à porter la part des énergies renouvelables, à l'horizon 2015, à environ 5% de la production nationale d'électricité.

2.4.1. Potentiel éolien :

La ressource éolienne en Algérie varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est dû principalement à une topographie et un climat très diversifiés. En effet, notre vaste pays, se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le Nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200 Km et un relief montagneux, représenté par les deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le Sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien. La carte représentée ci-dessous montre que le Sud est caractérisé par des vitesses plus élevées que le Nord, plus particulièrement dans le Sud ouest, avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar. Concernant le Nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant, l'existence de microclimats sur les sites côtiers d'Oran, Bejaïa et Annaba, sur les hauts plateaux de Tiaret et Kheiter ainsi que dans la région délimitée par Bejaïa au Nord et Biskra au Sud.



Tracé des vitesses moyennes du vent à 10 m du sol

Figure 2.10- carte du relief de l'Algérie, source : INCT.

2.4.2. Le potentiel géothermique :

Les calcaires jurassiques du Nord algérien¹² qui constituent d'importants réservoirs géothermiques, donnant naissance à plus de 200 sources thermales localisées principalement dans les régions du Nord-est et Nord-Ouest du pays. Ces sources se trouvent à des températures souvent supérieures à 40°C, la plus chaude étant celle de Hammam Meskhoutine (96°C). Ces émergences naturelles qui sont généralement les fuites de réservoirs existants, débitent à elles seules plus de 2 m³/s d'eau chaude. Ceci ne représente qu'une infime partie des possibilités de production des réservoirs.

Plus au Sud, la formation du continental intercalaire, constitue un vaste réservoir géothermique qui s'étend sur plusieurs milliers de Km². ce réservoir, appelé communément « nappe albiennne » est exploité à travers des forages à plus de 4 m³/s. l'eau de cette nappe se trouve à une température moyenne de 57 °C. Si on associe le débit d'exploitation de la nappe albiennne au débit total des sources thermales, cela représenterait, en termes de puissance, plus de 700 MW.

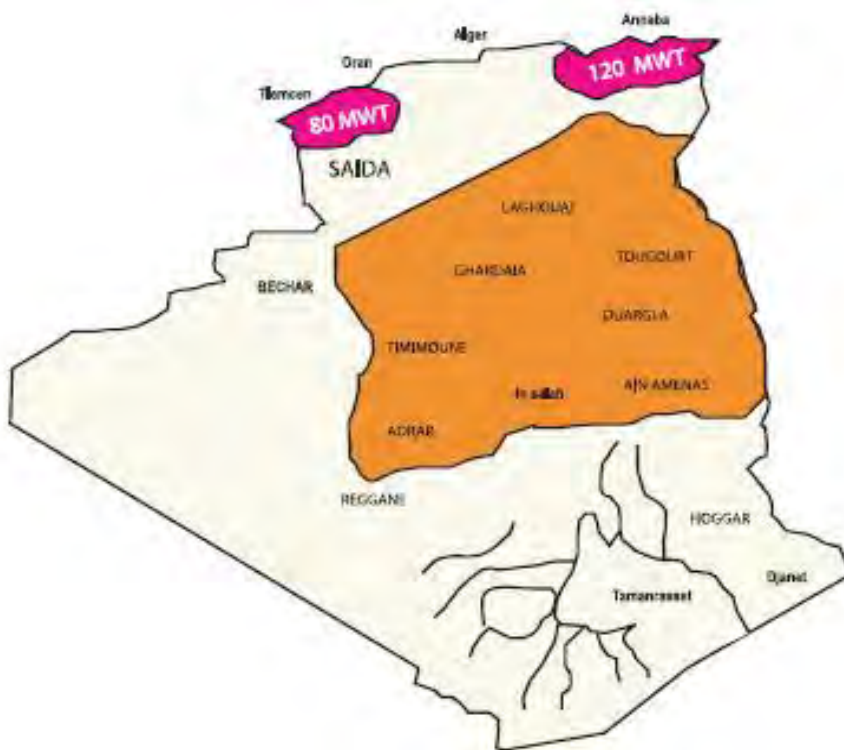


Figure 2.11- Carte géothermique de l'Algérie. Source : INCT

¹² Source : Ministère de l'énergie et des mines « guide des énergies renouvelables », 2007.

2.4.3. Potentiel de la biomasse :

2.4.3.1. Potentiel de la forêt :

Géographiquement parlant, l'Algérie se subdivise en deux parties :

- les régions selvatiques qui occupent 25.000.000 hectares environ, soit un peu plus de 10% de la superficie totale du pays.
- les régions sahariennes arides couvrant presque 90% du territoire.

Dans le nord de l'Algérie, qui représente 10% de la surface du pays, soit 2 500 000 hectares, la forêt couvre 1 800 000 hectares et les formations forestières dégradées en maquis 1 900 000 hectares. Le pin maritime et l'eucalyptus sont des plantes particulièrement intéressantes pour l'usage énergétique : actuellement elles n'occupent que 5% de la forêt algérienne.

2.4.4. Potentiel hydroélectrique :

La part de capacité hydraulique dans le parc de production électrique total est de 5% ; soit 286 MW. Cette faible puissance est due au nombre insuffisant des sites hydrauliques et à la non-exploitation des sites hydrauliques existants.

Dans les pays d'Afrique du Nord, la production d'électricité est principalement basée sur les combustibles fossiles. L'Algérie présente la plus faible part d'énergies renouvelables (hydraulique) dans la structure de sa production électrique, plus de 99% de la production totale d'électricité provient des combustibles fossiles. Le peu qui reste (0,7%) provient des énergies renouvelables qui se résument pratiquement à une production hydroélectrique.

2.4.5. Le potentiel solaire :

L'Algérie dispose d'un des plus grands gisements solaires au monde, la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au sud du pays.

Les diverses études entreprises jusqu'à présent sur le potentiel énergétique solaire en Algérie font apparaître un potentiel considérable pour l'utilisation et l'exploitation de cette forme d'énergie. En effet, l'Algérie avec plus de deux millions de km² de superficie, reçoit l'équivalent de 300 milliards de Tep par an en énergie solaire.

Consciente de l'intérêt grandissant de l'énergie solaire et de ses enjeux, l'Algérie a intégré dans sa politique énergétique le développement de ce créneau par : l'adoption d'un cadre juridique favorable à l'expansion de cette énergie, la planification d'importants projets d'hybridation de centrales diesel, le lancement de deux grands programmes d'électrification et

la projection d'une usine de fabrication de modules photovoltaïques en est la parfaite illustration.

Régions	Région côtière	Hauts plateaux	Sahara
Superficie en %	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement en Heure/an	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue en KWh/m ² /an	1700	1900	2650

Tableau n°2.1 : le potentiel solaire en Algérie.

Cette richesse d'énergies renouvelables, donne à notre pays une longévité de consommation énergétique propre, dont le solaire prend la part du lion, les figures 2.8 et 2.9, illustrent cette quantité énergétique au mois de juillet, contre le cas le plus défavorable, celle d'octobre.

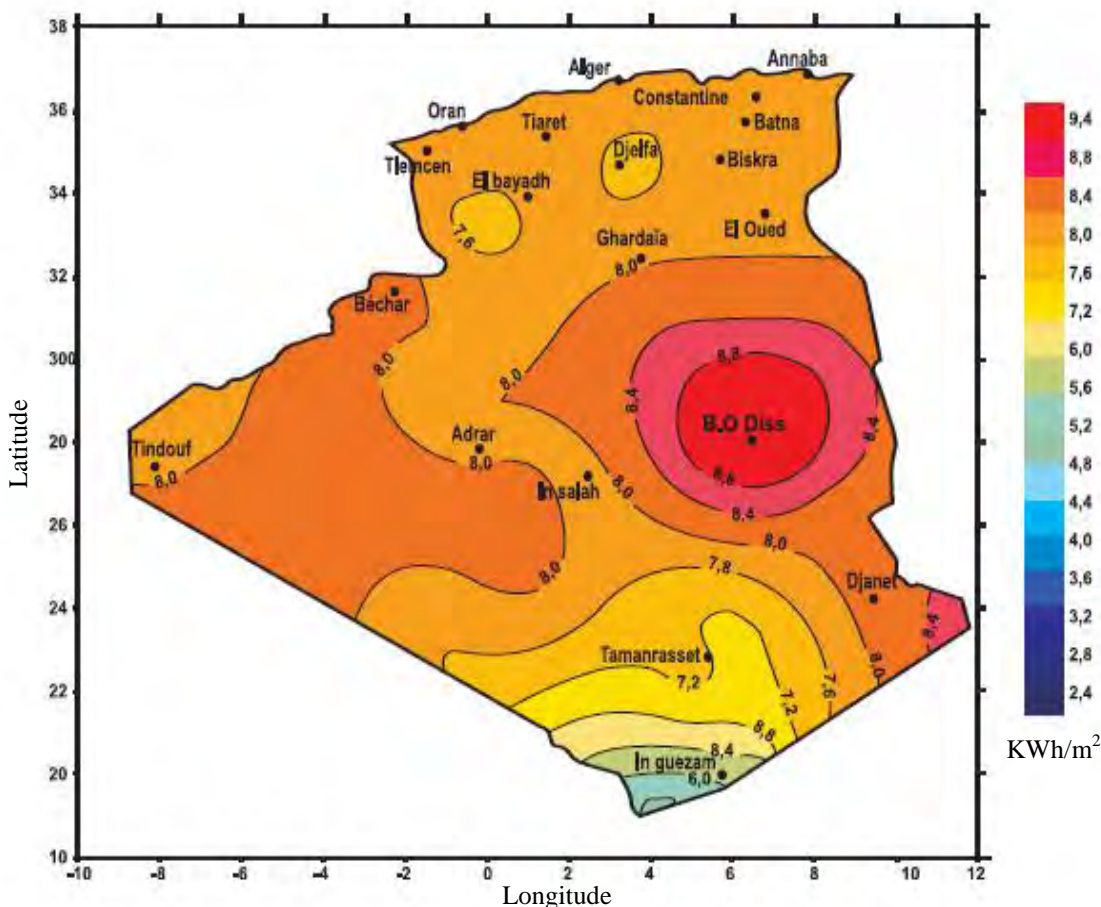


Figure 2.12 : Irradiation globale journalière reçue sur plan horizontale au mois de juillet.

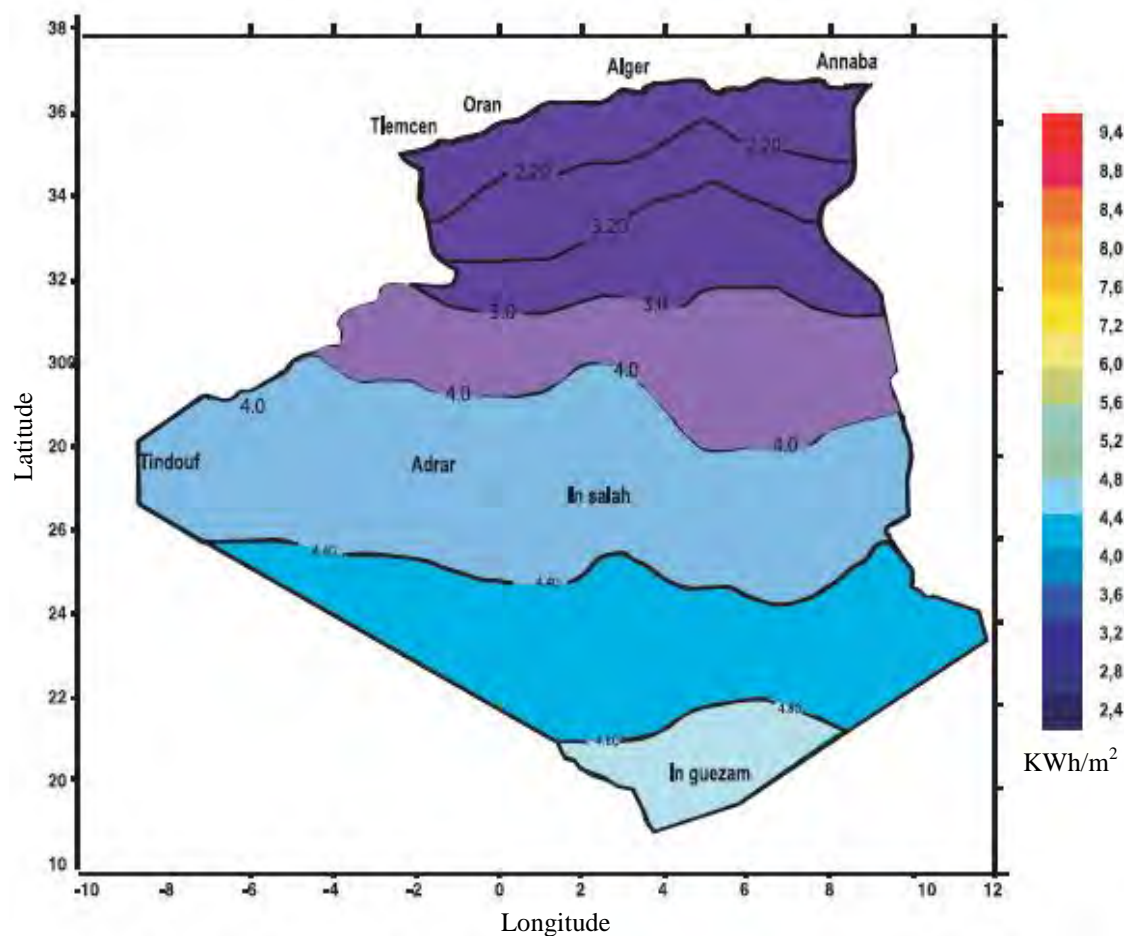


Figure 2.13 : Irradiation globale journalière reçue sur plan horizontale au mois de décembre

2.5. Le secteur de l'électricité :

La figure 1.4 montre en pourcentage les combustibles utilisés pour obtenir de l'électricité. Les combustibles (carbonés) d'origine fossile représentent environ 64%, avec le charbon comme combustible le plus important, contribuant à 40% de la génération de l'électricité. Et il intervient pour les trois quarts dans les émissions de CO₂. Aujourd'hui les centrales hydroélectriques de forte puissance comptent pour la majeure partie des énergies renouvelables.

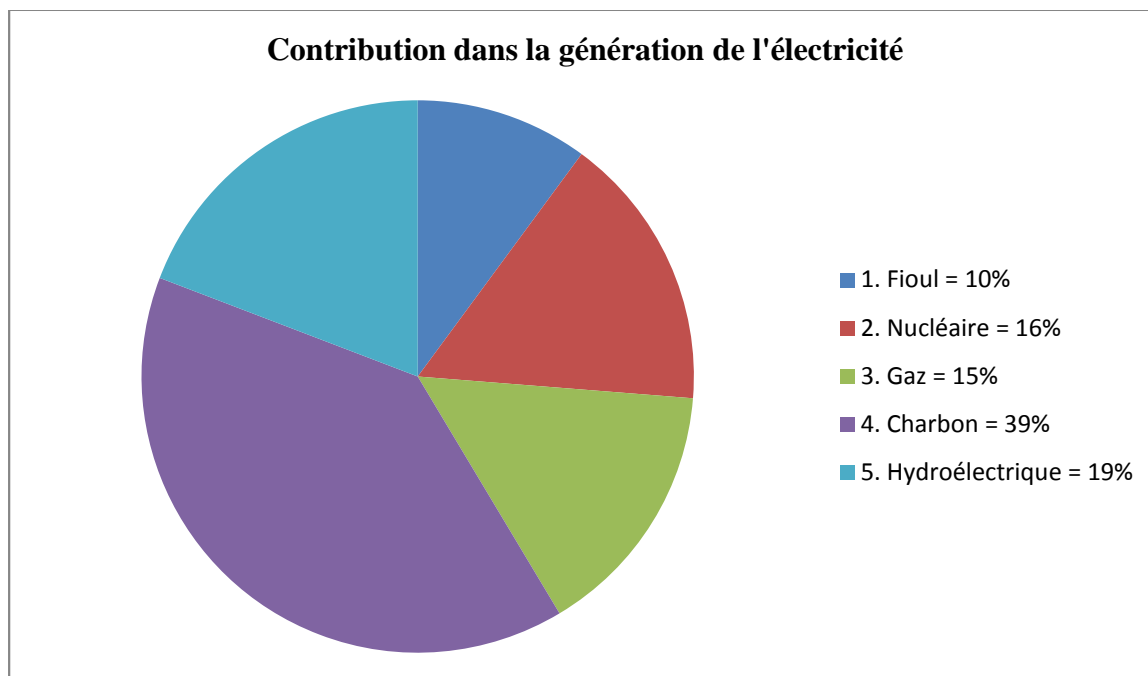


Figure 2.14 : Contribution dans la génération de l'électricité,

Un peu moins de la moitié de l'électricité produite est consommée dans le logement, environ un tiers dans l'industrie, un peu moins d'un dixième dans la production et le reste dans la transmission et la distribution¹³.

La production annuelle mondiale d'électricité atteint les 18 000 TWh (18 000 milliards de kWh) représentant une moyenne de consommation de 2 000 GW (2 milliards de kW). Cette énergie électrique est obtenue selon les modes de production très divers, mais dans la plupart des cas, à partir de combustibles d'origine fossile. Le secteur de l'énergie électrique est la source ou la croissance des émissions de gaz à effets de serre est la plus rapide, et on estime que ces émissions vont quadrupler entre aujourd'hui et 2050¹⁴.

2.5.1. L'énergie Electrique en Algérie :

Le système électrique algérien, comporte outre le système interconnecté, des réseaux autonomes alimentés par des turbines à gaz (Adrar, Illizi, In Salah) ou par des groupes diesel¹⁵ desservant les villes du Sud, à travers des réseaux de distribution. Donc, il est divisé en deux parties : une partie relative au réseau interconnecté national et une autre partie traitant de la production autonome du sud.

L'électrification du pays faisait apparaître à l'indépendance une extrême disparité entre les zones urbaines et les zones rurales, reflétant la répartition géographique des populations sous

¹³et⁹ L.freris et D.infield, « les énergies renouvelables pour la production de l'électricité », 2009.

¹⁵ CREG, (Commission de Régulation de l'Electricité et du Gaz), programme indicatif national 2008-2017.

la colonisation. A cette époque, seulement 450 centres et 1000 fermes de colons, pour 1600 km de MT et 1250 km de BT ont été raccordés au réseau d'électricité. En 1962, la production nationale d'électricité était de 1134 GWh pour une puissance totale installée équivalente à 568 MW¹⁶. Depuis, ce secteur a connu à partir des années 70, avec le lancement des différents programmes de développement, une croissance appréciable (Tableau 1.1, ci-dessous). La croissance démographique, avec un taux de 3,2 % par an durant la période 1970-1990, a été le facteur déterminant pour l'accélération de l'électrification du pays. Le taux national d'électrification est passé de 53 % en 1975 à 80 % en 1985, actuellement ce taux est de l'ordre de 95 %.

Le raccordement des différents centres (urbains et ruraux) a permis l'accès à plus de cinq millions de foyers à l'électricité et plus de un million de foyers au gaz naturel. Le raccordement également en haute et basse tension pour l'électricité et haute et basse pression en gaz a permis le développement des activités industrielles et artisanales dans toutes les régions du pays¹⁷. Cette croissance, soutenue depuis l'indépendance, s'est accompagnée d'une évolution remarquable de la consommation énergétique nationale passant de 5 MTEP¹⁸ en 1970 à 36 MTEP en l'an 2005. Par habitant, celle-ci se traduit par une augmentation de 0,3 TEP/hab. à un peu plus de 1 TEP/hab. actuellement.

Tableau 2.2: Evolution de la population, puissance installée et production d'énergie en Algérie

Année	1962	1970	1980	1990	2000	2005
Population (millions)	-	13,095	18,370	25,510	30,386	32,906
Puissance Installée(MW)	568	650	1837	4567	5922	6770
Production(GWh)	1134	1691	6220	15448	25008	33611

Les perspectives d'évolution, dans le contexte d'une relance économique, particulièrement dans le secteur des ménages et autres aussi que la réalisation d'un million de logements, indiquent que la demande d'énergie pourrait doubler d'ici 2020 (60 à 70 MTEP).

¹⁶ Document « Annuaire Statistique 1962-1986(149-1959) », Sonelgaz n°240-GE-12-87.

¹⁷ C.Hamouda et A.Malek, « Analyse théorique et expérimentale de la consommation d'énergie d'une habitation à Batna », revue des énergies renouvelables, vol.9 n°3 (2006).

¹⁸ 1 Mtep= 1,3 Mtec= 11,680 TWh= 11,680 10³ KWh= 42 10⁹ Mj.

2.5.1.1. Parc existant :

La puissance totale installée sur le réseau interconnecté national existante à fin 2007¹⁹ était de 6876 MW, dont 2435 MW en turbines à vapeur (TV), 3386 MW en turbines à gaz (TG), 825 MW en cycle combiné (CC) et 230 MW en hydraulique (TH). La répartition par filière est donnée sur la figure 1.5.

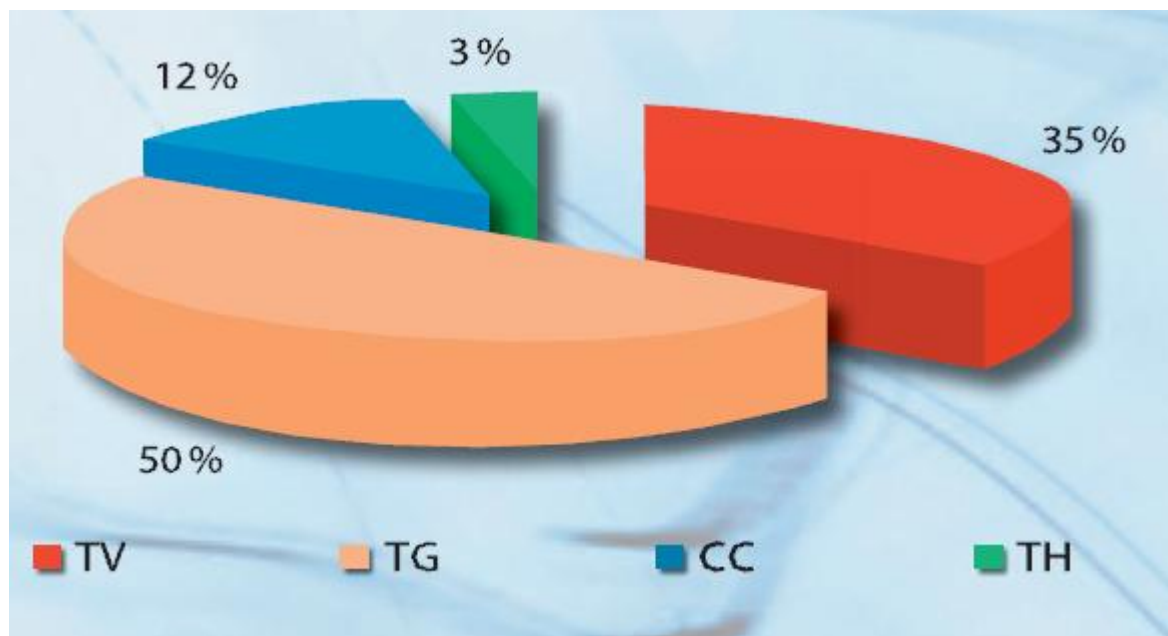


Figure 2.15 : Structure du parc de production 2007, source : CREG.

A partir de la figure précédente, on peut confirmer que la totalité de la production électrique algérienne est issue d'une énergie primaire fossile : le gaz, contre le charbon ailleurs. La politique énergétique nationale, de développement du parc proposé a été déterminée sur la base d'une stratégie privilégiant l'utilisation du gaz naturel comme combustible principal, en cohérence avec les orientations de la politique énergétique nationale qui prévoit l'introduction des énergies solaire et éolienne en plus de la cogénération et du nucléaire.

2.6. L'électricité photovoltaïque :

A la question, l'électricité solaire représentera-t-elle un jour une part significative de la production d'électricité dans le monde ? La réponse est sûrement oui. D'ailleurs, dans une étude publiée en juin 2009, on affirme que le photovoltaïque, en fonction de différents scénarios pourrait satisfaire entre 4% et 12% de la demande d'électricité en Europe d'ici 2020²⁰ à partir d'une multitude diffuse de producteurs/consommateurs privés reliés par les réseaux existants, plutôt qu'à partir de centrales solaires de grandes tailles.

¹⁹ Source : CREG, Programme indicatif des besoins en moyen de production d'électricité 2008-2017.

²⁰ A.Ricaud, « expertises et conseils, document de synthèse », 2009.

L'Algérie aussi affiche son ambition, d'arriver à hauteur de 5% d'utilisation des énergies renouvelables, dont la grande partie sera destinée à l'électricité photovoltaïque d'ici 2017.

L'électricité en Algérie peut être produite à partir du photovoltaïque à travers les applications suivantes :

- les systèmes connectés au réseau,
- l'hybridation des centrales diesel,
- l'électrification rurale.

En réalité, ces applications sont mutuellement exclusives, le recours à l'une d'entre elles dépend principalement du lieu d'utilisation

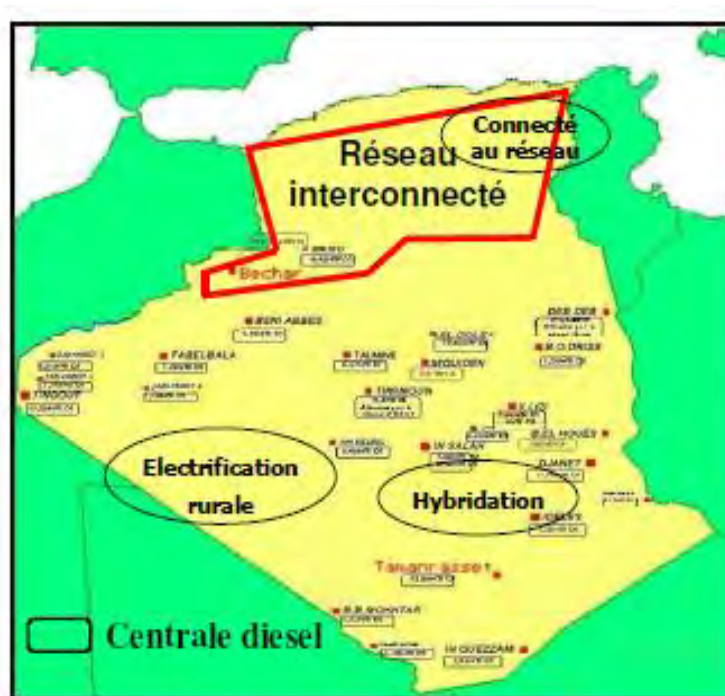


Figure 2.16 : carte des zones d'application du photovoltaïque.

2.6.1. Systèmes connectés au réseau

C'est l'application la plus développée à travers le monde où plus de 98% de la puissance photovoltaïque installée est raccordée au réseau. Ce réseau peut être de la basse tension pour les systèmes individuels ou bien de la moyenne tension pour des installations centralisées. Avec un taux de croissance de 7,3%, la consommation énergétique nationale sera de 74 TWh à l'horizon 2017. Deux scénarios peuvent être considérés :

- Scénario modéré pour lequel la contribution des systèmes connectés au réseau dans le bilan énergétique est de 1%,
- Scénario fort qui correspond à une contribution de 2%.

Pour une évolution de 35% de la puissance photovoltaïque à installer annuellement (moyenne au niveau mondial des dix dernières années)²¹, le développement du marché Algérien est représenté par la figure 2.17. En commençant, pour le scénario fort, avec 40 MW en 2011 pour atteindre 240 MW à installer pour l'année 2017.

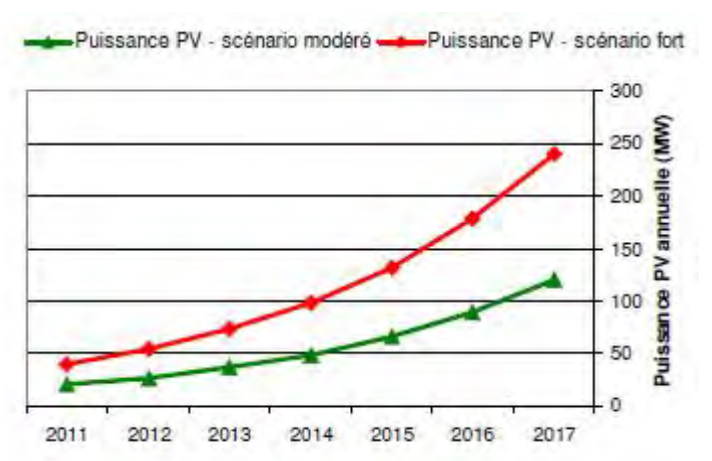
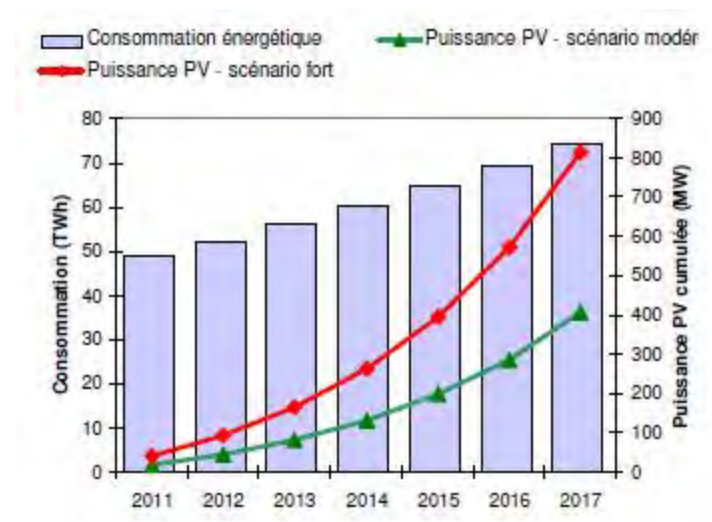


Figure 2.17- Puissance Photovoltaïque Annuelle



La puissance cumulée à l'horizon 2017 sera 815 MW pour le scénario Fort et 407 MW pour le scénario Modéré (fig.2.18).

Figure 2.18- Puissance Photovoltaïque Cumulée.

2.6.2. Hybridation des centrales diesel

L'hybridation des centrales diesel par le photovoltaïque permet de réduire considérablement la consommation de fuel acheminé sur de longues distances et dont le coût réel de livraison

²¹ "Global market outlook for photovoltaic until 2013", European Photovoltaic Industry Association, EPIA March, 2009.

sur sites s'avère très onéreux. En considérant une évolution annuelle de 7,8%²² de la puissance maximale appelée au niveau du parc diesel nous atteindrons 158 MW en 2017. Un scénario modéré prévoit une contribution du photovoltaïque à hauteur de 10% dans la puissance produite et un scénario fort correspond à une contribution de 20%. En commençant avec 1,5 MW en 2011 pour atteindre 9,3 MW à installer pour l'année 2017.

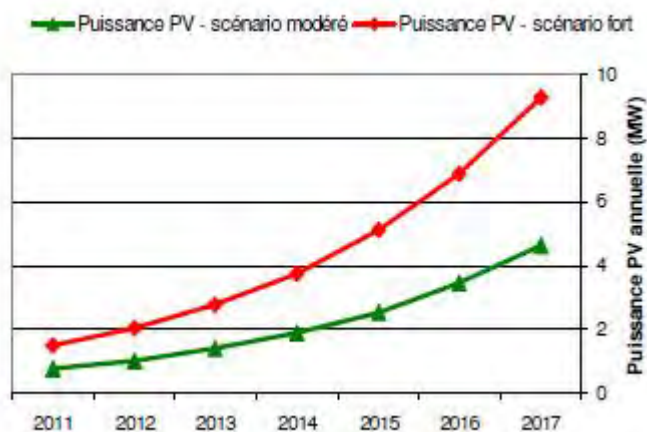


Figure 2.19 : Puissance Photovoltaïque Annuelle

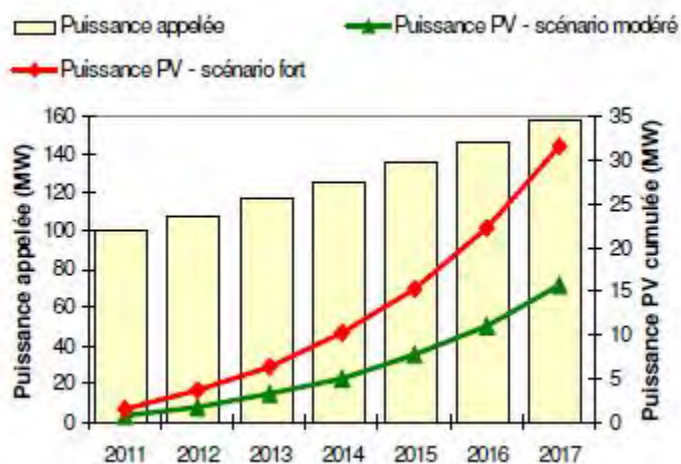


Figure 2.20 : Puissance Photovoltaïque Cumulée.

La puissance cumulée à l'horizon 2017 sera 31,4 MW pour le scénario fort et 15,7 MW pour le scénario modéré (fig.2.20)

2.6.3. Electrification rurale

Pour cette application le scénario faible, présente 500 foyers qui doivent être électrifiés annuellement et un scénario fort où l'objectif est d'électrifier 20.000 foyers à l'horizon 2017. La puissance à installer annuellement est de 0,4 MW pour le premier scénario et varie de 0,7 MW en 2011 à 4,4 MW en 2017 pour le second (figure 2.21).

²² SONEGAS, «Prévisions de la demande d'énergie électrique - Objectifs période « 2007– 2017»

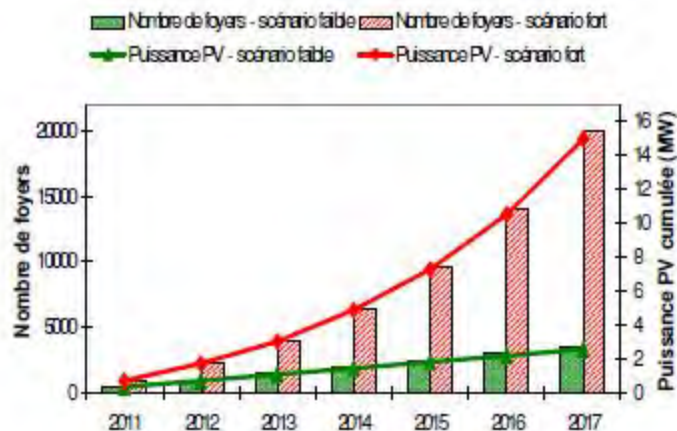
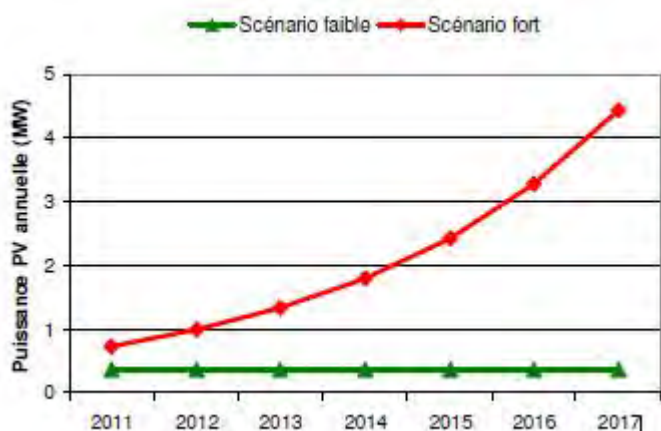


Figure 2.21 : marché annuel. source :A.Yekhlef.NEAL figure 2.22. Puissance PV cumulée à l’horizon2017

Ainsi, le potentiel global du marché Algérien jusqu’à 2017 avoisine les 860 MW dont le connecté au réseau représente 94% contre 4% pour l’hybridation et 2% pour l’électrification rurale (fig.2.23).

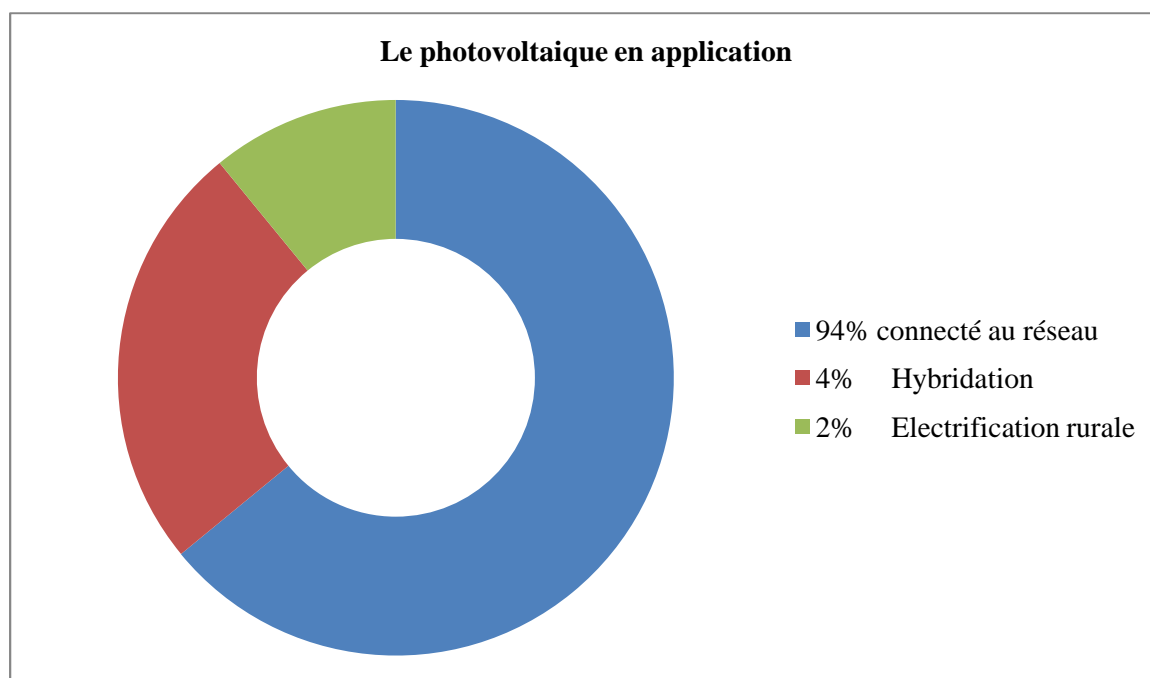


Figure.2.23: «Prévisions de la demande d’énergie électrique - Objectifs période « 2007– 2017».source : Sonelgaz

Ce programme ambitieux avec ses différents scénarios, nous offre la possibilité d’élaborer nos projets, avec les panneaux solaires photovoltaïques connectés aux réseaux.

2.7. Le bâtiment et les énergies renouvelables :

Les énergies renouvelables peuvent jouer un grand rôle dans la réduction des émissions des gaz nocifs à l'environnement, et créateurs des énergies créant une certaine autonomie, et par conséquent diminuer la consommation énergétique.

Les architectes contemporains dans le monde entier ont commencé à prendre conscience de cette soucie, dans leurs projets ça et là.

Utiliser un minimum de matière. Des matériaux qui privilégient l'usage de produits écologiques, recyclés ou facilement recyclables. Intégration des énergies renouvelables, solaires et éoliennes, le projet de la tour vivante à Rennes en France, la tour des jardins suspendus en plein cœur de Manhattan de 600 m de hauteur et d'autres projets sont des bons exemples :



Figure.2.24. La tour vivante à Rennes . Source : SOA-Architectes.

Avec plus de 4.500m² de cellules photovoltaïques intégrées aux façades orientées vers le soleil et en toiture produisent de l'électricité à partir de l'énergie solaire à raison de 700 000 à 1 million de kWh/ an. Complétées par la production électrique des éoliennes, la Tour Vivante est énergétiquement autonome.

Deux grandes éoliennes situées au sommet de la tour, orientées vers les vents dominants produisent de l'électricité facilitée par la hauteur de la tour. L'énergie électrique produite est de l'ordre de 200 à 600 kWh/an. Ces éoliennes servent également de station de pompage afin d'assurer la circulation et le recyclage des eaux de pluie récupérées en toiture et sur l'aménagement urbain du complexe.



Ce deuxième projet ressemble à un voilier gigantesque, posé sur l'East River, ce bâtiment aux courbes futuristes s'élève à 600 mètres d'altitude dans le ciel de Manhattan. Ses façades translucides, finement nervurées, révèlent des étages de potagers et de rizières, de vergers, de prairies, de jardins suspendus. Ce n'est plus New York, c'est Babylone. Baptisé Dragonfly (« libellule ») par son concepteur, l'architecte franco-belge Vincent Callebaut, ce projet, dévoilé début mai. Utilisant au maximum l'énergie solaire.

Figure 2.25. La tour Dragonfly-NY. Source : V. Callebaut.

Ces tours agricoles doivent être, dans l'esprit du chercheur, des mini-écosystèmes autosuffisants, autonomes en énergie grâce à l'arsenal solaire et éolien, capables de recycler pluies et eaux usées, de transformer déchets et déjections en fertilisants naturels, d'organiser une rotation des cultures pour permettre à la terre de se régénérer sans engrais chimiques, de se passer de pesticides et d'insecticides.

2.8. Conclusion :

Un total de 48 pays à des politiques nationales concernant les énergies renouvelables, dont 25 pays de la communauté européenne, c'est dans ce contexte que l'Algérie qui jouit d'un potentiel énorme à regagner cette politique.

Le développement du photovoltaïque en Algérie a connu ces dernières années un nouvel essor dû à l'importance accordée par les pouvoirs publics aux énergies renouvelables.

L'adoption d'un cadre juridique favorable, la création d'une multitude d'organismes œuvrant dans ce secteur et le lancement d'importants projets témoignent de cette volonté. Il n'en demeure pas qu'il reste beaucoup à faire dans ce domaine et pour lequel une synergie entre les différents intervenants est plus que nécessaire.

L'expansion du photovoltaïque dans notre pays passera impérativement par le développement des applications connectées au réseau tel qu'il se fait ailleurs à travers le monde.

Le potentiel solaire dont dispose l'Algérie, l'ouverture du marché de l'électricité et le cadre juridique favorable en font que le marché photovoltaïque Algérien s'annonce parmi les plus importants de la région.

Les rejets industriels sous leurs différentes formes, constituent aujourd'hui une préoccupation aussi bien au niveau national qu'international en raison des impacts négatifs que ces derniers entraînent sur l'environnement. Cependant, la production d'électricité est une source appréciable d'émission de gaz à effet de serre en raison des consommations volumineuses de combustibles fossiles.

Le développement et l'intégration de systèmes de production d'électricité à partir de l'énergie photovoltaïque contribueront à la réduction de ces émissions atmosphériques. Ainsi, une contribution des systèmes connectés au réseau à hauteur de 2% dans le bilan énergétique, l'hybridation des centrales diesel pour prendre en charge 20% de la puissance maximale appelée et l'électrification de 20000 foyers permettront d'éviter l'émission de 1,2 million de tonnes de CO₂ et 5 mille tonnes de NO_x en 2017²³.

²³ A.KHELLIF, « Expérience, potentiel et marché photovoltaïque Algérien », New Energy Algeria NEAL, 2007.

CHAPITRE III : LES PANNEAUX SOLAIRES

L'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une produit des calories, afin de chauffer de l'eau ou de l'air. C'est l'énergie solaire thermique, et l'autre produit de l'électricité, et c'est cette dernière, énergie solaire photovoltaïque qui sera l'objet de notre recherche.

3.1. LES PANNEAUX SOLAIRES THERMIQUES :

3.1.1. Introduction :

Les capteurs solaires thermiques constituent le cœur des installations destinées à transformer l'énergie transmise par le soleil en chaleur. Le rayonnement solaire est absorbé par une surface noire, parcourue par un fluide caloporteur qui extrait l'énergie thermique et la transfère vers son lieu d'utilisation ou de stockage. La plupart des capteurs sont munis d'une couverture transparente qui laisse passer la plus grande partie du rayonnement solaire et évitent le refroidissement de l'absorbeur. Les échanges par convection entre celui-ci et la couverture transparente sont réduits, de même que l'émission du rayonnement infrarouge de l'absorbeur. C'est le principe de « l'effet de serre ». Une isolation thermique est disposée à l'arrière et sur la périphérie du capteur pour limiter les déperditions par conduction.

Les systèmes solaires thermiques convertissent le rayonnement solaire en chaleur. Ils sont composés d'un ensemble de capteurs, d'un système de régulation et d'un ballon de stockage. Les panneaux fonctionnent comme une serre. Un fluide caloporteur (eau glycolée en général) s'échauffe dans le capteur et restitue la chaleur emmagasinée à un système de chauffage ou de production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS). Les deux applications de ces systèmes solaires sont :

- le chauffage d'une habitation et la production d'ECS avec un Système Solaire Combine (SSC),
- la production d'ECS grâce à une chauffe eau solaire individuel (CESI).

3.1.2. Les Capteurs solaires :

Il existe non seulement plusieurs manières différentes de fournir de l'énergie solaire, mais également différentes méthodes pour capter l'énergie solaire provenant d'un rayonnement incident. La liste ci-dessous présente quelques-uns des types les plus répandus de capteurs solaires, dont une partie peut être utilisée, intégrée ou surimposée dans la bâtiment, dont les plus répandus:

3.1.2.1. Les capteurs solaires à circulation liquide :

- ✓ Capteurs plans de types vitrés ;
- ✓ Capteurs plans sans vitrage ;
- ✓ Capteurs solaires à concentration ;
- ✓ Capteurs solaires intégrés ;
- ✓ Capteurs sous vide

3.1.2.1.1. Capteurs plans de types vitrés ;

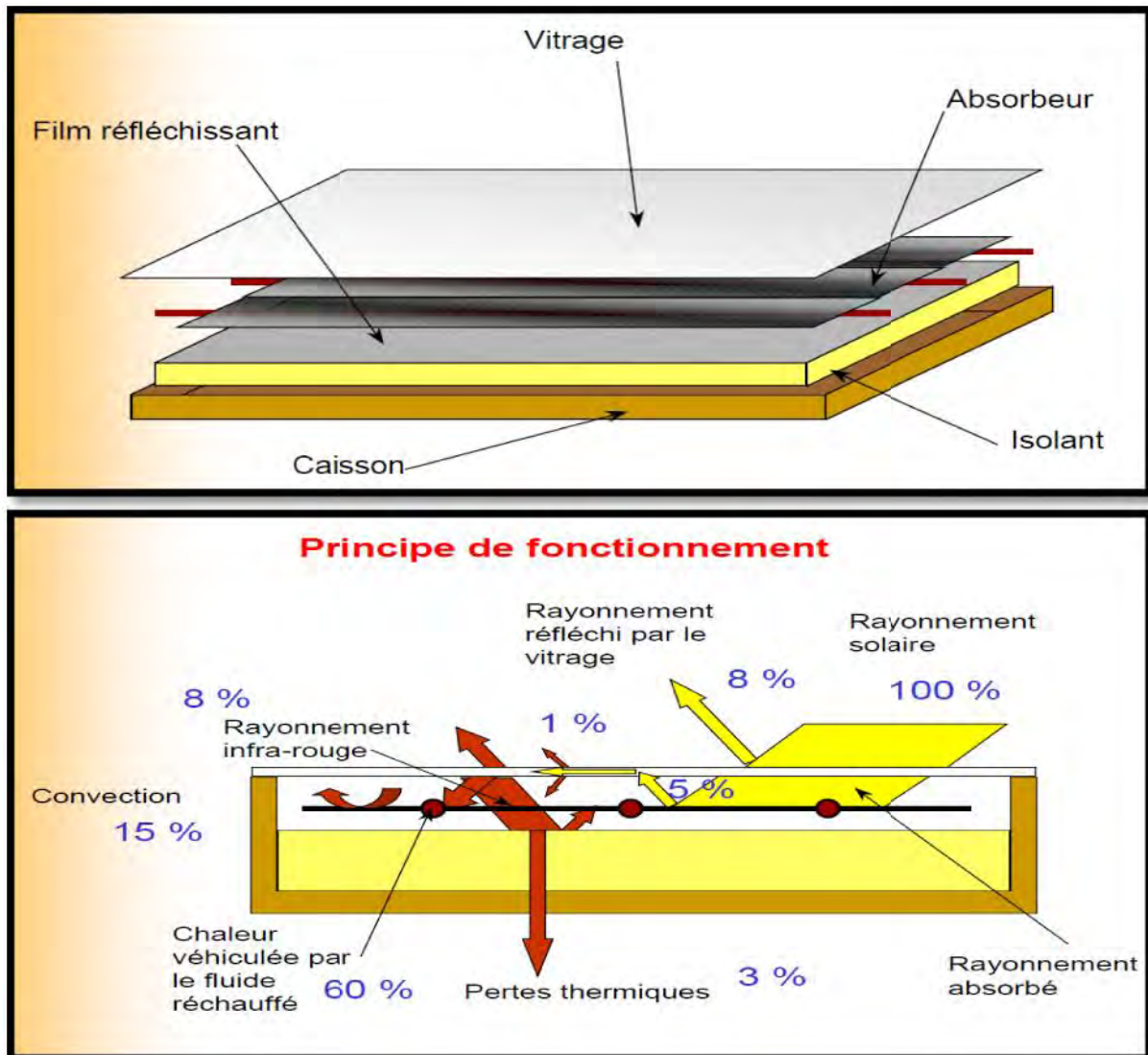


Figure : 3.1.pfan et coupe sur capteur vitré

Les capteurs plans de types vitrés sont très répandus et ils existent sous forme de capteurs à circulation de liquide et sous forme de capteurs à air. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à température modérée où la température désirée se situe entre 30 et 70 °C, et/ou à des applications qui nécessitent de la chaleur au cours des mois d'hiver. Les

capteurs à circulation de liquide sont plus communément utilisés pour le chauffage de l'eau chaude des résidences et des commerces, pour le chauffage des bâtiments, ainsi que celui des piscines intérieures. Les capteurs à air sont utilisés pour le chauffage des bâtiments, de l'air de ventilation et pour le séchage des récoltes.

3.1.2.1.2. Les capteurs sans vitrage :

C'est le modèle le plus rustique et également le plus économique. Il est généralement constitué d'une simple plaque de métal ou de matière plastique (absorbeur) dans laquelle circule le liquide à réchauffer.

Le principal domaine d'utilisation de ce capteur est le chauffage des piscines de plein air. Celles-ci sont le plus souvent utilisées en été, lorsque la température ambiante et le rayonnement solaire sont élevés. Le niveau de température de l'eau des bassins est quant à lui inférieur à 30°C. Dans ces conditions, l'efficacité des capteurs est très bonne, et l'utilisation de capteurs vitrés ne permettrait pas une meilleure collecte de l'énergie solaire. L'absence de gel pendant la période autorise la circulation directe de l'eau de la piscine dans les capteurs. Afin d'éviter des problèmes de corrosion et également pour des raisons économiques, les constructeurs de matériels utilisent souvent des matières plastiques.

Les capteurs sans vitrage peuvent également être utilisés pour des installations de production d'eau chaude sanitaire. C'est en particulier le cas dans des régions chaudes et fortement ensoleillées. La parfaite intégration architecturale qu'autorise ce type de produit permet la mise en œuvre de surfaces plus importantes, pour compenser la différence d'efficacité avec des capteurs vitrés, en particulier l'hiver.



Figure 3.2. – Capteur plan non vitré, Jacques Giordano Industries



Figure 3.3. Installation de production d'eau chaude sanitaire, Energie Solaire SA

3.1.2.1.3. Les capteurs à concentration :

En utilisant des réflecteurs afin de concentrer les rayons du soleil sur l'absorbeur d'un capteur solaire, cela permet de diminuer grandement la taille de l'absorbeur, ce qui réduit les pertes de chaleur et augmente son efficacité à hautes températures. Un autre avantage de ce système est que les réflecteurs sont sensiblement moins coûteux, par unité de surface, que les capteurs.

Ce type de capteur est utilisé pour des applications à hautes températures, telles que la production de vapeur, afin de produire de l'électricité, et pour la détoxification thermique. Ces capteurs ont un meilleur rendement dans des climats où le ciel est souvent dégagé. Les capteurs fixes à concentration peuvent être à circulation de liquide, à air, ou même être un four tel qu'une cuisinière solaire.

Il existe quatre principaux types de capteurs à concentration :

- Réflecteur parabolique
- Réflecteur cylindro-parabolique
- Centrale à tour
- Capteurs solaires à concentration

3.1.2.1.3.1. Systèmes à réflecteur parabolique :

Un capteur à réflecteur parabolique ressemble à un grand réflecteur satellite, mais il possède un miroir et des réflecteurs du type miroir et un absorbeur en son foyer. Il utilise un système de pointeur solaire à double axe.

Un système à réflecteur parabolique utilise un ordinateur afin de suivre les mouvements du soleil et afin de concentrer les rayons du soleil sur un récepteur situé au foyer sur le devant du réflecteur. Dans certains systèmes, un moteur thermique, tel qu'un moteur Stirling, est relié au récepteur afin de produire de l'électricité. Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent atteindre 1 000 °C sur le récepteur, et parvenir à des rendements optimaux de conversion de l'énergie solaire en électricité en utilisant une faible quantité d'énergie.

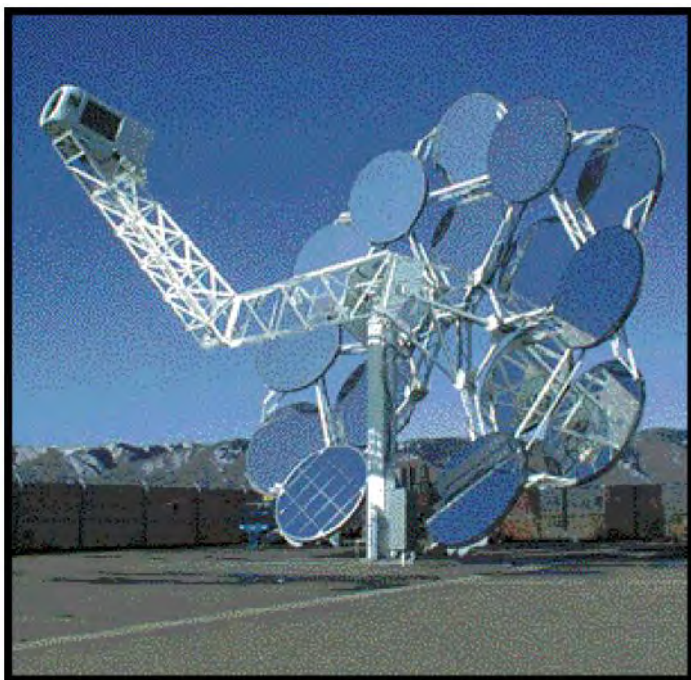


Figure 3.4. Un capteur à réflecteur parabolique avec un miroir et des réflecteurs du type miroir avec un absorbeur. Source : SunLabs - Department of Energy, Canada.

3.1.2.1.3.2. Systèmes à réflecteurs cylindro-parabolique :

Les réflecteurs cylindro-paraboliques sont des systèmes en forme de «U». Les réflecteurs cylindriques concentrent les rayons du soleil sur un tube récepteur situé le long de la ligne focale du réflecteur. Parfois un tube en verre transparent entoure le tube récepteur afin de réduire les pertes de chaleur.

Les réflecteurs cylindro-paraboliques utilisent souvent un système de pointeur solaire à simple axe ou à double axe. Dans de rares cas, ils peuvent être stationnaires. Les températures du récepteur peuvent atteindre 400 °C et peuvent produire de la vapeur afin de

produire de l'électricité. En Californie, des installations de plusieurs mégawatts ont été construites et utilisent des réflecteurs cylindro-paraboliques reliés à des turbines à gaz.



Figure 3.5 :

Systèmes à réflecteur cylindro-parabolique

Source: SunLabs - Department of Energy. Canada.

3.1.2.1.3.3. Systèmes de centrale à tour :

Un héliostat utilise un ensemble de pointeurs solaires à double axe qui dirige l'énergie du soleil vers un grand absorbeur situé dans une tour. A ce jour, la seule application du capteur héliostat est la production d'énergie dans un système dénommé «centrale à tour».

Une centrale à tour possède un ensemble de grands miroirs qui suit le mouvement du soleil. Les miroirs concentrent les rayons du soleil sur le récepteur en haut de la grande tour. Un ordinateur garde les miroirs alignés afin que les rayons du soleil, qui sont réfléchis, visent toujours le récepteur, où la température peut dépasser 1000 °C. De la vapeur à haute pression est générée afin de produire de l'électricité.



Figure : 3.6 :

Système de centrale à tour. Source: SunLabs - Department of Energy. Canada

3.1.2.1.3.4. Capteurs solaires fixes à concentration :

Les capteurs fixes à concentration utilisent des réflecteurs à composés paraboliques ainsi que des réflecteurs plans afin d'orienter l'énergie solaire vers un absorbeur d'accompagnement ou une fente à travers un important angle d'admission. L'important angle d'admission pour ces réflecteurs élimine la nécessité d'avoir un système de pointeur solaire. Ce type de capteur comprend des capteurs plans à réflecteurs cylindro-paraboliques, des capteurs plans, avec des réflecteurs paraboliques de surpression, ainsi que des cuisinières solaires. L'élaboration de ces deux premiers capteurs a été réalisée en Suède. Les cuisinières solaires sont utilisées dans le monde entier, notamment dans les pays en développement.

3.1.2.1.4. Capteurs solaires intégrés :

Il y a une centaine d'années, les réservoirs à eau qui étaient peints en noir servaient de simple chauffage solaire pour l'eau des résidences. Aujourd'hui leur marché principal concerne le chauffage de l'eau des résidences dans les pays chauds. Au Canada, ils peuvent être utilisés de façon efficace dans les terrains de camping et pour le chauffage de l'eau des résidences dans les climats tempérés, comme dans l'île de Vancouver; pendant l'hiver, les réservoirs doivent être protégés du gel ou être vidés.

Les capteurs intégrés modernes possèdent un vitrage qui est semblable à celui utilisé sur les capteurs plans et/ou un réflecteur afin de concentrer l'énergie solaire à la surface du réservoir. Comme le réservoir de stockage et l'absorbeur solaire agissent en tant qu'unité simple, il n'est pas nécessaire d'avoir d'autres composantes. Pour une même surface, les systèmes de capteur intégré sont moins chers que les capteurs plans de types vitrés, mais ils fournissent moins d'énergie au cours d'une année.

3.1.2.1.5. Capteurs sous vide :

Les capteurs sous vide (ou «caloduc») sont parmi les plus efficaces et parmi les types les plus coûteux de capteurs solaires. Ces capteurs conviennent mieux à des applications à températures modérées où la température en demande atteint 50 à 95 °C et/ou à des applications où le climat est très froid. Tout comme pour les capteurs solaires de types vitrés, les applications des capteurs sous vide comprennent le chauffage de l'eau des résidences

des bâtiments commerciaux, le chauffage des bâtiments, ainsi que celui des piscines intérieures. Comme ces systèmes sont capables de fournir des températures élevées avec efficacité, une autre application possible est le refroidissement des bâtiments en régénérant les cycles de réfrigération. Les capteurs sous vide possèdent un absorbeur sélectif afin de récupérer les rayons du soleil qui se situe dans le tube sous vide. Ils perdent peu de chaleur, même dans les régions froides.

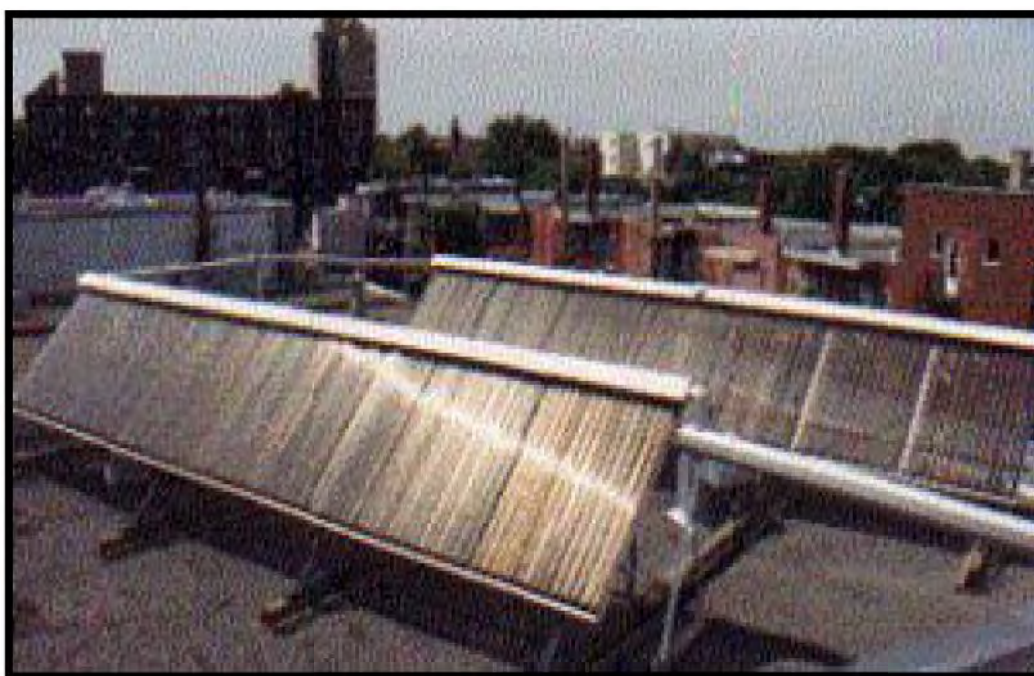


Figure 3.7 : Capteurs sous vide. Source : Ressources Naturelles. Canada.

3.1.2.2. Capteurs solaires à air :

Dans ce type de capteur, un absorbeur plan transforme, de façon efficace, les rayons solaires en chaleur. Afin de réduire au minimum la perte de chaleur, la plaque est située entre un vitrage (vitre plane ou matériau transparent) et un panneau isolant. Le vitrage est choisi de telle sorte qu'une quantité maximale de rayons solaires le traversent et atteignent l'absorbeur.

L'énergie qui est recueillie des capteurs solaires à air peut être utilisée pour le chauffage de l'air de ventilation, le chauffage des locaux, et le séchage des récoltes. Dans certains pays, l'utilisation la plus répandue est le chauffage de l'air de ventilation. Trois types de capteurs à air ainsi que trois de leurs applications correspondantes sont résumés ci-dessous :

La conception de ces trois types de capteurs est simple.

Ces capteurs sont habituellement plus légers que les capteurs à circulation de liquide puisqu'ils n'ont pas de canalisations sous pression.

Les capteurs à air présentent l'avantage de ne pas avoir de problèmes de refroidissement ni d'ébullition.

Chacun des quatre capteurs à air peut être intégré dans les bâtiments et peut constituer une partie de l'enveloppe du bâtiment.

3.1.3. Conclusion :

Ce type de panneaux solaires, consiste à utiliser des systèmes de production d'eau chaude, de chauffage, voire de climatisation, qui utilise l'énergie solaire associée à une énergie conventionnelle, il peut être facilement conçu pour s'intégrer dans le bâtiment.

Quelques règles doivent toujours être présentes à l'esprit du concepteur :

- ✓ choisir des systèmes simples, voire rustiques. Le monde du bâtiment s'accommode mal de systèmes complexes qui, en théorie, sont plus performants, mais sont souvent plus fragiles et difficiles à entretenir ;
- ✓ bien évaluer les besoins énergétiques (et lorsqu'il s'agit de bâtiments existants, ne pas hésiter à effectuer des mesures de consommation) afin de dimensionner avec précision l'installation solaire ;
- ✓ penser, dès la phase de conception, aux travaux de maintenance de l'installation elle-même, mais aussi du bâtiment dans laquelle elle va être intégrée ;
- ✓ évaluer le fonctionnement des systèmes sur des longues périodes. Cette démarche permet de détecter les pannes qui peuvent survenir et y remédier, mais aussi de comptabiliser l'énergie solaire produite et par conséquent les quantités de dioxyde de carbone dont l'émission a été évitée.

LES PANNEAUX SOLAIRES PHOTOVOLTAIQUES

3.2.1. Introduction :

Le mot « photovoltaïque » vient du grec « phôtos » qui signifie *lumière* et de « volta » du nom du physicien italien qui, en 1800, découvrit la pile électrique. Ainsi, l'effet **photovoltaïque** a été découvert en 1839 par un français, Antoine Becquerel (le grand père de l'inventeur de la radioactivité), mais le premier système n'a vu le jour expérimentalement qu'en 1954. Les premières applications étaient réservées aux satellites (Le satellite américain Vanguard en 1958), qui ont besoin de la source d'énergie durable, et très fiable. Vers 1970, apparaissent les premières applications terrestres, essentiellement dans les télécommunications lorsqu'il faut alimenter les relais hertziennes très isolés. Aujourd'hui, les modules photovoltaïques envahissent l'habitat et sont à la portée du grand public.

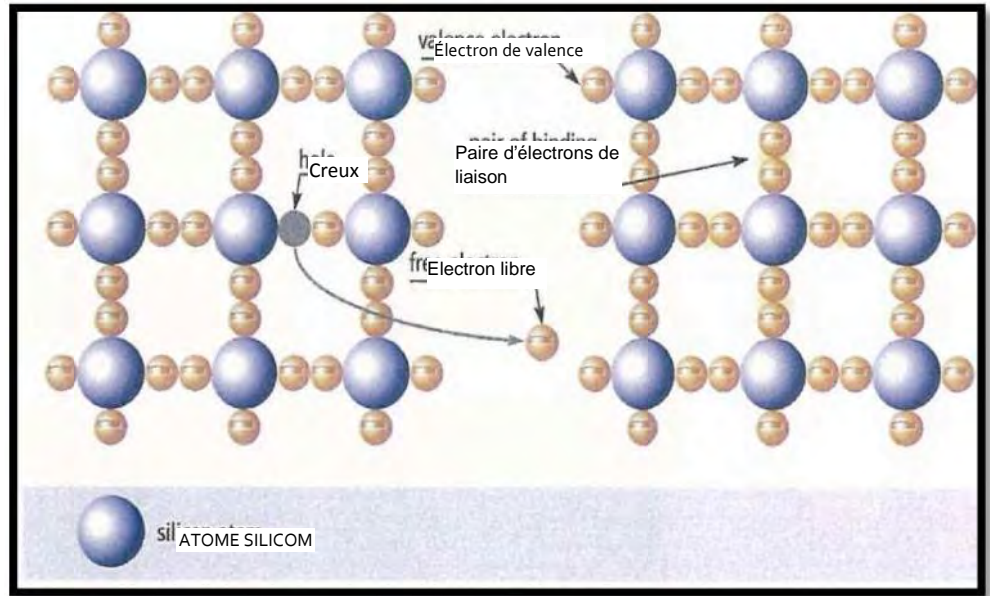
Le terme **photovoltaïque** signifie la conversion directe de la lumière en énergie électrique en utilisant les piles solaires. Des matériaux semi-conducteurs tels que le silicium, l'arséniure de gallium, le tellure de cadmium ou le sélénium, l'indium et enfin le cuivre, sont employés dans les piles solaires. La pile solaire cristalline est la variété la plus utilisée aujourd'hui avec une part de 55% du marché mondial.

3.2.2. le fonctionnement d'une pile solaire :

La manière dont les piles solaires fonctionnent est montrée ci-dessous (schéma 3.1), prenant les cellules de silicium cristallines comme exemple. Le silicium pur qui dispose d'une qualité en cristal très élevée est nécessaire pour faire les piles solaires¹, les atomes de silicium forment un réseau cristallin stable, chaque atome de silicium a quatre électrons dans la couche externe (électrons de valence). Pour former une configuration stable d'électrons, dans chaque cas dans le réseau cristallin deux électrons des atomes voisins forment un lien de paires d'électron. En formant des liens de paires d'électron avec quatre voisins, le silicium réalise sa configuration stable de gaz noble avec huit électrons externes. Un lien d'électron peut être brisé par l'action de la lumière ou de la chaleur. L'électron est alors libre pour se déplacer en laissant un trou (absence d'électrons) dans le réseau cristallin. Ceci est connu en tant que conductivité intrinsèque.

¹ : Planning and Installing Photovoltaic Systems. Guide for European commission

Figure 3.8 :
Structure cristalline de silicium et de conductivité intrinsèque
Source : V. Quaschnig



La conductivité intrinsèque ne peut pas être employée pour produire de l'électricité, car la concentration d'électrons libres est faible (10^{-9} A). Pour que le matériau de silicium puisse être employé pour produire de l'énergie, les impuretés sont délibérément rajoutées dans le réseau cristallin, cette opération s'appelle le dopage du matériau (voir le schéma 3.2). Ces atomes aient un électron de plus (**phosphore**) ou un électron de moins (**bore**) et seront injectées dans le réseau du silicium.

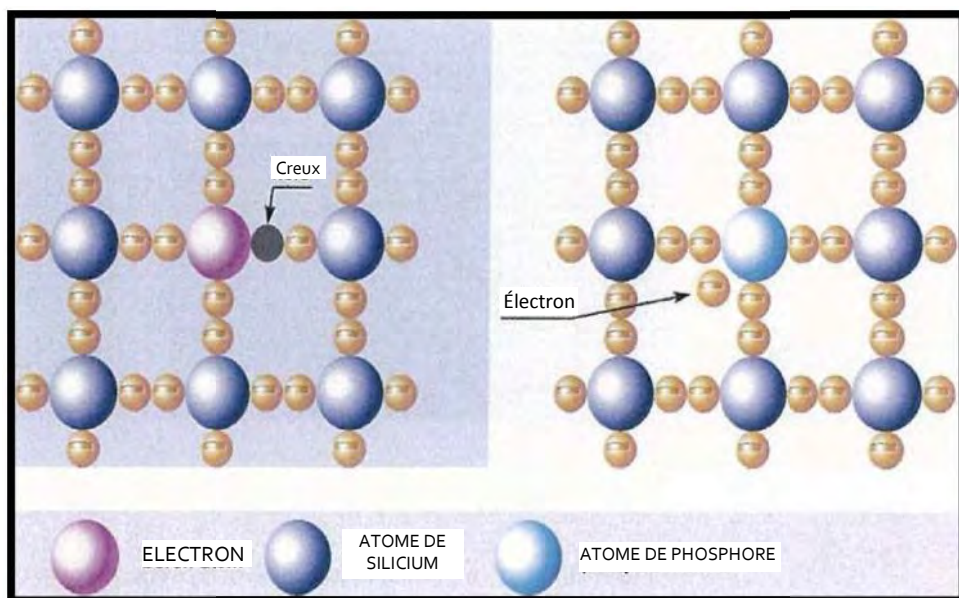


Figure 3.9 Conduction extrinsèque en silicium de n et p-enduit Source : V. Quaschnig

Dans le cas du dopage du phosphore (n-type), où atome donneur, on aura un électron de plus pour chaque atome de phosphore dans le réseau. Cet électron peut se déplacer librement dans le cristal et par conséquent transporter une charge électrique. Avec du bore dopé (p-type) ou atome accepteur, on aura un trou (électron absent de liaison) pour chaque atome de bore dans le réseau, par conséquent, les électrons des atomes voisins de silicium peuvent remplir ces trous.

La méthode de conduction basée sur le dopage par des impuretés est connue comme conduction d'impureté ou conduction extrinsèque, cependant, les porteurs libres n'ont aucune direction prédéterminée à leur mouvement². Si des couches p-type et n-type et le semi-conducteur sont rassemblées, une surface appelée PN (la jonction positif-négatif) est formée. À cette jonction, les électrons en plus de n-semi-conducteur diffusés dans la couche p-semi-conducteur, créeront une région avec porteurs de peu de charge libre (voir le schéma 3.3), cette région est connue comme région de charges d'espace. En dopant Positivement les atomes chargés qui restent dans la n-région de la transition et négativement les atomes qui restent dans la p-région de la transition. Un champ électrique sera créé, est s'opposé au mouvement des porteurs de charge, avec le résultat que la diffusion ne continue pas indéfiniment.

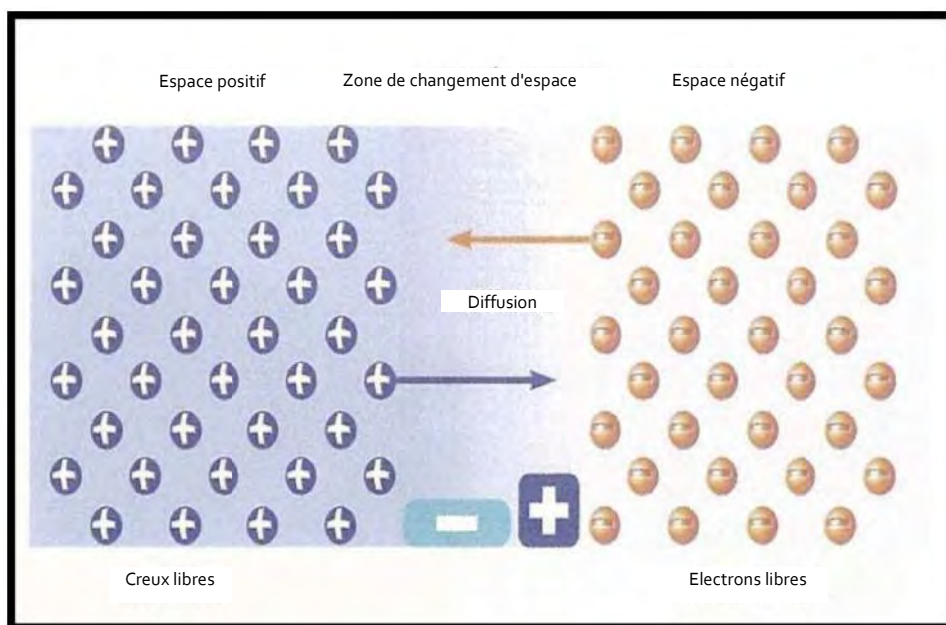


Figure 3.10 : Formation d'une région de charges Spatiales à la jonction de PN par la diffusion des électrons

Source V. Quaschnig

² P.GEVORKIAN, « Solar Power in building Design », 2008.

Si la diode p-n-semi-conducteur (pile solaire) est exposée à la lumière, des photons sont absorbés par les électrons, cette énergie absorbée brise des liens d'électrons. Les électrons libérés sont drainés par le champ électrique dans la n-région. Les trous qui sont formés émigrent dans la direction opposée, dans la p-région. Ce processus, dans son ensemble, s'appelle **l'effet photovoltaïque**.

La diffusion des porteurs de charge aux contacts électriques fait apparaître une tension présente à la pile solaire, appelée la tension de circuit ouvert VOC.

3.2.3. Conception et fonctionnement d'une pile solaire de silicium cristalline

La pile solaire de silicium cristalline classique³ comporte deux couches différentes de dopage de silicium. La couche qui fait face à la lumière du soleil est du type N (dopée au phosphore), alors la couche au-dessous, est du type P (dopée au bore). À la couche limite, un champ électrique est produit, cela mène à la séparation des électrons et des trous libérés par la lumière du soleil. Afin de pouvoir prendre la puissance de la pile solaire, des contacts métalliques doivent être adaptés sur l'avant et l'arrière de la cellule. Sur le dos de la pile solaire il est possible d'appliquer une couche de contact au-dessus de la surface entière en utilisant une pâte d'aluminium ou d'argent. L'avant, en revanche, doit laisser pénétrer autant de lumière possible.

Les contacts avant sont habituellement appliqués sous forme de grille mince ou de structure arborescente. Le dépôt d'une couche mince (enduit anti-réfléchissant) de l'oxyde de titane de nitrure de silicium sur la face avant de la pile solaire réduit la réflexion de la lumière. Les couches antireflets peuvent être déposées par pulvérisation ou par dépôt en phase vapeur. Entre autre, le principe est très simple. Les semi-conducteurs (Silicium, Germanium, notamment) sont des atomes qui possèdent une propriété très intéressante : la capacité, lorsqu'ils sont heurtés par un photon, de changer de niveau d'énergie. Le retour à un niveau d'énergie stable se fait en émettant un électron. C'est cet électron, multiplié par des milliards, qui constitue un courant électrique.

En 1954, un laboratoire américain fabriquait la première photopile, en "dopant" des plaques de Silicium (des impuretés sont ajoutées avant la cristallisation du Silicium) sur le principe de la diode.

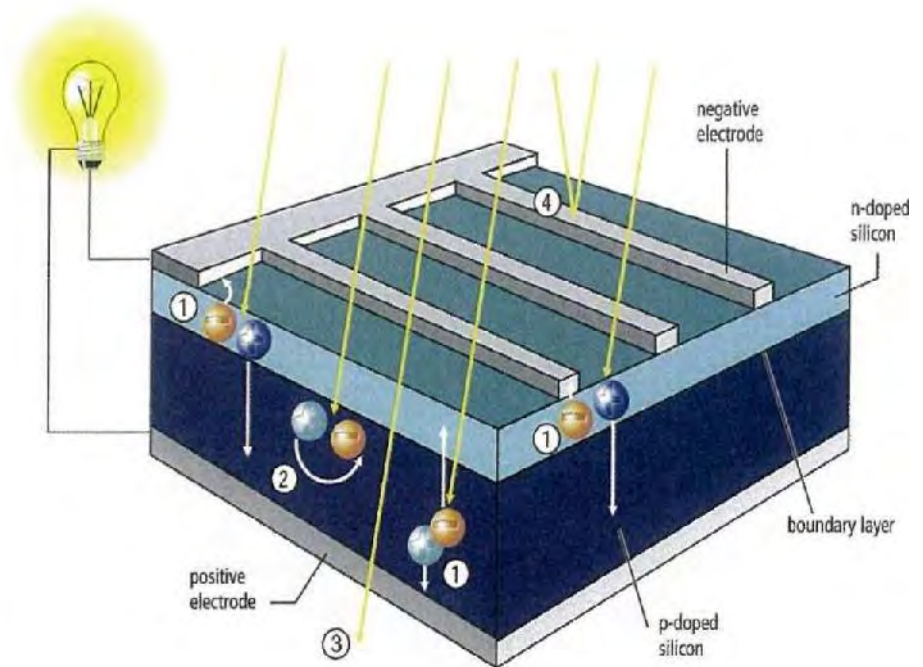
³ : Planning and Installing Photovoltaic Systems. Guide for European commission

Figure 3.11 :

La conception et le fonctionnement d'une pile solaire de silicium cristalline :

- 1 séparation de charge :
- 2 recombinaisons ;
- 3 énergies inutilisées du photon 3 (Par exemple transmission) ;
- 4 réflexion et ombrage provoqués par les contacts.

Source : V. Quaschnig



Comme décrit ci-dessus, quand la lumière est absorbée par la cellule solaire, les porteurs de charges se séparent et si la charge est reliée à une ampoule, le courant circule facilement. Les pertes de transmission sont montrées sur le schéma 1.4.

La nouvelle partie de l'énergie inutilisée est absorbée et convertie en chaleur, en utilisant l'exemple d'une pile solaire de silicium cristalline, les différents composants de perte sont montrés dans « le bilan énergétique » suivant :

- 100 % d'énergie solaire irradiée ; réflexion et ombrage de 3 % provoqués par les contacts.
- 23 % d'énergie due aux photons dans la radiation de grande longueur d'onde.
- 32 % d'énergie due au photon à de courtes ondes de radiation.
- 8.5 % de pertes de recombinaison.
- 20 % de différences potentielles dans la cellule, en particulier dans la région de charges spatiales.
- 0.5 % de résistance de série (pertes ohmiques), (loi d'ohm).

=13 % d'énergie électrique utilisable.

N.b. les dernières recherches ont poussé le taux à plus de 22 %.

En résumé, l'effet photovoltaïque, c'est donc la capacité à transformer la lumière en électricité. Il se trouve que sur terre, nous disposons d'une source de lumière abondante,

gratuite, et durable : c'est le **soleil**. Un panneau photovoltaïque est constitué de plusieurs dizaines de cellules, assemblées entre elles et raccordées, et qui vont, en fonction de l'intensité lumineuse incidente sur le panneau, produire un courant continu. Ce courant continu a une tension constante (0,6 V pour une cellule seule, mais en général, on connecte plusieurs cellules en série pour obtenir une tension de 12 V). C'est son intensité qui varie en fonction de la lumière reçue. Plusieurs cellules sont reliées entre-elles sur un module solaire photovoltaïque. Plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire dans une centrale solaire photovoltaïque. Pour pouvoir être utilisé dans les applications domestiques, on doit généralement transformer ce courant continu en courant alternatif. C'est la fonction d'un matériel électronique appelé "onduleur". On connecte également un régulateur, et l'installation est prête à fournir un courant à 220 V utilisable dans toute la maison !

3.2.4. Champs d'application :

Les systèmes photovoltaïques peuvent être groupés dans les systèmes autonomes et les systèmes reliés aux réseaux⁴. Dans les systèmes autonomes le rendement à énergie solaire est assorti à la demande énergétique. Puisque le rendement de l'énergie solaire souvent ne coïncide pas à temps avec la demande énergétique des charges reliées, des systèmes de stockage additionnel (batteries) sont généralement utilisés. Si le système de PV est soutenu par une source d'énergie additionnelle, par exemple, un vent ou générateur diesel, ceci est connu comme système hybride photovoltaïque.

Dans les systèmes reliés aux réseaux électriques publics, il fonctionne comme un magasin d'énergie.

⁴ Planning and Installing Photovoltaic Systems. Guide for European commission

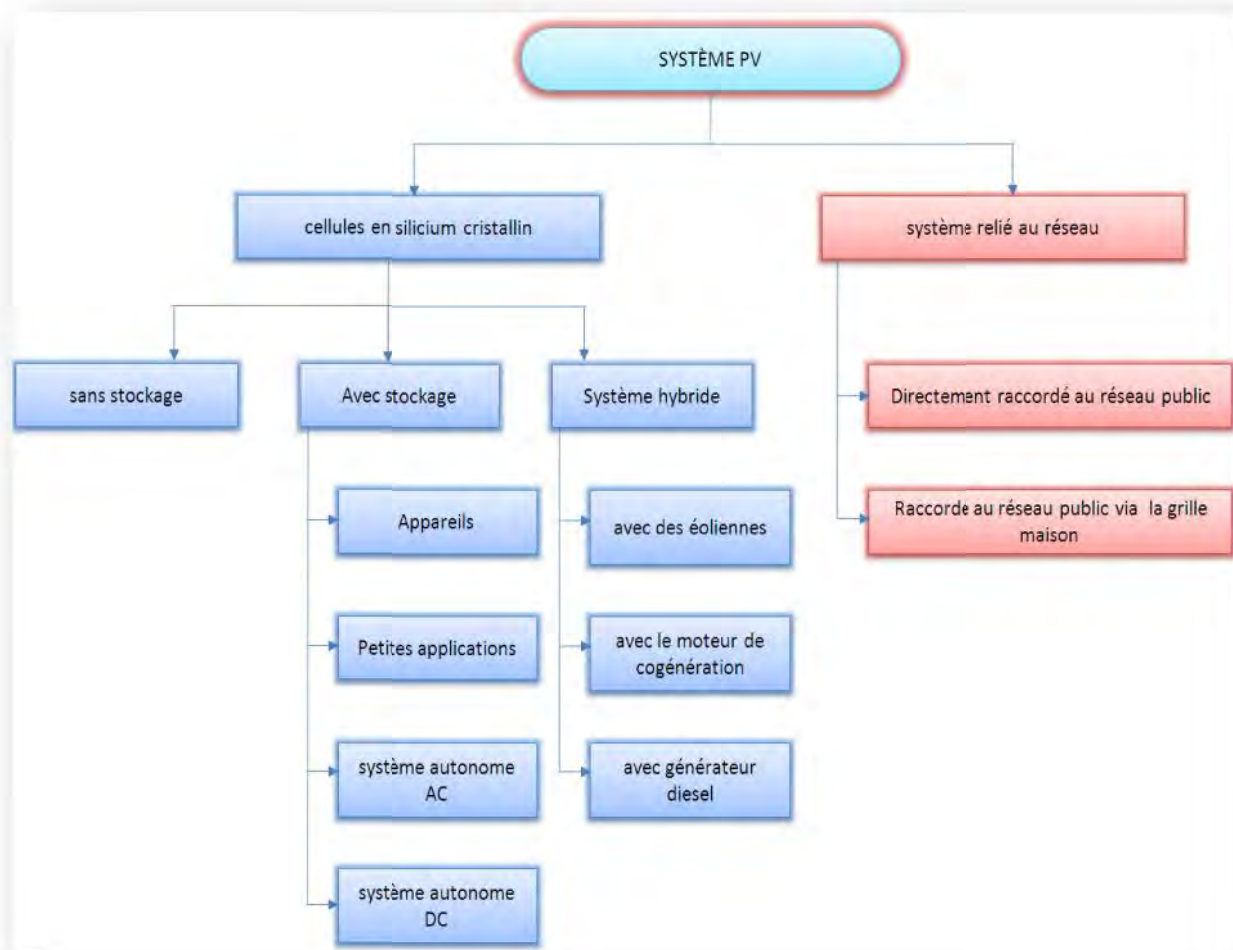


Figure 3.12: Types des systèmes PV. Source : Guide for European commission

3.2.4.1. Systèmes autonomes :

Les premières demandes rentables de l'énergie photovoltaïque étaient les systèmes autonomes. Partout où il n'était pas possible d'installer une fourniture d'électricité du réseau de service, les systèmes photovoltaïques rentables ou souhaitables autonomes a pu être installé. L'étendue des applications se développe constamment, il y a un grand potentiel pour l'usage des systèmes autonomes dans les pays, surtout ceux qui sont en voie de développement où de vastes secteurs toujours fréquemment ne sont pas assurés par un réseau électrique. Mais les innovations technologiques et les nouvelles méthodes de production plus peu coûteuses ouvrent le potentiel dans les pays industrialisés aussi. L'énergie solaire est également sur l'avance quand elle vient à de mini-applications : les calculatrices de poche, horloges, chargeurs de batterie, lampes-torches, radios solaires, etc., sont bien connues, d'autres exemples, de l'utilisation réussie des piles solaires dans des applications autonomes :

- systèmes mobiles sur des voitures, des camping-cars, des bateaux, etc. ;
- carlingues de montagne, maisons de week-end et de vacances et électrification à distance de village dans les pays en voie de développement ;
- Téléphones de SOS, feux de signalisation et systèmes d'observation, stations de communication, bouées et applications semblables qui sont éloignées du réseau ;
- applications dans le jardinage et l'aménagement ;
- systèmes de pompe solaires pour l'eau potable et irrigation, désinfection solaire de l'eau et dessalement.

Figure 3.13 : Mixeur de lait
Source : Solan



Figure 3.14 : Lumière de jardin
Source : Solan Watt



Figure 3.15 : Chargeur Solaire
Source : Solan





Figure 3.16 Voiture Solaire. Source : Solan

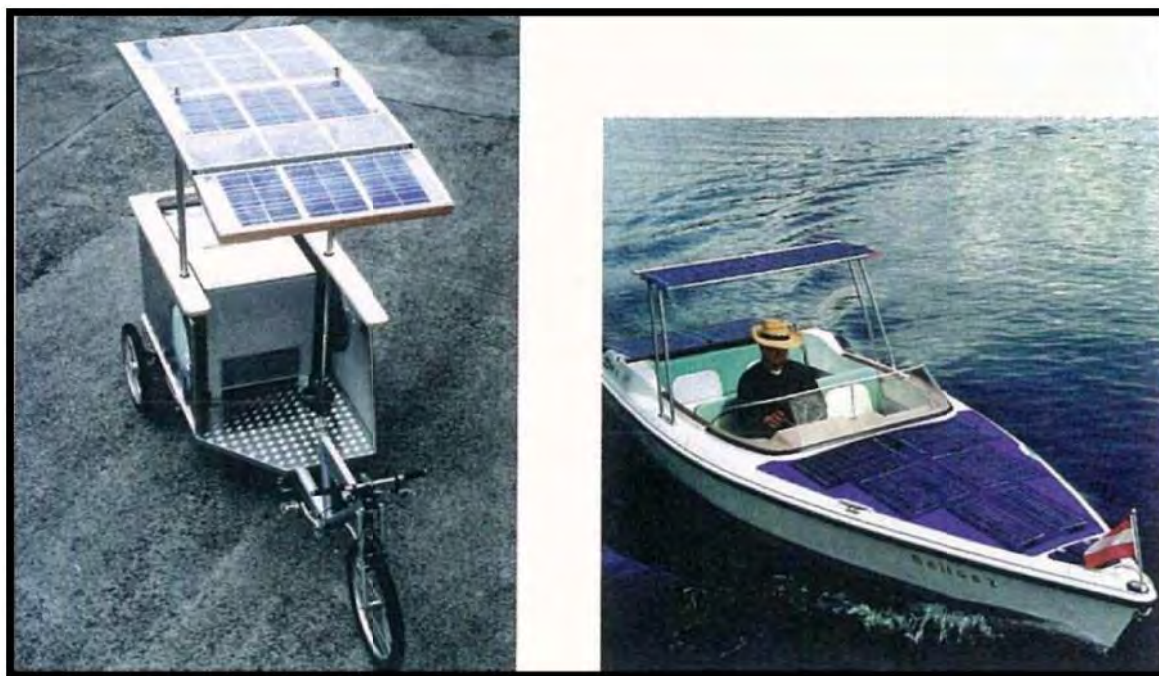


Figure 3.17. Stand mobile de glace avec Système solaire de congélateur. Source : Sepp Fiedler ; Style de vie solaire GmbH

Figure 3.18 Bateau solaire, Source: D.A. Seebacher ; Aquawatt Yachtbau Company

Les systèmes photovoltaïques autonomes exigent généralement un système de stockage de l'énergie parce que l'énergie produite habituellement (ou rarement) n'est pas exigée en même temps qu'elle est produite (c.-à-d. l'énergie solaire est disponible pendant le jour, mais les lumières dans le système autonome d'éclairage solaire sont employés la nuit). Des batteries rechargeables sont utilisées pour stocker l'électricité. Cependant, afin de les protéger et les réaliser pour une longue durée de vie, il est essentiel qu'un contrôleur approprié de charge soit également utilisé comme unité de gestion de puissance. Modules PV, habituellement reliés en parallèle ou en série-parallèle.

3.2.4.2. Système relié à un réseau :

Un système photovoltaïque relié à réseau comporte essentiellement les composants suivants :

- 1- Une rangée de Modules PV (modules multiples de PV reliés en série ou parallèles avec des supports).
- 2- Combinateur de rangée de PV/boîte de jonction (avec le matériel de protection).
- 3- câblage de courant continu.
- 4- commutateurs principaux de débranchement/isolant de C.C.
- 5- inverseur.
- 6- Câblage à C.A.
- 7- compartiment de 7 mètres avec le système de distribution d'énergie.

Figure 3.19 Schéma d'un système relié à un réseau de PV Source : C. Geyer/DGS BT Berlin BRB

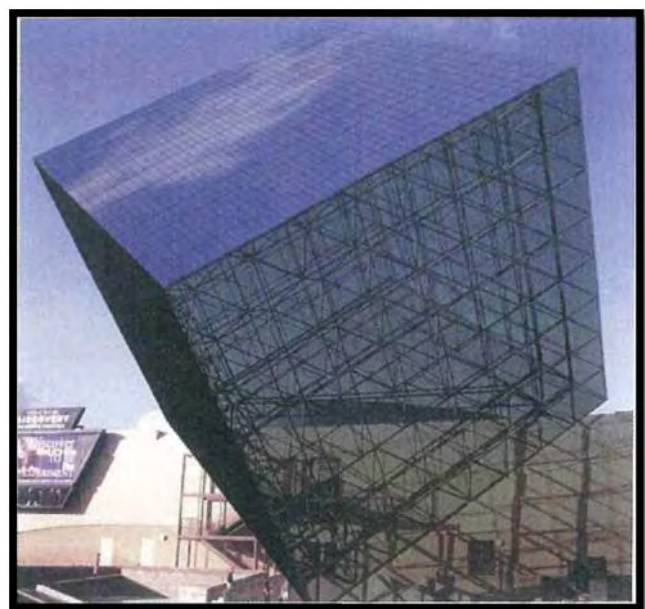


Figure 3.20 : Cube relié à un réseau de PV au centre de la Science de découverte dans Santa Ana, la Californie

Copyright: Solar Design Associates Inc.

Source : OJA-Services

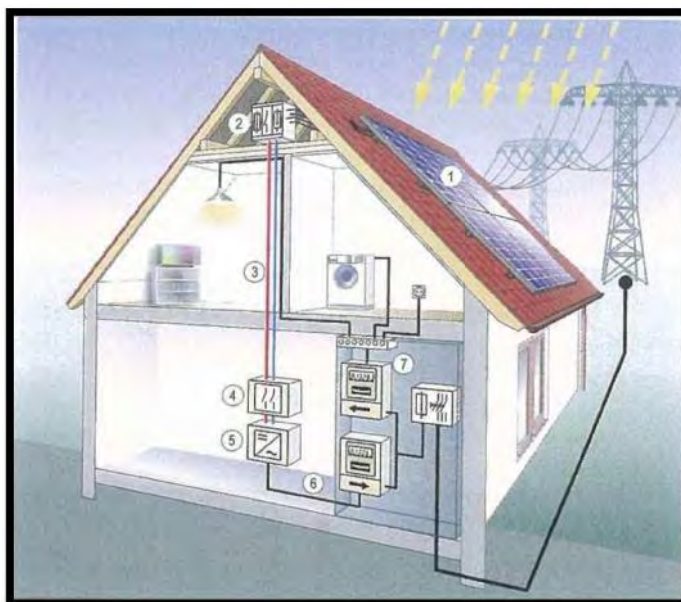
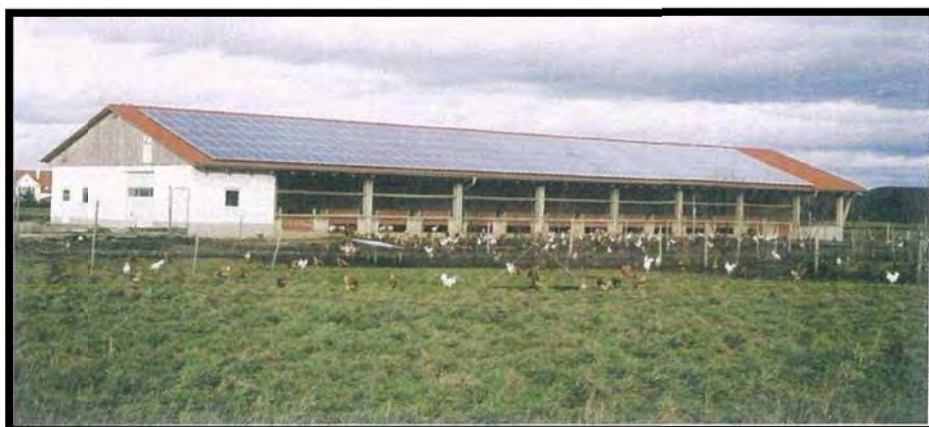


Figure 3.21 : Ferme de poulets alimentée en PV. Source : OJA-Services



Considérant que les premières installations de système photovoltaïque ont été montées sur les toits des maisons privées, ils sont de plus en plus installés sur toutes sortes de bâtiments (par exemple résidences, écoles, et bâtiments agricoles et industriels). D'autres structures pour les systèmes photovoltaïques (Par exemple barrières de bruit d'autoroute et toits de plate-forme de station de train), sont aussi utilisées. Il y a maintenant une grande variété de possibilités de conception pour intégrer des systèmes photovoltaïques dans des bâtiments, telle est notre problématique de recherche.

3.2.5. Type de cellules solaires :

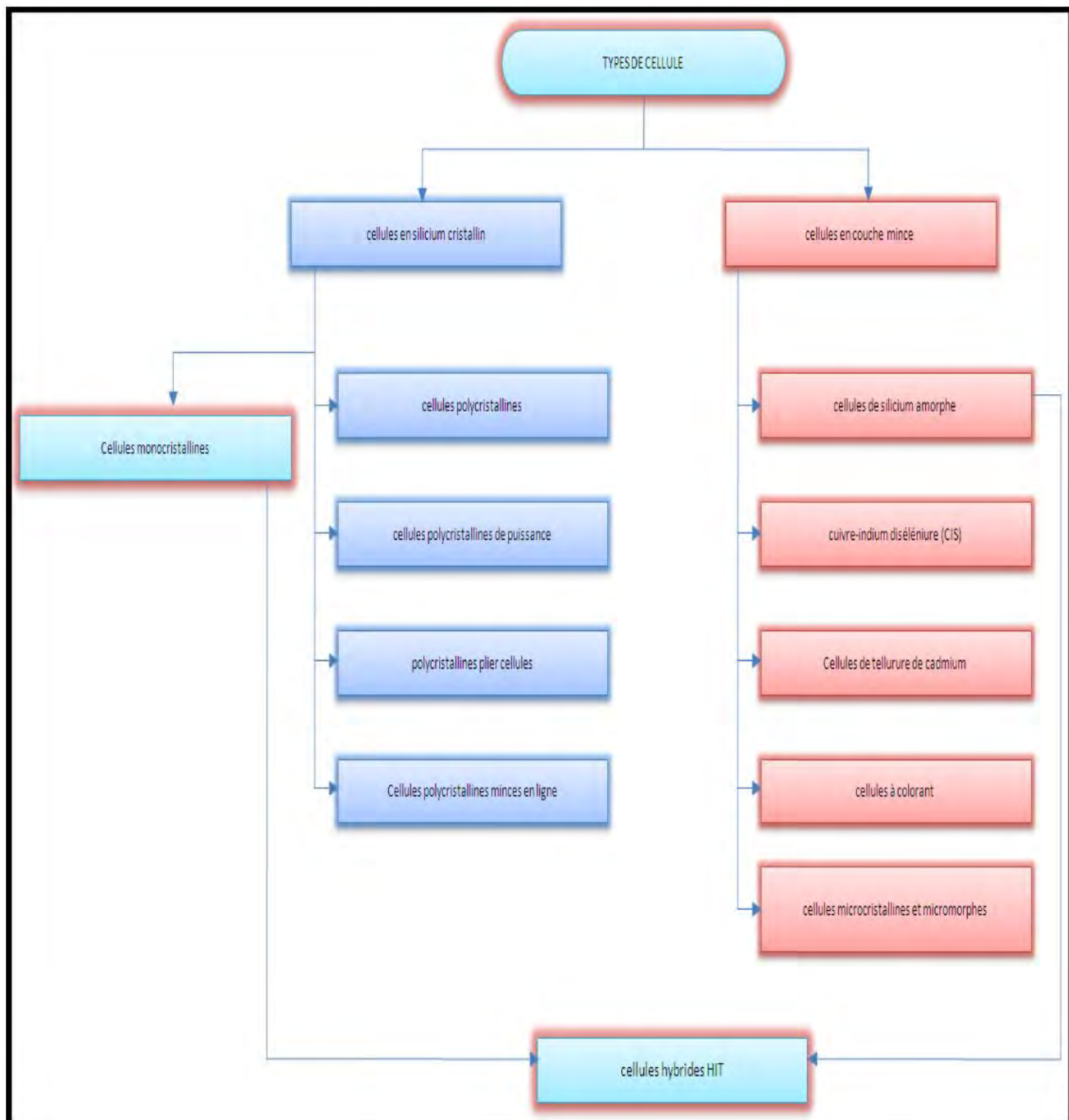


Figure. 3.22, Types de piles solaires
Source: D. Wunderlich/DGS BT Berlin.

3.2.5.1. La source:

Le matériel le plus important dans les piles solaires cristallines est le **silicium**. Après l'oxygène, c'est le deuxième élément abondant sur terre après l'oxygène (27,6%), et, par conséquent, il est disponible en quantité presque illimitée. Il n'est pas présent sous une forme pure, mais avec d'autres composés chimiques: de dioxyde de silice (dans le sable, le quartz, la cristallite, etc.). Ou de silicate (dans les feldspath, la kaolinite, etc.).

Il existe trois technologies différentes de fabrication des modules solaires photovoltaïques :

3.2.5.2. Le silicium monocristallin:

Ils possèdent un meilleur rendement au m², et sont essentiellement utilisés lorsque les espaces sont restreints. Le coût plus onéreux qu'une autre installation de même puissance, contrarie le développement de cette technologie. Pour l'utilisation industrielle, le silicium, est très abondant dans la nature sous sa forme oxydée (silice), doit être extrait par fusion, afin de réaliser des cellules de très faibles épaisseurs (0.4 mm). On fait croître très lentement, à partir d'un premier germe monocristallin tiré d'un bain de silicium fondu très pur un barreau de silicium, celui-ci est alors coupé en tranches fines. La cellule ainsi obtenue est plus chère, mais plus performante. Cependant, les cellules monocristallines prennent une multitude de forme ; carré, ronde et demi-rondes.

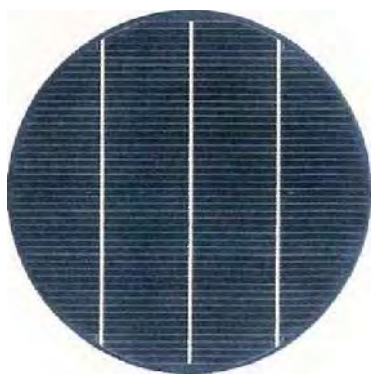


Figure 3.23 Cellule monocristalline ronde



Figure 3.24 Cellule monocristalline carrée solaire

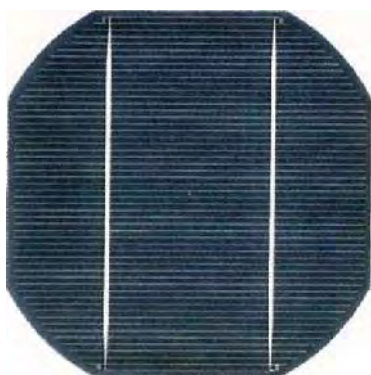


Figure 3.25 Cellule monocristalline demi-ronde solaire

Source: Siemens

Efficacités : 15 à 18 % (silicium de Czochralski).

Forme : selon la quantité de monocristal découpé en tranches, semi-rond des cellules rondes ou carrées sont créées. Les cellules rondes sont les meilleurs au marché, contrairement aux cellules demi-rondes ou carrées, mais ils ont le matériel le moins gaspillé dans leur production. En dépit de cela, elles sont rarement employées dans des modules standards parce qu'une fois placées à côté dans un module, ils n'utilisent pas l'espace efficacement.

Cependant, pour l'intégration dans le bâtiment, le transparent partiel est désiré, ou pour les systèmes à la maison solaires, les cellules rondes sont une alternative parfaitement viable.

Tailles habituelles : 10cm² x 10cm² (4 pouces), 12.5cm² x 12.5cm² (5 pouces), ou 15cm² X 15cm² (6 pouces) ; 0:12.5 cm ou 15cm.

Épaisseur : 0.2mm à 0.3mm.

Aspect : uniforme.

Couleur : bleu-foncé au noir (avec l'AR) ; gris (sans l'AR).

3.2.5.3. Le silicium poly cristallin:

Actuellement c'est le meilleur rapport qualité/prix et les plus utilisés. Ils ont un bon rendement et une bonne durée de vie (plus de 35 ans), et en plus ils peuvent être fabriqués à partir de déchets de l'électronique. C'est la deuxième méthode, moins onéreuse, mais d'un rendement légèrement plus faible, la fabrication directe de lingot de silicium dans un creuset. Le silicium liquide se cristallise en un bloc complet composé d'une multitude de petits cristaux. Ce bloc est lui-même découpé en lingots plus petits, puis en tranches fines.

Les cellules poly cristallines qui ont résultent présentent alors, de jolis reflets correspondant aux nombreux cristaux, leur rendements est plus faible, mais le coût de fabrication est plus réduit.

Efficacités : 13 % à 16 % (avec l'anti-réfléchissant).

Forme : Plate.

Tailles habituelles : 10cm² x 10cm² ; 12.5cm² x 12.5cm² ; 15cm² x 15cm² ; 15.6cm² X 15.6cm² ; et 21cm² x 21cm² (4 pouces ; 5 pouces ; 6 pouces ; pouce 6+ ; et 8 pouces).

Épaisseur : 0.24mm à 0.3mm.

Aspect : le processus de bloc forme des cristaux avec différentes orientations.

Puisque la lumière est réfléchié différemment, les différents cristaux peuvent être clairement vus sur la surface (modèle de gel).

Couleur : bleu (avec l'anti-réfléchissant); gris argenté.



Figure 3.26 Gaufrette poly cristalline sans enduit anti-réfléchissant. Source : Photo watt

Figure 3.27 Gaufrette poly cristalline avec l'enduit anti-réfléchissant. Source : Photo watt

Figure 3.28 Cellule poly cristalline avec lignes anti-réfléchissantes et de contact de grille. Source: Photo watt

3.2.5.4. Le silicium amorphe (couches minces) :

Il s'agit ici de projeter sur un support (verre ou plastique), un flux de silicium en phase gazeuse, mais il existe d'autres variantes. Son aspect uniforme, opaque de couleur brune ou mauve, remplit la totalité de la surface d'un panneau. Son rendement est environ deux fois inférieur à la première technologie, mais, il est aussi moins cher à industrialiser en grande série. Ces modules amorphes auront un bon avenir car ils peuvent être souples et ont une meilleure production par faible lumière. Le silicium amorphe possède un rendement divisé par deux par rapport à celui du cristallin, ce qui nécessite plus de surface pour la même puissance installée. Toutefois, le prix au m² installé est plus faible que pour des panneaux solaires composés de cellules.

3.2.6. Recherches et développements:

La recherche est très active dans le domaine du solaire photovoltaïque. Les prix diminuent constamment et les rendements progressent. En 20 ans, les rendements sont passés de 15 % à 42,8 % (septembre 2007) dans les laboratoires⁵. Ce dernier chiffre est obtenu par un consortium (associant, entre autres, des chercheurs de l'Université du Delaware, de l'institut technologique de Géorgie, de l'Université de Rochester et du MIT). Les rendements des systèmes disponibles commercialement sont quant à eux passés de 5 % à 22 %.

⁵ : http://fr.wikipedia.org/wiki/%c3%89nergie_solaire_photovolta%c3%AFque.

La technologie basée sur le silicium a un développement comparable à celui de l'industrie des semi-conducteurs. Outre l'amélioration constante des produits à base de silicium, on peut citer plusieurs technologies innovantes qu'on espère promises à un bel avenir :

- les cellules photovoltaïques en plastique
- les cellules de Graetzel /
- les concentrateurs photovoltaïques (aussi dits « CPV »)
- dopage par adjonction aux matériaux du capteur de *points quantiques* jouant le rôle de semi-conducteurs artificiels. Ces derniers étant conçus pour capter des longueurs d'onde spécifiques aujourd'hui mal exploitées, ils pourraient doper la production d'électricité en augmentant l'efficacité des systèmes à concentrateur d'environ 44 % selon ses concepteurs
- les couches minces métalliques déposées sur de nouveaux types de substrats (verre, feuillard métallique, plastique....)
 - à base de silicium avec des "consommations" plus faibles de matières premières
 - sans silicium
 - CIS
 - Cellule CIGS (Cuivre, Indium, Gallium et Sélénium).

Récemment, deux chercheurs japonais de l'université Toin de Yokohama - Tsutomu Miyasaka et Takurou Murakami - ont conçu un capteur révolutionnaire capable de stocker l'énergie solaire sans batterie. Ce dispositif nommé photo-condensateur promet une nette simplification des installations photovoltaïques. Selon ses concepteurs, ce capteur serait deux fois plus performant que les capteurs classiques à base de silicium et pourrait donc fonctionner avec une lumière de faible intensité, comme à l'intérieur d'un bâtiment ou par temps voilé. C'est le domaine le plus prometteur, outre les progrès constants sur les cellules photovoltaïques au silicium. On parle de **nanotechnologies**, ce qui n'est pas faux mais cela n'a absolument rien à voir avec des nanomatériaux autoreproducteurs dont on s'effraie sans doute à juste titre. On reste ici dans des fabrications relativement traditionnelles. L'enjeu principal est non seulement de baisser les coûts mais aussi de réduire la dépense énergétique nécessaire pour produire les capteurs solaires. Actuellement, une installation raccordée au réseau, aura rentabilisé l'énergie nécessaire à sa construction en 4 à 7 ans. Pour une durée de vie de 20 à 30 ans.

En Australie a été développé le concept prometteur de **cellules à plusieurs couches**. Une telle cellule ressemble à un empilement de plusieurs cellules amorphes et demande du

silicium de moins grande pureté. Le Prof. Green, de l'Université de N.S. Wales pense qu'un jour ces cellules permettront de diviser le prix des panneaux photovoltaïques par vingt. L'université de Neuchâtel pousse les recherches dans la même direction, avec les "cellules micro morphes+" de l'équipe du Prof. A. Shah. Une autre piste très intéressante est celle de capteurs photovoltaïques sensibles aux infrarouges, c'est-à-dire produisant de l'électricité avec de la simple chaleur. Le Professeur Ted Sargent de Toronto, explique ainsi que son équipe a créé « à partir de cristaux semi-conducteurs d'une taille de 3 ou 4 nanomètres, des nanoparticules pouvant être dispersées dans n'importe quel solvant de base » (tout comme le seraient les particules de peinture). Avec encore quelques améliorations, la perception combinée des spectres visible et infrarouge par une seule cellule photovoltaïque pourrait permettre l'exploitation de 30% de l'énergie radiante. Il faut signaler enfin les recherches sur la production d'électricité et de circuits électroniques à partir des protéines de chloroplastes d'épinard, réalisant ainsi la première cellule solaire à base de semi-conducteurs biologiques !

Si tout ceci reste pour demain, des produits novateurs sont d'ores et déjà commercialisés bien qu'on ne soit pas tout-à-fait sûr de leur mise au point, ce sont les films plastiques de Konarka⁶. Les cellules solaires en plastique ont un rendement compris entre 4 et 5% mais elles restent encore très fragiles car elles sont sensibles à l'oxygène et à l'humidité et surtout leur prix est pour l'instant le double du photovoltaïque traditionnel même s'il devrait à terme coûter 4 à 5 fois moins cher. Il faut donc là aussi attendre meilleure fiabilité et baisse des prix...

Les annonces sensationnelles de "percée" du solaire photovoltaïque sont à relativiser car les modules solaires ne constituent qu'un des éléments d'une installation. Les progrès sont assez prometteurs cependant, et lorsque la chute des prix se confirmera, l'utilisation de l'électricité solaire devrait se **généraliser** en quelques dizaines d'années, le temps d'équiper tous les bâtiments, et sans doute bien avant l'épuisement des réserves pétrolières. On saura alors qu'on a définitivement quitté l'ère énergétique pour l'ère de l'information.

⁶ [Http : //www. konarka.com](http://www.konarka.com). Consulté en juin 2010.

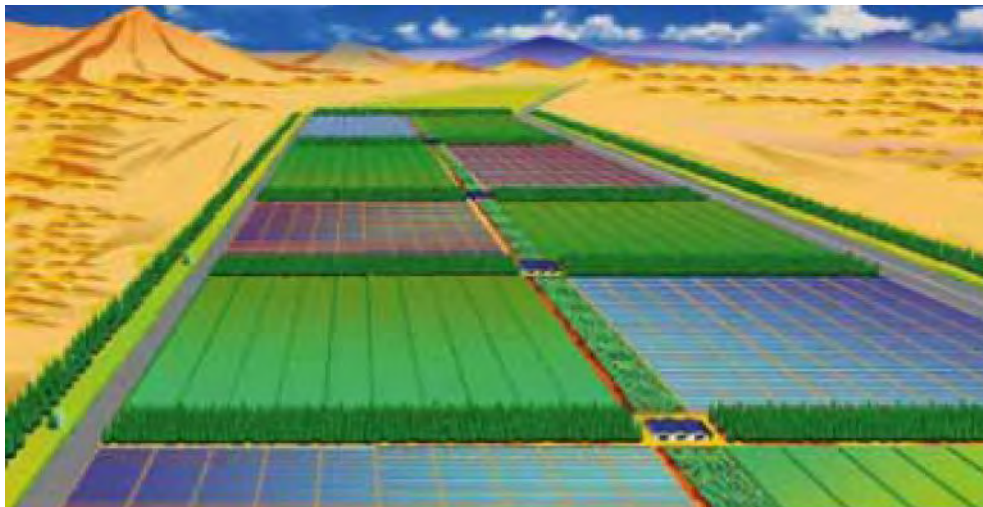


Figure 3.29 : - Image d'un système de VLS-PV dans une zone désertique (projet d'étude sur la très grande échelle système de production d'énergie photovoltaïque)

3.2.7. Puissances photovoltaïque installées dans le monde :

Différentes puissances cumulées fin 2007 et installées en 2007 selon l'agence internationale de l'énergie :

- monde 9 400 MW.
- Europe 4 900 MW.
- Allemagne 3 862 MW, + 1 135 MW.
- Japon 1 919 MW, + 210 MW.
- États-Unis 831 MW, + 207 MW.
- Espagne 655 MW, + 512 MW.
- France 75 MW, + 31 MW.

En 2007 les installations ont cru de 40 % par rapport à celle de 2006. La prévision mondiale pour 2008 est de 13 500 MW⁷.

3.2.8. L'obstacle au développement : le stockage de l'énergie

Le développement du solaire photovoltaïque a eu pour origine l'électrification des sites isolés et non raccordés au réseau, mais également l'alimentation de matériel mobile. Cette nécessité a permis à la filière naissante de faire année après année des progrès en termes de prix de revient du kWh produit et de rendement des panneaux.

La production d'électricité solaire est sujette aux aléas de l'ensoleillement et n'est pas régulière. Les périodes de production ne coïncident pas avec les périodes de consommation et la nuit, la production est nulle mais pas les besoins. Dans les sites isolés et non connectés au

⁷ : <http://www.iea-pvps.org.consulté> en juin 2010.

réseau, on stocke l'énergie dans des batteries pour pallier cet inconvénient. Mais c'est un investissement supplémentaire et non négligeable en termes de coût et d'entretien. Dans ce cas particulier, le surcoût est acceptable en comparaison du prix qu'il aurait fallu mettre dans l'installation d'une nouvelle ligne électrique.

Le développement actuel du solaire photovoltaïque, n'est plus motivé par les besoins des sites isolés. La motivation actuelle est due à l'épuisement prévisible des énergies non renouvelables comme le pétrole⁸, le gaz, le charbon. Depuis peu, médiatisation aidant, une prise de conscience est en cours et le photovoltaïque raccordé au réseau apparaît comme l'une des solutions.

Pour faire face aux problèmes énergétiques et écologiques à venir, il convient donc de mettre en œuvre plusieurs politiques : économiser l'énergie, augmenter l'efficacité énergétique, promouvoir et développer rapidement des énergies de remplacement, communément appelées les « nouvelles énergies renouvelables », dont le solaire photovoltaïque fait partie.

3.2.9. Influence de l'ensoleillement :

Sur terre, l'énergie solaire moyenne en pleine exposition reçue par 1 m² de panneaux exposés en plein soleil est de 1 kW, alors que dans l'espace la constante solaire est de 1,367 kW/m². Malgré son nom la constante solaire n'est pas vraiment constante puisque l'activité solaire n'est pas elle-même constante.

Les pertes occasionnées lors de la traversée de l'atmosphère par la lumière est telle que l'énergie qui arrive au sol sur terre est plus faible et de l'ordre moyen de 1 kW/m² au midi vrai. C'est cette valeur qui est communément retenue pour les calculs. En laboratoire pour déterminer le rendement d'une cellule ou d'un panneau solaire, une source d'énergie solaire artificielle de 1 kW/m² est également utilisée. Au final, l'énergie qui arrive au sol dépend de l'inclinaison du soleil donc de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser et de sa nébulosité.

Alors que cette question peut être étudiée plus en détail sur le site de l'Institut de l'énergie solaire (INES), le **nombre d'heures d'équivalent plein soleil** concerne plus particulièrement le producteur d'électricité photovoltaïque.

⁸ : « La fin progressive du pétrole », http://energie/fin_petrole.htm. Site accédé en décembre 2010.

En effet, un panneau solaire n'est qu'exceptionnellement exactement face au soleil puisque la terre tourne sans arrêt et que l'inclinaison du soleil par rapport au panneau évolue en permanence. Au cours d'une journée sans nuage la production électrique du panneau varie également en permanence en fonction de la position du soleil et n'est jamais à son maximum sauf au bref passage du plein midi. La production en fin de journée est donc une somme de productions partielles. Par temps couvert, donc en l'absence de soleil, la luminosité ambiante, alors que le soleil est caché, permet quand même une toute petite production électrique, et ces petites productions additionnées finissent par faire des kWh. En fin d'année à partir du total de la production électrique on obtient le nombre d'heures d'équivalent plein soleil de l'année qui n'a rien à voir avec le nombre d'heures d'ensoleillement au sens météo.

Le nombre d'heures d'ensoleillement vu par les services météo ou les climatologues n'est pas de la même nature. Soit il y a du soleil soit il n'y en a pas.

Il faudrait aussi tenir compte de l'albédo du sol, c'est-à-dire de son pouvoir de réflexion de la lumière. Lorsqu'une installation est environnée de neige par exemple, donc d'un environnement très réfléchissant, la production d'une installation augmente parce qu'elle récupère une petite partie de la lumière réfléchi par la neige alentour. Mais cette variable n'est pas facile à quantifier et se trouve, de fait, incluse dans le nombre d'heures d'équivalent plein soleil.

3.2.10. Conclusion :

La technique photovoltaïque offre une approche multifonctionnelle en tant que matériau de construction et appareil de production d'énergie. En intégration, elle peut remplacer un mur-rideau en verre formant l'enveloppe extérieure du bâtiment. Les murs rideaux sont composés de profilés aluminium extrudés de grosses sections et de joints de caoutchouc qui soutiennent les panneaux solaires bi-verre, réalisant ainsi une façade parfaitement étanche.

Qu'il soit utilisé dans le neuf ou en réhabilitation, le mur-rideau permet d'améliorer l'ambiance lumineuse intérieure tout en contribuant au design et à l'esthétique de l'ensemble. Intégré un générateur photovoltaïque revient globalement à remplacer un vitrage classique par un module solaire sans cadre. Généralement, toute l'électricité produite est consommée sur place par les éclairages ou les autres appareils électriques, mais si la production est supérieure

à la consommation, et si les conditions légales le permettent, l'excédent ou la totalité de la production est renvoyé dans le réseau public, et racheté par l'opérateur public.

Les modules sont intégrés dans la façade d'un bâtiment moderne. Le courant continu produit par les modules solaires est transformé en courant alternatif par un onduleur et distribué dans les différents appareils du bâtiment. L'excédent ou toute la production peut être renvoyé dans le réseau public et racheté par l'opérateur public par contrat.

La cellule est fabriquée à partir de silicium. Dopée pour devenir semi conductrices, deux couches contiguës produisent des particules l'une positive et l'autre négative. Le soleil émet des photons. Ceux-ci permettent à la cellule de produire l'électricité.

CHAPITRE IV : A PROPOS DE LA CONCEPTION DES PANNEAUX SOLAIRES

4.1. Introduction :

L'architecte commence à définir la forme du bâtiment dès les premières esquisses ; compacité, orientation, ouverture au soleil, masques architecturaux, casquettes, loggias, balcons, taille et positionnement des baies, occultations, protections face aux vents, ... Cette étape de conception a un impact primordial sur le résultat final de l'opération car les choix faits, conditionnent pour une très grande part la capacité du bâtiment à limiter les surfaces déprédatives, intégrer les apports solaires, préserver le confort d'été, favoriser l'usage de l'éclairage naturel, intégrer des équipements d'énergie renouvelable, etc. C'est l'aptitude bioclimatique du bâtiment.

Il est donc important que, dès cette phase, des échanges aient lieu entre le maître d'ouvrage, l'architecte et le bureau d'études thermiques. Ceci permettra d'associer efficacement qualité architecturale, performance énergétique, logique économique et respect du programme de l'opération.

Le développement du génie-climatique, et de la technologie du bâtiment a donné aux concepteurs une certaine liberté de modéliser leurs œuvres avec une simplicité impeccable. L'évolution rapide du génie climatique a « libéré » les architectes de ces contraintes et les amenés à se concentrer sur les aspects structurels et formels, et petit à petit, la technologie devienne un outil aux mains des architectes et des concepteurs, et non un handicap, de ce fait, l'application des panneaux solaires doivent s'appliquer parfaitement, et faire partie du concept initial de bâtiment et se conformer aux besoins de la **conception** de l'architecte comme celui **fonctionnel** de l'ingénieur.

4.2. La Conception :

le maître d'œuvre accorde, en général, plus d'importance aux aspects formels et esthétiques et substantiellement au système constructif mais rarement aux technologies de chauffage, de ventilation et de climatisation. Il est temps de les considérer comme éléments structurants dans l'œuvre architecturale.

L'architecture comme complexe et contradictoire par le fait même qu'elle veut satisfaire en même temps les trois éléments de Vitruve : commodité, solidité et beauté.

Dans la morphologie architecturale on distingue trois(3) types de formes¹ :

- 1-La forme « **pratique** » qui répond au besoin qu'exige l'homme.
- 2-La forme « **technique** » qui répond aux exigences de la matière (structure,...).
- 3-La forme « **esthétique** » qui répond aux exigences de l'œuvre et de l'homme.

Ces trois(3) types de formes ont des exigences différentes où chacune d'elle concourt pour satisfaire ses propres données. Et les trois(3) types de formes doivent dépendre l'une de l'autre jusqu'à se fondre et n'offrir qu'une seule : la forme architecturale : sous le binôme utilité et beauté.

L'élaboration d'un projet architectural bioclimatique et solaire, est un travail complexe à la fois technique et artistique sensibles. Parallèlement au déploiement de procédures intuitives², elle nécessite le recours à des instruments rigoureux, permettant le traitement des dimensions objectives. C'est dans le développement de cette idée, que s'inscrivent la recherche d'intégration des objets énergétiques et leurs efficacités comme troisième élément architectural dans le projet. La prise en compte des facteurs physiques, d'ambiances dans le projet d'architecture n'est possible que si l'on considère les formes des édifices comme des scènes constituées par l'intégration d'objet et de phénomènes.³ Ces objets architecturaux sont constitués de matière, le plus souvent minérales qui délimitent **les pleins et les vides**.



Très bon exemple d'intégration des éoliennes, design futuriste, le concepteur a pu incorporer ces éoliennes dans les structures des bâtiments, avec un effet de « guidage » du vent pour augmenter la capture de l'énergie. Un tel design est montré à la fig 4.1, où deux tours à 43 étages sont reliées par trois « ponts éoliens ». Chaque turbine a 29 mètres de diamètre et une puissance nominale de 225kw.

Figure 4.1 : le Word Trade centre à Bahreïn.
Source : Eurosic.2011

¹ H.Hamou. « A propos de la conception architecturale », 2010.

² S.Houpert, « thèse de doctorat ».2003 école d'architecture de Nantes, titre : « approche inverse pour la résolution de contraintes solaires et individuelles dans le projet architectural et urbain »

³ E. Mazria. « Le guide de l'énergie solaire passive », 1980.

Si on veut procéder à une intégration cohérente de la composante énergétique, il est donc essentiel de considérer celle-ci dans le rapport qu'elle entretient avec les divers paramètres de conception.

Le dialogue entre ces paramètres sensibles et leur composante énergétique va générer des dispositifs architecturaux qui trouveront leur pertinence dans le juste équilibre entre leur performance et leur participation à la conception. L'assemblage des stores photovoltaïques et le mur rideau constitué d'un maillage en losanges de verre à facettes double vitrage sur une structure métallique, du projet ci-dessous le « 52 Hoche », avenue à Paris, arbore une façade unique dotée de stores photovoltaïques motorisés, procurant une bonne intégration.



Figure 4.2 : La façade est dotée de volets coulissants motorisés en panneaux photovoltaïques. Élément fort du projet, source : Eurosic2011.

La conception est à comprendre comme la création et l'agencement des espaces, tandis que la construction recouvre les matériaux utilisés, leurs caractéristiques physiques, et leurs mises en œuvre.

4.3. Histoire de la conception bioclimatique et solaire :

Il va sans dire que la conception d'une architecture climatique est née en même temps que l'architecture elle-même. Une des raisons de l'apparition de l'habitat humain est le besoin de lutter contre les conditions climatiques extrêmes des fois pour rendre la vie possible. Pratiquement jusqu'à la moitié du 19^e siècle, les données climatiques et énergétiques ont été prises en compte tant naturellement, au même titre que les aspects plastiques et constructifs de l'architecture, et puis, l'architecture s'est ainsi petit à petit éloignée de la nature, ce qui explique l'utilisation irresponsable des ressources énergétiques. On ne peut bien entendu pas continuer dans cette voie sous peine d'entraîner des conséquences catastrophiques du point de vue écologique. Les bâtiments qui se construisent aujourd'hui devront être encore utilisés dans 40 ou 50 ans, où peut être plus, quand la situation énergétique sera encore plus critique.

4.4. Types de conception des panneaux :

Le concept de l'architecture bioclimatique, ou la conception passive n'est pas l'objet de notre recherche, mais il est préférable de noter que n'en peut pas arriver à concrétiser une bonne intégration des éléments actifs, et calculer leur performance pour le bilan énergétique dans le bâtiment, sans passer par une architecture purement bioclimatique en utilisant tous ses éléments passifs connus. Alors, des modules solaires sont déployés principalement dans et sur des bâtiments. Pour cette raison, des modules solaires devraient être considérés non seulement en tant que composants techniques pour produire de l'électricité, mais comme matériaux de construction souple qui s'harmonise avec le bâtiment et, tout en se conformant aux règlements, peut être intégré dans son enveloppe. Si l'architecture dite solaire a été en majorité en réelle symbiose avec la mouvante géométrie du système solaire⁴ et avec les lois de la chaleur sensible, elle n'en pas moins soulevé des problèmes inhérents à l'intégration des techniques solaire et leur rapport au concept global qu'est l'architecture. Ceci exige des modules avec des aspects divers et des qualités fonctionnelles pour différents bâtiments et domaines d'application, Le marché du PV en attendant, offre un large répertoire des options de conception pour satisfaire les demandes faites sur les modules solaires comme produit de construction.

Une grande variété de modules standards et spéciaux est préfabriquée, avec les modules standards, les concepteurs peuvent choisir entre de divers types de cellules, tailles et structures d'armature, selon l'application, il y a également une gamme étendue des modules spéciaux.

⁴ S.Mazouz, Eléments de conception Architecturale, 2004.

En distingue actuellement de grandes familles de conception des panneaux solaires photovoltaïque aux cadres bâtis (voir figure 4.2):

a. Les réalisations surimposition sur des ouvrages existant, ou on les appels solutions additifs chez d'autres concepteurs⁵ :

- Sur toit incliné ;
- Sur toiture-terrasse ;
- Sur un mur isolé ou non isolé par l'extérieur ;
- Fixation sur une façade ;
- Visière de balcon ou brise soleil ;
- Garde-corps de balcon ;

b. Les réalisations en intégration, ou solutions intégratrices :

- Élément de toiture inclinée ;
- Élément de verrière ;
- Paroi extérieure opaque d'un remplissage de façade rideau ;
- Élément verrier extérieur d'un vitrage isolant ;
- Élément de bardage devant un mur en béton ;

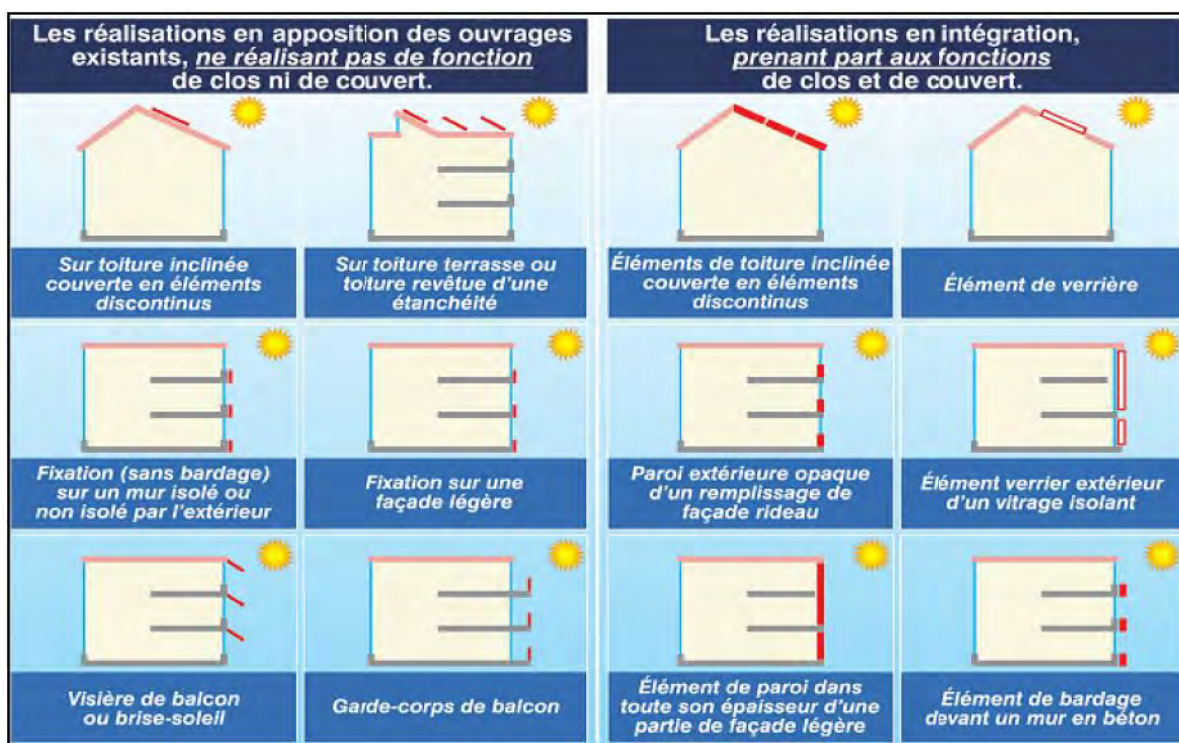


Figure.4.3 : les différentes formes d'intégration du photovoltaïque au cadre bâti (source Ademe)

⁵ A.LIEBARD et A.DE HERDE, « traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique »

C'est très important de citer quelques notions d'application des panneaux solaires photovoltaïques, sur les toits où sur façades :

- Dans le cas additif, des modules photovoltaïques sont fixés au toit ou sur la façade en utilisant une structure en métal. En conséquence, le système photovoltaïque sera un élément structural technique additionnel au bâtiment avec la fonction unique de développer la puissance.
- Dans la solution intégratrice, des composants de construction du toit ou de la façade sont remplacés par les composants photovoltaïques - ceci est également connu en tant que photovoltaïque intégré au bâtiment-. Le système photovoltaïque devient une partie de l'enveloppe du bâtiment et, en plus de la fonction de développer la puissance, remplit des fonctions telles que la protection contre les intempéries, l'isolation thermique, l'isolation de bruit (phonique), l'ombrage du soleil et la sécurité.

4.4.1. Sur les toits :

Généralement les fonctions des toits sont :

- la délimitation supérieure du bâtiment ;
- prendre les charges d'exploitation du toit, du vent, de la pluie et de la neige ; garder les effets du temps à partir de l'intérieur du bâtiment ;
- isolation thermique ;
- isolation phonique ;
- protection contre les incendies ; conception (forme, couleur, matériel, structure extérieure).

Le panneau solaire peut prendre toutes formes du toit. La fixation des panneaux se fait sur rails où attachée directement.

4.4.2. Sur les façades :

A propos de ce type de conception, la façade c'est elle qui fournit notre impression initiale du bâtiment et qui procure à notre première impression de l'immeuble, c'est l'aspect externe représentatif qui donne le modèle et la philosophie des architectes et des constructeurs. Des goûts, des traditions, des concepts, mixés avec la technologie sont également reflétés dans cette conception des façades.

Dans ce contexte, les modules photovoltaïques peuvent enrichir le répertoire de la conception une fois traités comme éléments de façade, dans les bâtiments modernes, par exemple, les façades en verre transparentes fournissent un lien au monde extérieur, dont les

piles solaires innovatrices peuvent être simultanément intégrées dans les feuilles en verre utilisées, ainsi, l'élément de façade peut également devenir un module solaire.

L'enveloppe du bâtiment est le système architectural secondaire le plus important pour le bilan énergétique. Elle est, en tant qu'interface entre l'architecture et la technique solaire⁶, le plan de référence essentiel pour l'intégration des installations solaires.

4.5. Types de façades :

Une large variété de concept, de traitement d'efficacité énergétique des panneaux verticaux, dont on peut citer quelques types :

4.5.1. Façades froides :

Les façades froides, ainsi appelée selon leurs rôles thermiques, sont des structures de type paroi et cavité. La face extérieure, est composée d'un revêtement en maçonnerie, elle joue le rôle de protection contre les intempéries d'une part, et donne au bâtiment son aspect architectural d'autre part. Entre deux feuilles est une lame d'air qui peut disperser l'humidité et la vapeur d'eau. Toutes les parties de la façade extérieure sont construites sans aucune isolation thermique car il n'y a aucun lien avec les régions chaudes de l'immeuble. En termes structurels, ce sont surtout des façades ventilées considérées comme écran pare-pluie. La ventilation arrière signifie que la façade froide est très bonne pour l'intégration d'éléments photovoltaïques, de type stratifiés opaque ou modules bi-verre. Le câblage est acheminé dans des gaines qui sont fixés au mur extérieur à proximité de l'isolation thermique.

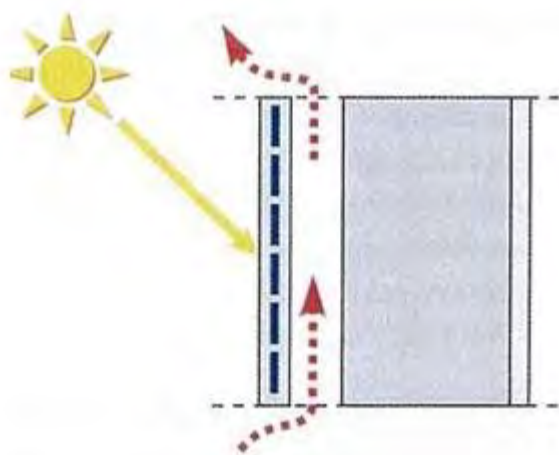


Figure 4.4: Façade froide. Source : Solarpraxis

4.5.2. Façades chaudes :

Les façades chaudes sont des façades qui fournissent les fonctions de protection acoustique et isolation thermique, et structurel. Elles ne sont pas ventilées, alors que

⁶ T.Herzog et R.Krippner, « Construire des façades », 2007.

l'isolation thermique est prévue. Ces types peuvent être soit opaques soit transparentes, comme panneaux isolants ou verre semi-transparent isolant. Les façades chaudes sont généralement construites comme des murs rideaux en utilisant des systèmes bâton meneau-traverse, ou en utilisant la construction unitaire ou allège.

Pour les façades chaudes, il est possible de remplacer les panneaux classiques en verre isolant avec des modules photovoltaïques utilisés pour les zones transparentes ou semi-transparentes, laminés ou modules bi-verre peuvent être utilisés au lieu du tympan opaque. Lors de l'utilisation des modules bi-verre, la feuille de verre arrière doit être rendue opaque (par exemple par sérigraphie) ou des cellules très étroites pour empêcher l'espacement.

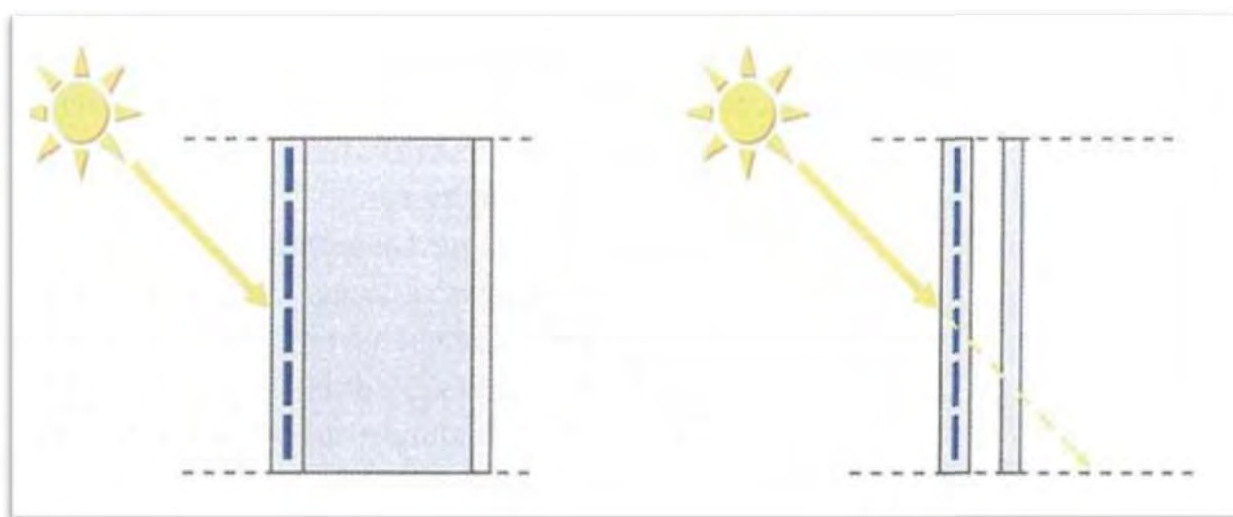


Figure 4.5 : façade chaude opaque

Source: Solarpraxis

Figure 4.6 : façade chaude transparente

Source: Solarpraxis

Pour des raisons esthétiques, le câblage électrique n'est pas acheminé à travers une boîte de jonction classique, mais latéralement, et est parfois protégé dans une conduite. Afin d'accueillir les diodes de dérivation, qui sont particulièrement importants dans le domaine de façade, une boîte de jonction très petite de taille peut être fixée à la façade, de profil qui a la même épaisseur que les modules.⁷

4.5.3. Façades double peau :

Avec ce type de façade, une enveloppe de verre transparent supplémentaire est construite en face d'une façade existante complète pour améliorer le climat de construction et l'isolation acoustique. Entre l'isolation thermique de la façade intérieure et la peau extérieure il se trouve une zone tampon thermique non chauffée, qui est ventilée en cas de nécessité. Les Façades double peau sont conçus pour s'adapter aux conditions ambiantes et de la balance des

⁷ Planning and Installing Photovoltaic Systems. Guide for European commission.

fluctuations climatiques saisonnières. Ainsi la chaleur, le froid, la lumière et le vent sont réglementées pour atteindre un confort optimal sans technologie complexe ou l'utilisation de l'énergie. Parfois, l'énergie thermique qui s'accumule dans la cavité est utilisée non seulement sous un état passif mais aussi actif. La façade extérieure est extrêmement appropriée pour l'intégration de photovoltaïque (voir figure 5-5), étant donné qu'il s'agit d'un simple vitrage et les modules peuvent aussi fournir de l'ombre solaire.



Figure 4.7 : bloc Office ; Source: Biohaus

Ce bâtiment est un très bon exemple de conception mixte, avec une forme architecturale optimale : conception passive avec une façade double peau, et active avec des modules



photovoltaïques placés verticalement, avec trois types de cellules différentes qui sont intégrées dans la peau extérieure du projet. Le gain de chaleur est exploité au moyen d'un système de récupération de chaleur. En ce qui concerne la figure 4.7, les cellules photovoltaïques sont intégrées parfaitement sur les vitres de peau extérieure.

Figure 4.8 : Reconditionnement d'une façade en appliquant une double peau. Source: Solar Scheuten.

Les modules photovoltaïques ont été intégrés dans la façade extérieure unitaire, avec des connexions par câble pour la protection solaire.

4.6. Façade : structures et méthodes de construction :

4.6.1. Façades ventilées écran pare-pluie :

Un écran pare-pluie ventilé se réfère au revêtement des murs extérieurs. Les façades écran pare-pluie sont suspendues à des murs extérieurs et se composent d'une sous-structure et son ancrage, ainsi que l'isolation thermique, la cavité de ventilation, la gaine et ses éléments de fixation.

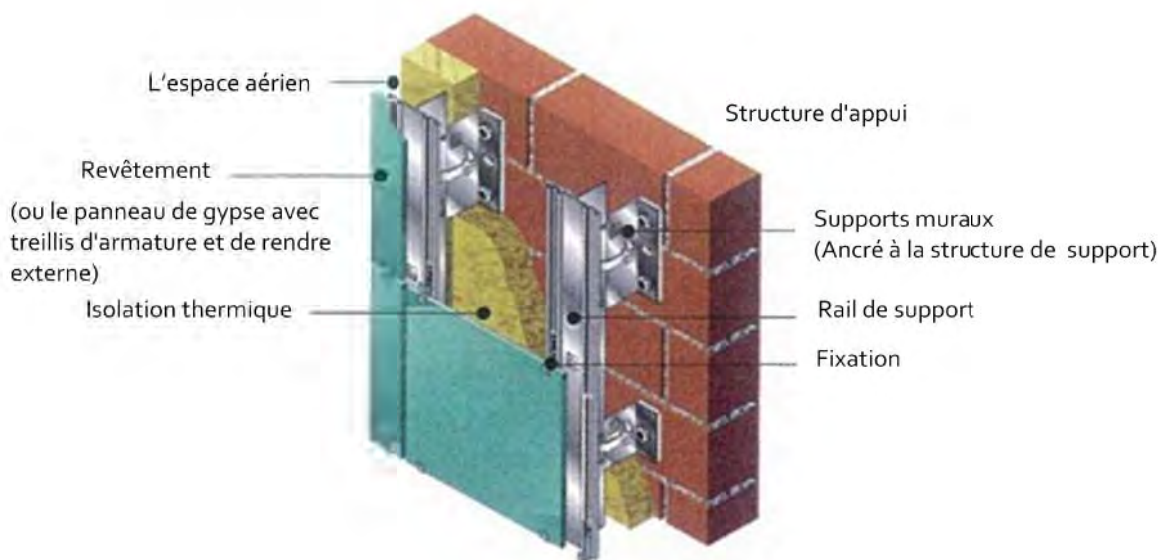


Figure 4.9 : structure d'une façade écran pare-pluie ventilé. Source : BWM Dubel & Montagetechnik

4.6.2. Revêtement des façades

Comme protection contre les intempéries et élément de design à la foi, le bardage apporte à la peau extérieure une assurance à la construction des murs extérieurs, et leurs revêtements en ardoise, fibre-ciment ou de bois, leurs fixations sont prévues de la même manière que les couvertures de toit avec des clous, des vis ou des clips. Les modules photovoltaïques sont traités comme des grands panneaux de revêtement, additionnellement à des panneaux de revêtement, avec des différentes tailles et des différentes formes et différents matériaux, tels que les fibres en ciment, produits laminés, de la céramique, verre, bois, métal, plastique ou en pierre, de formes Plates, pliées ou des éléments profilés peuvent être attachés, ouvertes ou fermées. Chaque élément de revêtement doit être fixé individuellement.

La conception de la façade de la société Ostra est faite avec des différents types de revêtement mural, à savoir des modules solaires monocristallins, des panneaux en céramique pour les parois opaques et des profilés en aluminium pour l'aspect esthétique de la façade.



Figure 4.10 : la société Ostra transport public à Hanovre, Allemagne: Source: Solon AG, Gerhard

4.6.3. La structure des systèmes de vitrage :

Pour donner aux façades en verre, une légèreté et une transparence, on doit réfléchir à la structure, à sa charge répartie par rapport à la structure du bâtiment. Pendant les années soixante, ces systèmes ont été développés et depuis, ils ont pris de l'ampleur dans la conception des bâtiments modernes⁸, et se fut un boom architectural, la maîtrise de sa technique devint très facile.



Figure 4.11 : Atrium de l'Düsseldorf, Allemagne: Source: Gartner Werkfoto.

⁸ P.GEVORKIAN, « Solar Power in building Design », éditions Mc Graw Hill London.

Pour ce fameux projet avec ses façades en murs rideaux transparent, la structure des façades est faite avec des tirants verticaux, pour garder les treillis en acier liées à des poutres en position horizontale, pour que le transfert des charges s'effectue vers le bas.

Ils sont suspendus à une poutre d'acier au sommet et qui s'est tenue à la tension au bas d'un double ressort. La suspension du système de vitrage avec points de fixations.

Ces façades légères n'ont pas encore été mises en œuvre avec des cellules solaires intégrées. Leurs hauts degrés de transparence et de surfaces de verre non ombragées créent un potentiel intéressant pour le photovoltaïque.

Pour les façades photovoltaïques, les fixations sont faites au point fixe le long des bords des modules et moins souvent sur la face arrière des modules. En analysant les systèmes solaires techniques on est d'abord surprises que leurs conditions d'intégration-en particulier les types de fixation et les étanchéités latérales-soient affinées et améliorées continuellement par les fabricants.



Figure 4.12 : Atrium de l'Office allemand des Affaires étrangères à Berlin: Source: Beimann Müller Architekten.

Les murs rideaux en verre, faisant partie de la structure, verticale et horizontale, sont tendus avec des câbles en acier inoxydable, qui sont reliés au même temps avec des entretoises comme dans une raquette de tennis. Le vitrage est en verre de sécurité feuilleté. Les bandes de verre à l'intérieur sont purement pour des raisons décoratives, laissant la lumière du soleil du sud pénétrer.

Ce type de couverture photovoltaïque, peut facilement répondre aux soucis de conception de l'architecte en ce qui concerne les grandes espaces, hall, cours couvertes, etc. Car, ces types de couverture et de façade, ont un double avantage, éclairer l'espace en question et produire de l'énergie.

4.7. Les façades photovoltaïques :

Les panneaux solaires photovoltaïques peuvent être intégrés facilement dans les façades verticales ou inclinées avec un angle d'inclinaison optimale, respectifs à l'éclairage, et les rendements attendus sont un peu faibles. Les éléments photovoltaïques peuvent remplacer, les éléments de façade coûteux tels que des panneaux de pierre ou l'acier inoxydable, rendant le système très intéressant d'un point de vue économique.

Les modules offrent des possibilités de conception énorme, ils peuvent être fabriqués sous toute forme et taille et dotées de tous les attributs visuels et fonctionnels du vitrage.

Les éléments photovoltaïques sont également fixés comme le vitrage classique. Avec ces modules, il convient également de veiller à ce que le câblage, raccords électriques et les diodes de dérivation sont facilement accessibles, en cas où elles doivent être remplacées en cas d'échec.



Figure 4.13 : Façade ventilée, écran pare-pluie ; Source : 3S.

Le revêtement de cette façade Sud est constitué de modules photovoltaïques, plaqués et fixes directement sur les murs extérieurs, pour cacher les panneaux en céramiques, c'est un superbe habillage donnant une sensation de légèreté parfaite au projet.



Figure 4.14 : La tour CIS. Manchester, UK, 391.00 kwc. Source : solarcentry

Une parfaite intégration, faisant de la tour une vraie station électrique, au contraire de la façade précédente, cette tour est conçue en bardage mur-rideau photovoltaïque, donnant une puissance énergétique d'environ 400 Kwc.

On dispose d'important spectre d'options, les fabricants essaient aujourd'hui de répondre à presque tous les souhaits des architectes. La palette de couleur des surfaces des panneaux et la diversité de formes des profils influencent le caractère des installations

4.7.1. Montage des modules sur les façades existantes :

Les modules photovoltaïques peuvent être très facilement fixés sur façades existantes, des murs coupe-feu ou des murs sans fenêtres pour par exemple, les grandes usines et les zones industrielles à hautes potentialités. Si aucune des exigences particulières sont prises en fonction de la forme et la taille des modules, il est possible d'utiliser des modules standards.

En Europe, les modules doivent être conformes aux codes du bâtiment et des règlements, chose qui n'est pas encore connue en Algérie.



Figure 4.15 : Shell usine solaire de Gelsenkirchen, en Allemagne: - Scheuten Solar; système de fixation: Conergy: Les modules ont été montés sur les flasques de la toiture en métal avec des pinces spéciales. Source : Kalzip.

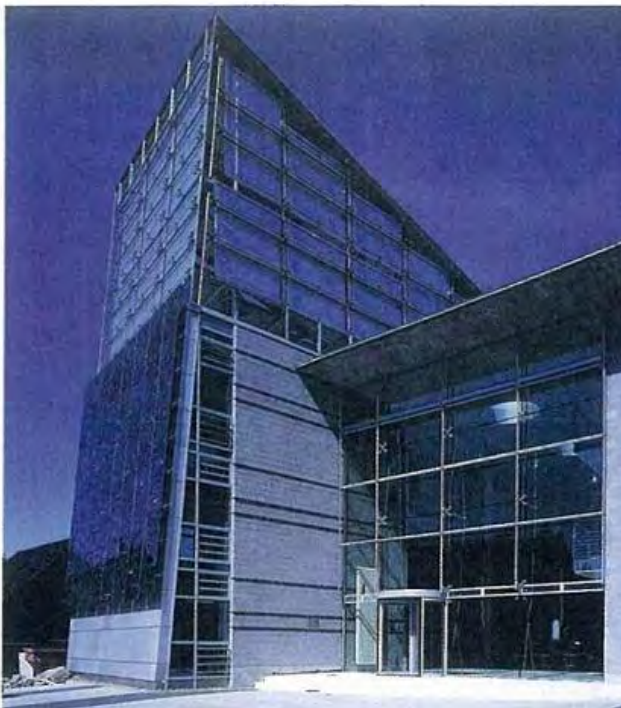


Figure 4.16 : Centre de la technologie future à Herten, Allemagne ; Source : Photo watt.

4.7.2. Les Façades aux modules intégrés :

L'intégration des modules sur la façade peut remplacer et jouer les fonctions des façades froides ou chaudes. En ce concerne les façades froides, ils peuvent remplacer le revêtement extérieur, en façades chaudes et devant des endroits non chauffés, ils peuvent remplacer la peau extérieure complète, en couvrant des sections ou des régions toutes entières.

Le capteur photovoltaïque remplit trois fonctions: la production d'électricité, de l'enveloppe externe (protection contre les intempéries, peut-être aussi de chauffage d'isolation,

etc., et comme un instrument de marketing. Les codes et les règlements du bâtiment doivent être soumis à l'avis des institutions compétentes, en ce qui concerne les questions structurelles, et autres cas tels que ; la chaleur et protection contre l'humidité, l'isolation thermique, la consommation d'énergie des bâtiments, et la protection contre l'incendie.

Les exemples suivants des façades photovoltaïques chaudes et froides sont classés selon les systèmes de fixation généralement utilisés dans la construction des façades en verre: par closes; plaques de pression; vitrage structural mastic; deux faces linéaires soutenu par la fixation, et point de fixation dans les articulations ou des modules, ainsi que les façades avec des cadres standards.



Figure 4.17 : Stawag entreprise de services publics Aachen, Allemagne: Source: STAWAG.

La façade chaude transparente: modules PV et verre.



Figure 4.18 : le ministère de l'Économie, Berlin, Source : Scheuten Solar

Façade chaude transparente et opaque en pente; verre-verre et des modules de verre isolant; (à gauche) : l'isolation des modules en verre: vue de l'intérieur, (à droite) Panneau isolant avec module en verre.

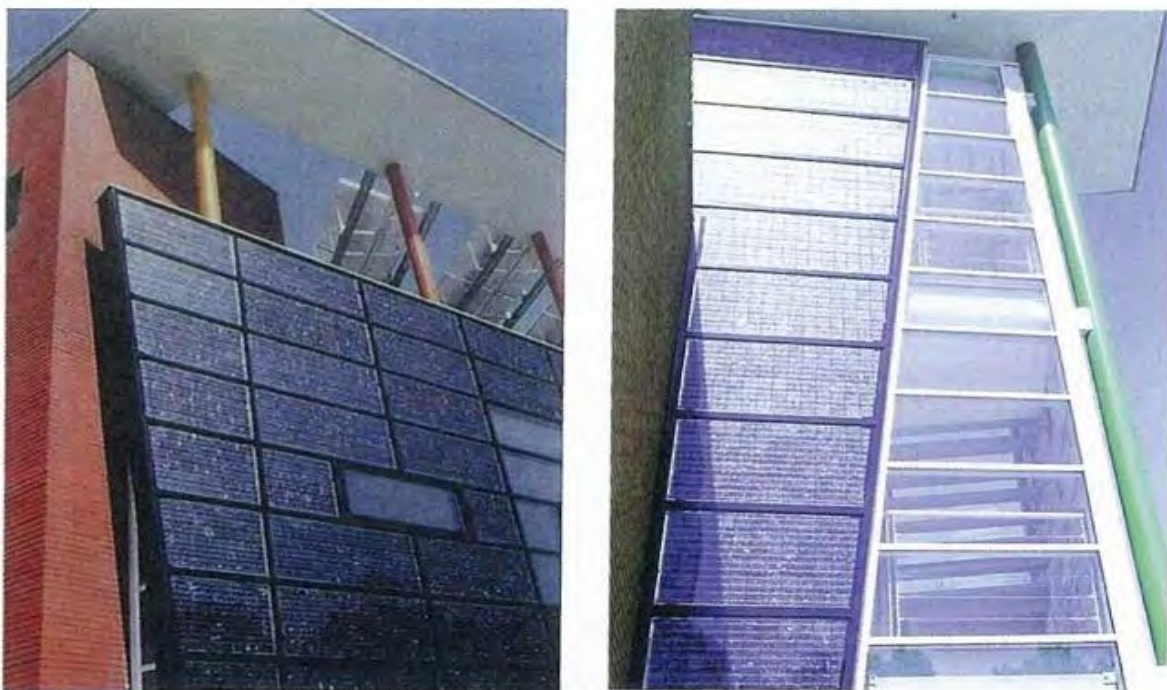


Figure 4.19 : Rembrandt Collège à Veenendaal, Pays-Bas, Source: Schuco.



Figure 4.20 : Missawa, immeuble de bureaux Kinki dans la ville de Kobe, Japon; Source: solarwatt.

Figure 4.21 : Tour d'escalier de l'immeuble Céramique à Maastricht, aux Pays-Bas ; Source: Schuco.

Peu n'importe la conception architecturale intégrée, ici, les deux tours, au Japon et au Pays-Bas, en EFG stratifiés ou en transparent, l'intégration est parfaite.

4.8. Toits photovoltaïques :

Les toits en verre sont utilisés dans les constructions qui doivent être éclairées par la lumière du jour à travers la toiture. Toutefois, des mesures particulières en ce concerne la structure sont nécessaires en raison de la forte charge thermique et différentes contraintes mécaniques. Le système de drainage doit également être adapté à l'inclinaison. Les plaques de pression horizontale sont stabilisées à améliorer la décharge de précipitations.

Les toits en verre sont souvent équipés avec des dispositifs supplémentaires de protection solaire pour éviter la surchauffe ou l'éblouissement qui sévissent dans les zones couvertes. Il est possible d'utiliser des éléments photovoltaïques qui fournissent de l'ombre et la protection contre l'éblouissement, particulièrement adaptés aux toits.

4.8.1. Verrière des espaces chauffés



Figure 4.22 : Baptistère Epiphany à Hanovre, en Allemagne: Source: Solarnova

Figure 4.23 : jardin d'hiver. Source : RWE Schott

Ces toits sont réalisés avec des modules à couche mince semi-transparente, généralement utilisée dans le domaine aérien, lumière tamisée. Quatre modules en forme de croix ont été couverts avec seulement la moitié du nombre habituel de cellules, isolants en verre, donnant un parfait reflet sur le plancher, et par conséquent animer tout l'espace.



Figure 4.24 : Bonn-Rhein-Sieg Université des Sciences Appliquées, St-Augustin, Allemagne.

Source: Schuco.

Ces toits chauds, réalisés avec des modules verre isolant (Saint-Gobain), le cadre en bois, poutres en acier et plaque de pression en aluminium.

Le toit chaud; modules verre isolant (Saint-Gobain), meneau-traverse bâton système
Le toit, qui s'étend sur 270 °, utilisant seulement trois différents types de modules.

4.8.2. Verrière simple:

Les mêmes techniques de fixation que ceux du toit.



Figure 4.25 : Station Lehrter Bahnhof à Berlin, Allemagne: Source: Scheuten

Ce type de couverture est faite à partir des modules verre-verre (à base de verre durci), la structure est en acier et en verre: les fermes cintrées, câble tendu. Tous les modules ont des

tailles différentes (en fonction de leur position). Ils sont collés avec du silicone et vissés sur la grille aux points nodaux des plaques de pression dans tous les coins.

1.8.3. Lucarnes sur bâtiments :

Une parfaite intégration des lucarnes constituées par des modules de verre isolant ont formées des puits de lumière. Afin de se conformer aux exigences des bâtiments classés, le verre texturé a été utilisé sur la face arrière. Une très bonne solution à multiples avantages pour les espaces fermés à éclairage zénithal.



Figure 4.26 : Aréna à Berlin, Allemagne-toiture en dents de scie - chaud; modules verre isolant – source : Saint-Gobain

4.9. Dispositifs de protection solaire :

Le vitrage vaste utilisé dans les façades et les toits des bâtiments modernes (par exemple, dans toutes les façades en verre) a un effet considérable sur le climat intérieur du bâtiment. Considérant que le rayonnement solaire incident en hiver peut être utilisé pour fournir des gains de chaleur passive, orienté plein sud, en été, le vitrage peut conduire à l'accumulation de la chaleur non désirée. Pour éviter les charges de refroidissement d'être inutilement élevés lors de l'utilisation à grande échelle du vitrage extérieur, il est nécessaire d'avoir un concept de protection solaire avec des éléments d'ombrage sur mesure.

Les dispositifs de protection solaire extérieure tels que les volets extérieurs, marquises et stores sont généralement plus efficaces que les éléments à l'intérieur du verre (p.ex. persiennes interne), car ils ne permettent même pas au rayonnement solaire d'entrer dans le bâtiment où il sera ensuite converti en chaleur.

Considérant que les dispositifs pare-soleil offrent une protection contre le rayonnement solaire, l'énergie photovoltaïque a besoin du soleil. Ces fonctions apparemment contradictoires peuvent être combinés à deux éléments nécessitent une orientation optimale vers le soleil. La combinaison de dispositifs externes de protection solaire et la production

d'électricité photovoltaïque présente de nombreux avantages puisque ils sont des composants coûteux, à la structure et de la technologie utilisée pour les systèmes de suivi étant particulièrement coûteux. A l'instar de notre cas, ou la protection solaire peut se faire à l'intérieur avec des stores électriques et manuels.



Figure 4.27 : Clinique et centre de recherche de la biologie moléculaire, Université d'Erlangen, en Allemagne. Source: Solon AG; Wolfram urr.

La correction du toit solaire dans la partie supérieure du bâtiment ainsi les persiennes photovoltaïques suivi le long d'un axe unique pour fournir un ombrage solaire pour la partie inférieure.

4.10. Conclusion :

Une intégration architecturale de systèmes techniques solaires dans l'enveloppe signifie aussi beaucoup plus.

Elle définit l'intégration d'un élément constructif dans le mur opaque ou vitré et en toiture pour ceux qui assurent partiellement la même fonction constructive et fonctionnelle. Ces conditions et ces caractéristiques imposées à la construction doivent être traitées avec les critères d'esthétique et en accord avec les règles imposées par le système énergétique dans une globalité intégrée⁹. A cet effet, il ne suffit pas d'accoler des capteurs actifs sur une enceinte ou de faire des exercices de styles en essayant uniquement d'intégrer ces nouveaux éléments à des typologies connues et consacrées pour parler d'intégration réussie.

⁹ R.Krippner : « Architektonische Aspekte solarer Energietechnik »,1999. Traduit en français .

La préoccupation majeure de l'architecte et de parvenir à créer une forme architecturale optimale, les exemples précédents réalisés un peu partout au monde, sont le bon signe d'une conception parfaitement en harmonie avec le climat, néanmoins conscient du changement climatique que connait notre terre. Cependant, du point de vue thermique, toutes les formes n'ont pas la même efficacité en termes d'exposition au froid et à la chaleur et partant de gain ou de perte de chaleur ou de frigorifères. L'enjeu est d'autant plus crucial que toute conception consciente des effets climatiques qui ne prend pas en considération la forme à un stade initial est vouée à l'échec.

L'enveloppe du bâtiment est le système architectural secondaire le plus important pour le bilan énergétique. Elle est, en tant qu'interface entre l'architecture et la technique solaire, le plan de référence essentiel pour l'intégration des installations solaires. La caractéristique fondamentale de l'exploitation de l'énergie solaire dans les bâtiments est visible dans les installations en toiture et sur les murs. Les systèmes prennent en compte les fonctions de protection, ils sont cohérents avec la mise en œuvre constructive et influencent le caractère des ouvrages. On compte parmi les façades solaires, depuis le début des années 1990, toutes celles qui sont munies d'une installation solaire permettant au mur d'assurer, en plus de sa fonction de protection et de tampon climatique, une production active de chaleur. On considère ici toute forme d'exploitation d'énergie solaire spécifique au bâtiment et rajoutée en façade, du vitrage jusqu'aux modules photovoltaïques.

Dans le monde entier, de jeunes architectes n'ont pas tardé à s'emparer de ces terrains de jeu, imaginant des formes les plus spectaculaires et rivalisant d'ingéniosité technique pour rendre crédibles des tours et des gratte-ciel agricoles, pour les années à venir, de l'éclairage des cultures par des diodes électroluminescentes à la phyto-restauration de l'eau par des murs végétaux en passant par les dispositifs de sécurité sanitaire, grâce à l'arsenal solaire photovoltaïque et thermique, et toutes autres sources d'énergie renouvelable.

CHAPITRE V :

ETUDE DE CAS ET SIMULATION SOUS TRNSYS 16.1

5.1. PRESENTATION DES EXEMPLES :

5.1.1. Introduction :

Evaluer sérieusement son besoin en énergie permet de disposer d'un système bien adapté, sachant que toute exigence supplémentaire se traduira par une augmentation de la puissance à mettre en œuvre : plus de panneaux, plus de batterie et plus de coût...

Une analyse de deux cas d'exemples de logements suivis d'expérimentations, un appartement dans un immeuble collectif à Alger, réalisée par le CNERIB, et un logement individuel en R+1 à Batna, effectuée par un groupe d'enseignants de l'EPAU, nous a permis de déterminer les différents poste de consommation d'énergie, concernant l'électricité spécifique pour le premier cas, ainsi que les différentes zones de consommation de chauffage , de climatisation et d'éclairage pour le deuxième cas.

A partir de ces exemples, nous avons effectué une première simulation thermique pour l'appartement échantillon, et ensuite l'étude de simulation des panneaux solaires photovoltaïques.

5.1.2. Exemple d'Alger :

Cette étude expérimentale sur un logement social de type f3, d'une superficie de =66 m², était effectuée par : M. Amirat, et S.M.K. El Hassar¹.

C'est le cas d'un foyer algérien typique en immeuble collectif qui est pris comme exemple, est suivi d'une expérimentation in-situ de la consommation électrique poste par poste de ce ménage. L'expérience s'est étalée sur 4 mois : du 02/12/03 au 04/04/04, le calcul a été effectué par des relevés de consommation électrique. Cette étude représente une partie des travaux menés par le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) dans le cadre d'un projet de recherche intitulé "Mise en place de procédures de contrôle de l'efficacité énergétique des bâtiments". Le but recherché est d'apprécier les niveaux réels de consommation énergétique des logements et d'identifier les meilleurs axes

¹ M. Amirat, et S.M.K. El Hassar ; Economie d'énergie dans le secteur de l'habitat, consommation électrique des ménages. Cas d'un foyer Algérien typique en période d'hiver.

d'intervention qui permettront de diminuer la consommation énergétique dans le secteur du bâtiment réputé être parmi les secteurs les plus gros consommateurs d'énergie.

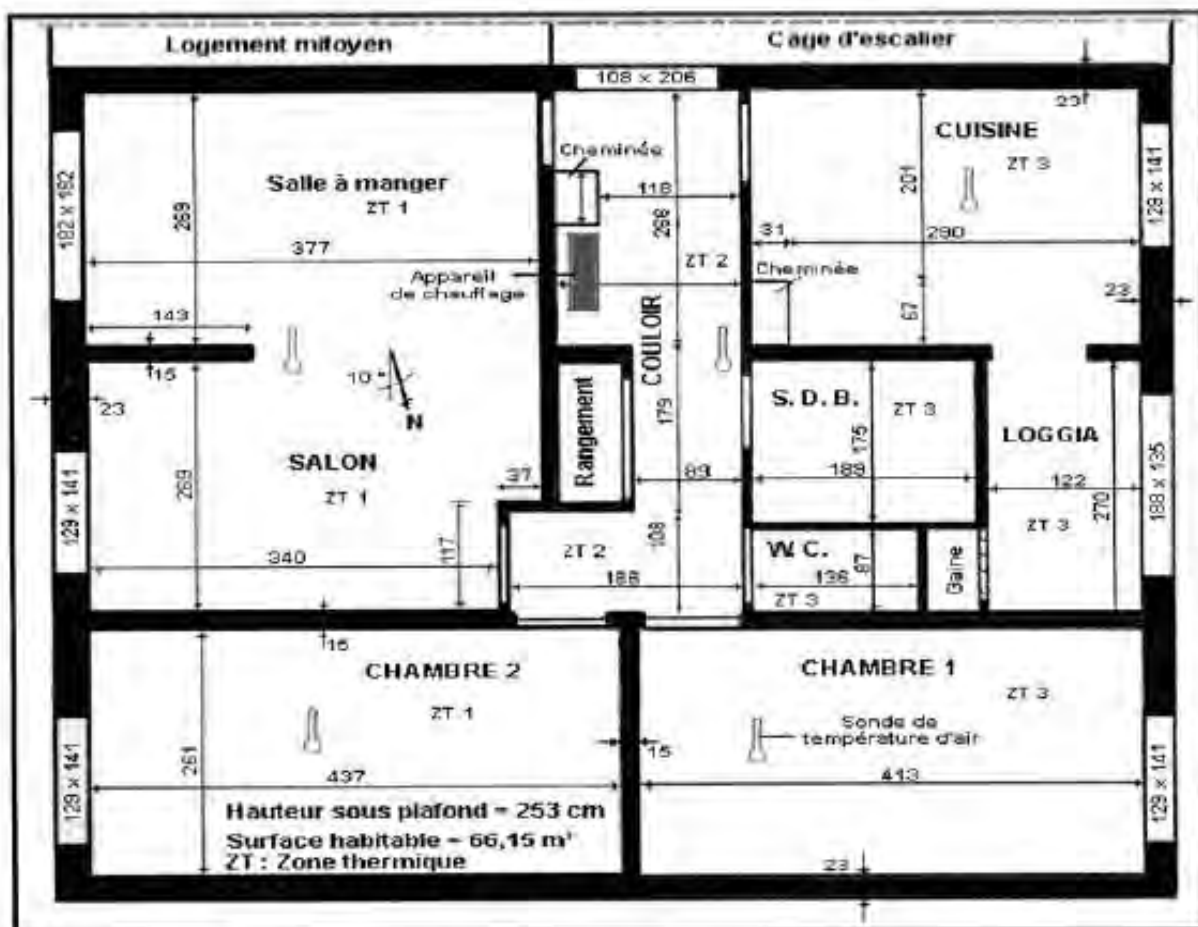


Figure : 5.1. Vue en plan de l'appartement étudié d'Alger. M. AMIRAT et al.

On notera que cette répartition dans l'organisation de la campagne de mesures, présente l'avantage d'expérimenter les équipements et le logement sur deux périodes de durées égales, qui présentent un comportement climatique pratiquement équivalent et une répartition quasi semblable quant à la durée jour/nuit.

5.1.2.1. La phase expérimentale :

- La première phase : étalée sur 02 mois, du : 02/12/03 au 02/02/04 soit 62 jours, cela veut dire ; la fin de l'automne et la moitié de la période hivernale.
- La deuxième phase : du 02/02/04 au 04/04/04 soit 62 jours aussi. Qui couvre la deuxième moitié de l'hiver et le début du printemps.

Les cinq postes concernés sont : Eclairage ; Froid (réfrigérateur) ; Linge ; Audiovisuel ; Bureautique ; Autres appareils électriques.

Il faut noter que cette étude à été établie en 2004², depuis, l'utilisation de plus d'appareils électroménagers plus performants, a augmenté la demande de la puissance énergétique et par conséquent, l'augmentation de la consommation énergétique.

5.1.2.1.1. Période de mesures : 02/12/03 au 02/02/04 (phase n°1) :

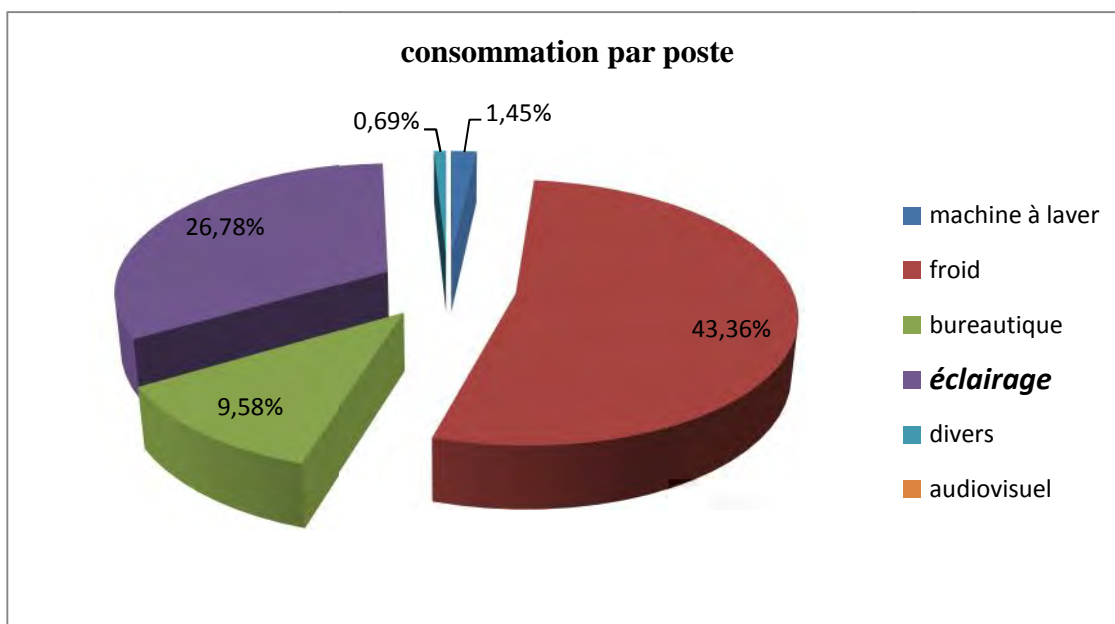


Figure 5.2. le taux de consommation électrique calculée par poste.

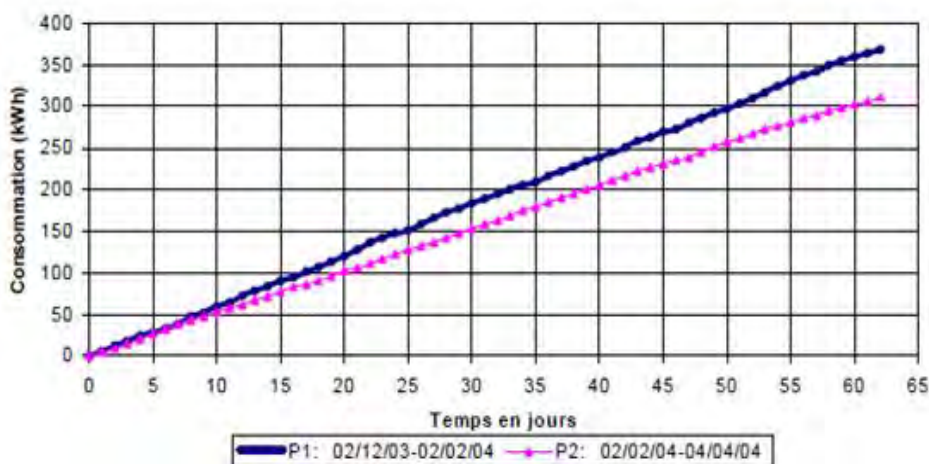


Figure 5.3. Consommation globale cumulée d'électricité

² Source : la revue des énergies renouvelables, vol 8, année 2005.

Une analyse des valeurs des courbes de consommations cumulées, permet de formuler les commentaires suivants :

- la consommation électrique moyenne journalière est égale à **5,94 kWh/jour** ;
- les courbes d'évolution des consommations électriques sont linéaires dans la majorité des cas, ce qui correspond à ce qui est observé usuellement (fonctionnement continu); seules les consommations électriques relatives au fonctionnement de la machine à laver ou celles concernant les besoins divers ont une allure en escalier (fonctionnement non continu et aléatoire fonction des besoins) ;
- la part la plus importante dans la consommation électrique est celle qui correspond à la production de **froid**, suivi de celle qui est relative à **l'éclairage**; si l'on veut une meilleure efficacité énergétique du logement étudié vis à vis de la consommation électrique, il est nécessaire de procéder au remplacement des appareils et installations relatifs à ces deux postes.

5.1.2.1.2. Période de mesure du 02/02/2004 au 02/04/2004 (phase n°2) :

Lors de la seconde phase expérimentale, entamée à partir du 02/02/2004, l'ensemble des lampes à incandescence du logement étudié ont été retirées et remplacées par des lampes économiques dites "lampes basse consommation" (LBC). C'est ainsi que six LBC de 23 W ont remplacé les six lampes à incandescence de 75 W utilisées dans la phase n°1 et que huit LBC de 11 W ont remplacé les huit lampes à incandescence de 40 W du salon et de la salle à manger du logement.

Une comparaison des valeurs respectives obtenues pour la consommation électrique, poste par poste, pour les deux phases de la campagne de mesure.

L'auteur a constaté que la modification de l'équipement d'éclairage a conduit à une économie de 47,4 % sur la consommation électrique pour ce poste. Cela traduit par une économie d'environ 15,5 % sur la consommation électrique globale du logement.

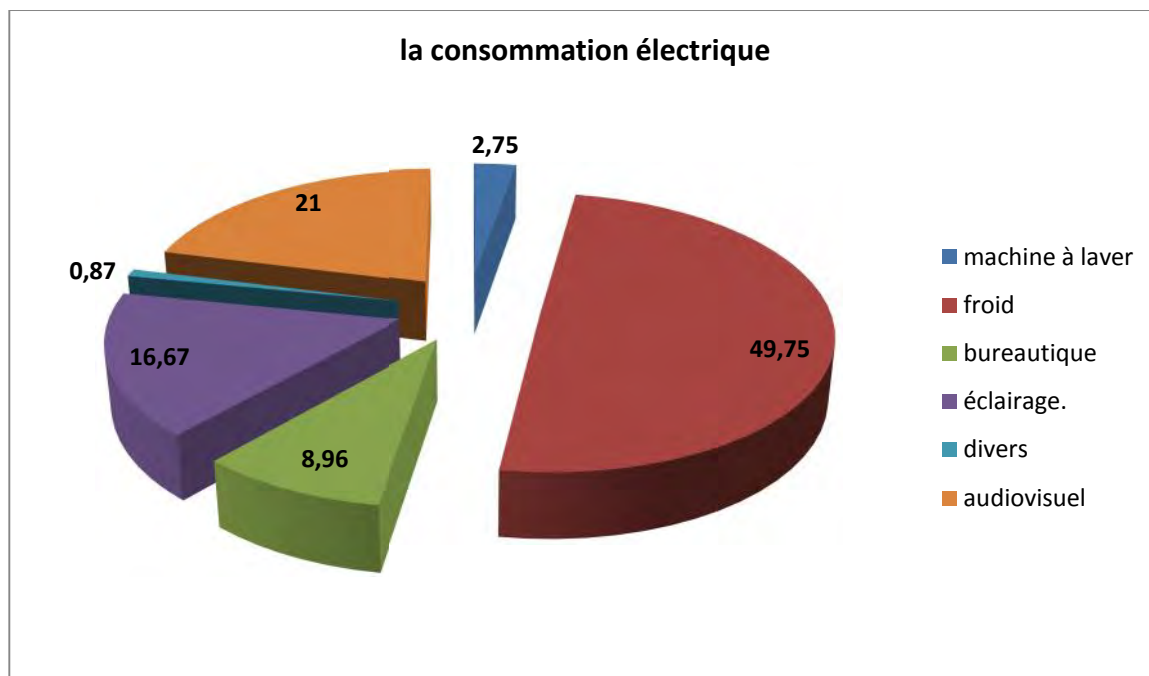


Figure 5.4. Consommation électrique de la période : 02/02/04 au 04/04/04

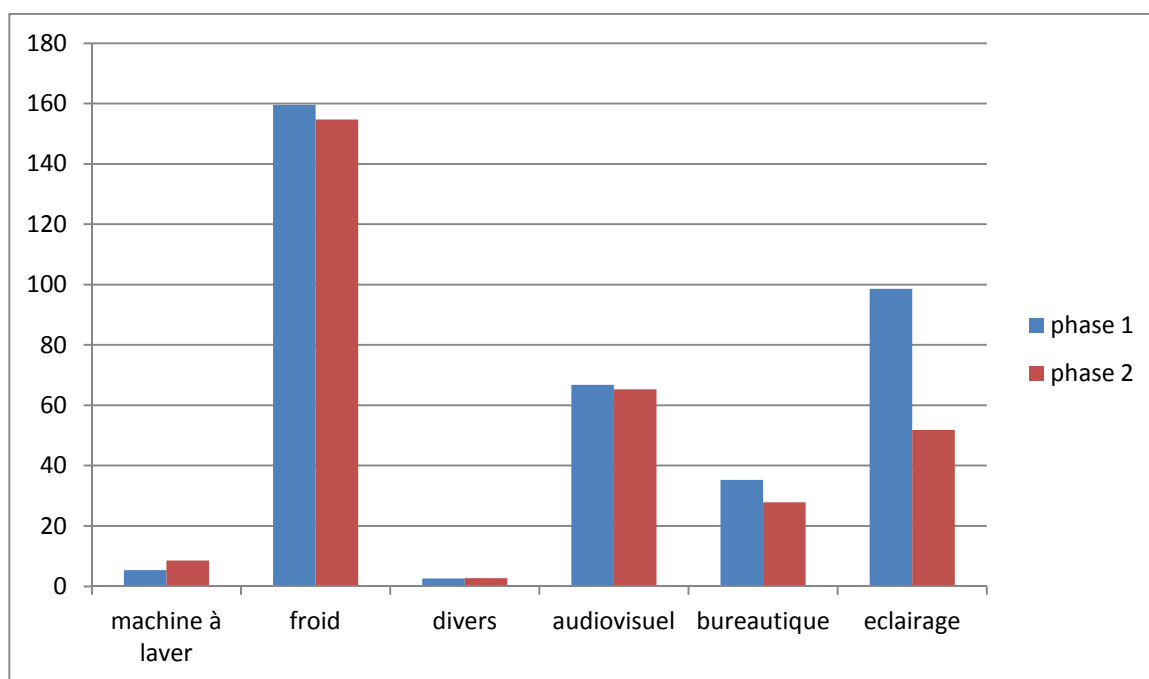


Figure 5.5. Comparaison des consommations électriques poste par poste.

La courbe d'évolution de la consommation électrique globale cumulée pour les deux phases de la campagne de mesure est donnée par la figure 5.5.

5.1.2.2. Commentaire :

Ce travail entre dans le cadre de la quantification du gisement d'économie d'énergie électrique existant potentiellement au niveau des ménages algériens.

Le suivi énergétique d'un logement type situé dans la banlieue algéroise et occupé par une famille moyenne a permis de situer le niveau de consommation d'énergie poste par poste d'un ménage représentatif.

Il montre que, dans une première phase, en agissant seulement sur l'éclairage, il est possible pour les ménages de réaliser des économies d'énergie substantielles en consentant un très faible investissement qui peut être très rapidement amorti. En effet, l'éclairage dans les locaux à usage d'habitation étant assuré quasi exclusivement par des lampes à incandescence qui consomment beaucoup d'énergie électrique, le remplacement (progressif) de ces lampes par des lampes électroniques basse consommation doit permettre de réaliser d'importantes économies d'énergie électrique.

Il montre notamment qu'il est possible de réaliser sur la période d'hiver une économie de près de 47 % sur la consommation électrique relative à l'éclairage si l'on place des lampes LBC, tout en bénéficiant d'un meilleur éclairage, étant donné que ces lampes délivrent une puissance lumineuse supérieure. Ce remplacement se traduit par une économie d'environ 15,5% sur la consommation globale d'électricité d'un foyer ce qui n'est pas négligeable. Si l'on prend comme hypothèse une économie annuelle de 15 % sur la consommation électrique, il est possible de baisser la consommation électrique du logement type étudié d'environ 339 kWh/an. A raison de 4 DA le kWh, l'investissement effectué peut ainsi être amorti entre trois et quatre ans. Outre l'éclairage, ce travail expérimental a permis également de montrer que les postes de consommation électriques les plus importants pour un ménage moyen en période d'hiver sont la production du froid pour la conservation des aliments et l'audiovisuel. Une action ciblant ces postes de consommation électrique est en mesure d'assurer d'autres économies d'énergie électrique pour les ménages. Les économies d'énergie électrique sur l'éclairage ne pourront toutefois se réaliser véritablement qu'à la condition d'une qualité irréprochable des LBC.

5.1.3. Exemple de Batna :

Ce deuxième cas est un peu plus différent du précédent, car il s'agit d'une habitation individuelle en RDC + étage + comble, situé dans la ville de Batna (Fig5.6). L'étude

d'architecture bioclimatique, a été réalisée, en 1986 par une équipe d'enseignants³ de l'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme (EPAU) d'Alger.

Les éléments essentiels de cette étude sont:

- Surface bâtie: 140 m² (11,60 m x 12 m avec l'espace non occupé) ;
- Ouvertures importantes, coté Sud (34 % de la façade sud) ;
- Réduction des ouvertures, coté Nord du bâtiment (10 % de la façade nord) ;
- Enveloppe extérieure en double paroi avec comme isolant une lame d'air (e = 4 cm) ;
- Fenêtres en simple vitrage équipées de volets roulants (pour la protection nocturne) pour le coté Sud et de panneaux en bois pour les cotés Nord et Ouest.

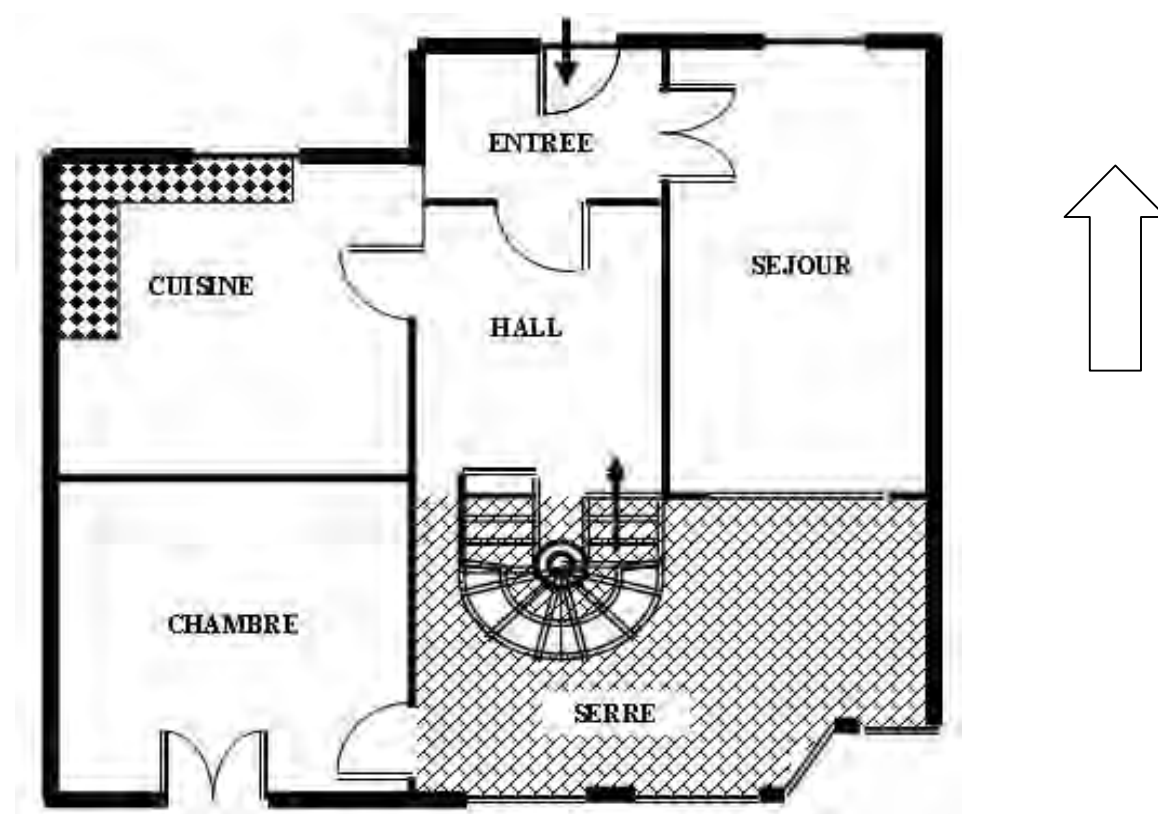


Figure.5.6. Vue en plan du RDC de la maison (Batna), avec l'espace serre, orienté Sud. Source : C.Hamouda

5.1.3.1. Consommation énergétique du bâtiment :

La consommation annuelle d'énergie est calculée sur la base des relevés d'électricité et de gaz facturés par la société nationale d'électricité et du gaz (Sonelgaz). Pour ce bâtiment, la consommation en énergie électrique, cumulée pour l'année 2000, a été de **2355 kWh**. Tandis que la consommation en gaz, exprimée en kWh, est de **33926 kWh** (1 m³ de GN = 10,50

³Equipe dirigée par M^{me} Ould Hénia. Source : C.Hamouda : Analyse théorique et expérimentale de la consommation d'énergie d'une habitation individuelle à Batna.

kWh). Sur le diagramme ci-dessous, est représentée la répartition trimestrielle de la consommation en gaz pour les années 1999-2001.

Nous constatons que pour les deux périodes de chauffage, janvier - mars et octobre - décembre, la consommation en gaz est très élevée, soit en moyenne 12000 kWh par trimestre. Tandis que sur la période estivale, celle-ci est inférieure à 2000 kWh, elle est destinée essentiellement, à la cuisson et aux besoins en eau chaude.

Dans cette habitation, nous constatons que 93 % de la consommation d'énergie est destinée essentiellement, au chauffage des locaux, à la cuisson et au chauffage de l'eau. Par contre, l'éclairage et les équipements ménagers, ne représentent que 7 % de la consommation totale.

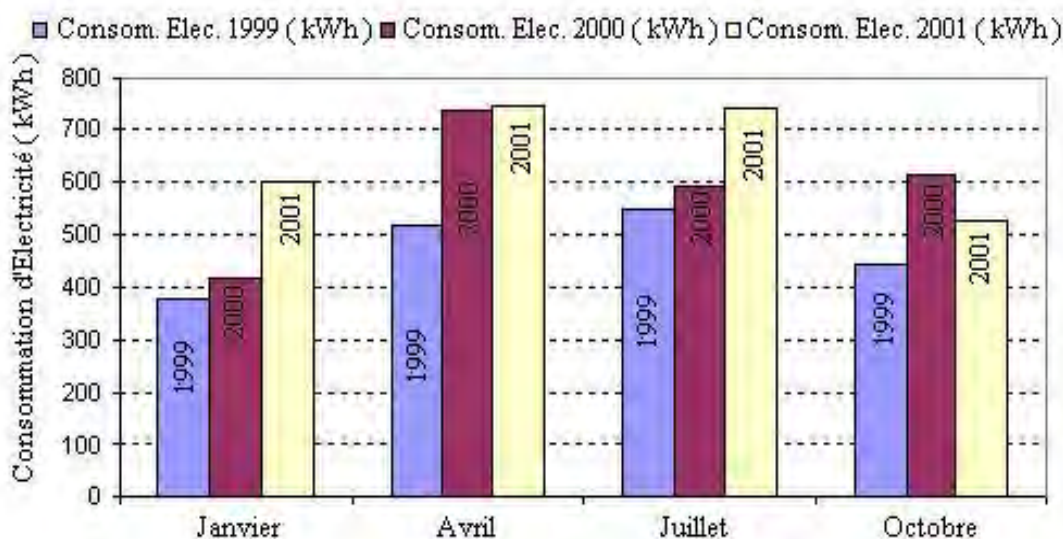


Figure.5.7. Bilan de consommation d'électricité. Source : C.Hamouda

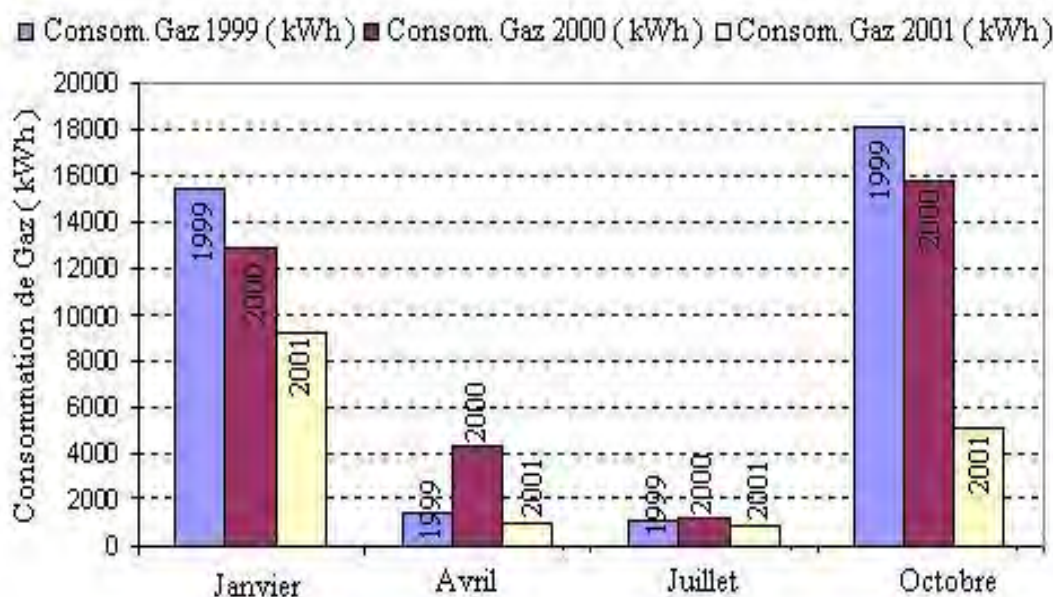


Figure.5.8. Bilan de consommation du Gaz. Source : C.Hamouda

5.1.3.2. Bilan énergétique mensuel :

La répartition mensuelle des déperditions d'énergie pour cette habitation, fait ressortir les mois à forte demande d'énergie, appelée aussi période de chauffage, valable pour la région des Hauts Plateaux.

Les apports en chauffage auxiliaire, dans le cadre de cette étude, sont assurés essentiellement par la combustion de gaz naturel. Ils varient de 16 MJ/m² pour le mois d'octobre à 80 MJ/m²,⁴ pour le mois de janvier. Quant aux gains solaires, ils sont fonction du rayonnement solaire incident mais surtout de la durée journalière d'ensoleillement, courte en hiver et longue en été. Il y a donc adéquation, entre, les besoins élevés et l'offre faible en énergie solaire, durant la période de chauffage.

Les gains internes sont principalement constitués par les dégagements en chaleur des occupants, de l'éclairage et des équipements électroménagers utilisés dans l'habitation. L'énergie dégagée par les occupants est fonction de la durée de leur présence et leur activité en général, pour l'habitat individuel, celle-ci est estimée à 80 W à 100 W par personne.

Les gains en chaleur, obtenus à l'aide de l'éclairage artificiel, sont fonction du confort visuel, soit 500 Lux en moyenne, correspondant à une puissance spécifique dissipée de 12 W/m². Ces paramètres sont variables, et ils dépendent aussi bien du type de luminaire, éclairage adéquat et faible dissipation, par exemple: les lampes à basse consommation 'LBC' que de l'éclairage naturel complémentaire, obtenu à travers les ouvertures dans les parois. Un compromis entre déperditions et gains en matière d'éclairage est dans ce cas aussi nécessaire.

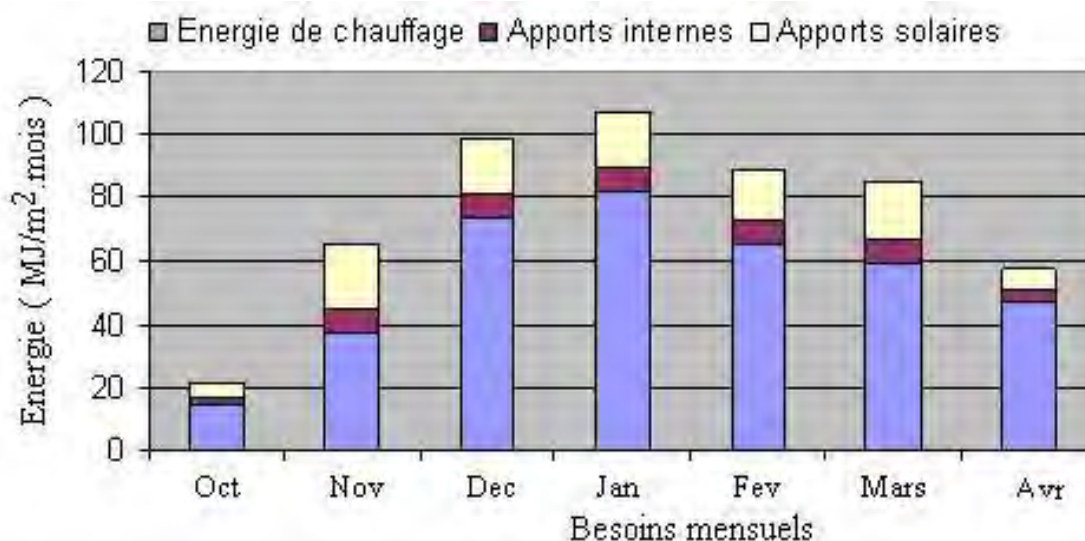


Figure.5.9. Bilan des besoins mensuels Source : C.Hamouda

⁴ 1 Mégajoule(MJ) = 278 Wh=0.278 KWh.

Pour les gains, obtenus par dégagement de chaleur des équipements électroménagers utilisés, le calcul des puissances dissipées, uniquement, à partir des données portées sur les plaques signalétiques de ces équipements est insuffisant. Il faudrait procéder à un relevé des consommations par poste et par mode, veille ou déclenché.

Les paramètres relevés sont: la puissance active, la tension d'alimentation, le courant de fonctionnement, la quantité d'énergie consommée par heure. Les mesures ont été relevées sur une période de deux mois, 'du 1/07/05 au 30/08/05', la consommation totale sur cette période est de 440 kWh, ce qui donne une moyenne de **7,33 kWh/jour**. L'auteur a procédé aussi au relevé, à titre indicatif, pour la journée du 01/07/05, (Tableau5.1), les puissances en veille et enclenché ainsi que la puissance consommée par type d'équipement.

Tableau 5.1. Valeurs de la puissance, en veille et enclenché, de l'énergie par poste de consommation, relevées le 01/07/05, par l'auteur. Source : C.Hamouda

Type d'équipement	Puissance (W)		Energie
	Mode veille	Mode enclenché	(kWh)
TV + Démodulateur + Magnétoscope	20	78	0,990
TV + Démodulateur	14	64	0,542
PC + Imprimante	32	186	1,012
Réfrigérateur 200 Litres	14	145	1,270
Réfrigérateur 160 Litres	12	94	2,265
Eclairage + Divers	--	--	0,721
Lave-linge (programme à 60 °C)	--	--	1,230
Total / jour			8,030

Il est clair que la consommation des équipements de froid représente 44 % du total, suivi de l'audiovisuel 17 %, et quant à la consommation de l'éclairage, faible (9 %), elle est due à la durée du jour, relativement longue en été, nécessitant une courte période d'éclairage.

La consommation d'énergie du lave-linge est fonction du programme de lavage sélectionné et de la fréquence de son utilisation (soit en moyenne deux fois par semaine). Dans ce cas, le choix s'est porté sur un programme pour du linge de couleur à une température de lavage de 60 °C. Durant tout le long du cycle, nous avons relevé les puissances actives des phases essentielles du cycle de lavage: le chauffage de l'eau (1,849 kW), le lavage proprement dit

(0,340 kW), la vidange (0,082 kW) et enfin l'essorage (0,817 kW). La durée du cycle est d'une heure trente minutes, et l'énergie absorbée est équivalente à 1,230 kWh.

Pour une évaluation exhaustive des économies d'énergie électrique, l'auteur a constaté que seuls les postes de consommations, audiovisuel et bureautique, permettent, par la suppression du mode veille, de réaliser cette opération.

Les autres postes, compte tenu de leur mode de fonctionnement, à cycles variables, ils nécessitent la mise en place d'un programme d'évaluation plus élaboré⁵. Cependant compte tenu de la diversité des équipements électroménagers, disponibilité sur le marché, il est possible toutefois, de réaliser des économies d'énergie, par le choix judicieux, des équipements à faible consommation.

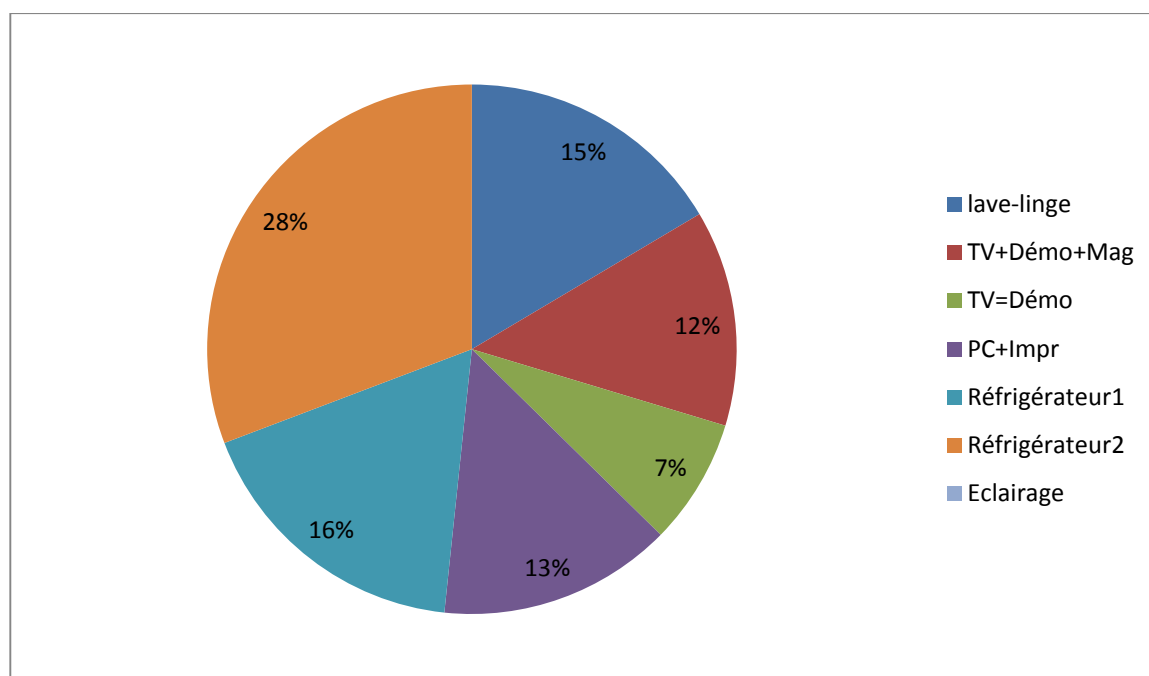


Figure.5.10. Répartition par poste de consommation d'énergie absorbée (8,030 kWh/jour) Source : C.Hamouda

5.1.3.3. Commentaire :

Le but de ce travail est l'analyse du bilan énergétique d'un bâtiment existant, en analysant en détail les consommations des éléments essentiels de ce bilan. Il a été constaté que la consommation de l'énergie électrique est plus élevée en été, due essentiellement à l'alimentation des réfrigérateurs tandis qu'en période hivernal la consommation de gaz est conséquente destinée au chauffage des locaux et pour la production d'eau chaude.

⁵ Document de la Commission des Communautés Européennes, 'Etude Expérimentale des Appareils Electroménagers à Haute Efficacité Energétique Placés en Situation Réelle', Projet Ecodrome, ADEME, 1998.

Le flux énergétique, élément central de cette analyse, permet de mettre en évidence les sources de déperditions et les apports pour compenser ces déperditions. A travers cet exemple, les apports par les gains solaires sont appréciables, tandis que gains internes sont limités. L'amélioration du bilan globale et la réduction du chauffage auxiliaire, sont subordonnées à l'optimisation, grâce à un choix adéquat de matériaux de construction.

Deux observations militent en faveur de ce résultat : les gains solaires, obtenus grâce à l'espace « serre solaire », qui contribue au confort thermique et les conditions climatiques plus favorables en général, période de chauffage relativement courte⁶, dans cette région d'Algérie.

Pour les nouvelles constructions, particulièrement, celles conçues selon le standard « habitat à faibles consommations d'énergie », il est exigé d'intégrer dans le système énergétique de l'habitation, au moins un système d'utilisation active de l'énergie solaire. Le système de production d'eau chaude solaire, permet de réduire les besoins en énergie auxiliaire et le système photovoltaïque, de couvrir partiellement ou totalement les besoins en électricité de l'habitation. Il faut noter que, la réglementation thermique dans les bâtiments neufs en Algérie, ne prend pas en considération cet élément d'intégration de l'énergie solaire.

⁶ C.Hamouda : Analyse théorique et expérimentale de la consommation d'énergie d'une habitation individuelle à Batna.

**5.2. CAS D'ETUDE : TOUR MULTIFONCTIONNELLE DE R+30.
CONSTANTINE.**

SIMULATION DE L'APPARTEMENT DU 25° ETAGE.

5.2.1. Présentation générale :



Figure 5.11. Vue perspective Sud-ouest et nord-ouest. Source : auteur.

La tour multifonctionnelle est composée d'un RDC+30 étages, ce bâtiment est premier en son genre dans la wilaya de Constantine, ce projet ambitieux vient s'ajouter aux différents projets qui vont être lancés prochainement à Constantine. Implantée dans un contexte urbain dont la ligne de crête, vue depuis les quatre coins de la ville, elle procure un nouveau look au quartier et à la ville toute entière. Située face à la somptueuse université islamique « Emir Abdelkader », riche par sa pertinente architecture musulmane.

Cet équipement multifonctionnel vient composer avec le reste du site variation, contraste, complexité et contradiction au veut célèbre de Vitruve. Sa situation est valorisée, dans un avenir immédiat par la modernisation du réseau routier, notamment le tramway, passant à la proximité et le contexte ne sera que rehausser.

Cette initiative a pour but de rehausser l'image de la ville de Constantine, et l'aider à la faire sortir de la sensation morose, insalubre et de goût inachevé qu'offrent nos villes d'une manière générale. Soucieux du bon goût, nos villes ont besoins d'une peau neuve, et d'une parure diaprée, de valeurs urbaines, fierté des pays dits développés et civilisés.

D'autres projets similaires, de hauteurs moindres vont avoir le jour prochainement, dans les quatre coins de la ville en parallèle avec la modernisation de son périmètre urbain.

5.2.2. Situation :

La tour est située dans le quartier de "FILALI", elle est limitée au nord Est par un bâtiment d'habitation en RDC+14 étages (nano tour), au Sud-ouest par une polyclinique ; au nord Ouest par une rue et la cité universitaire Nahas Nabil et au sud Est par une voie urbaine secondaire et un jardin public, cette situation lui donne une vue panoramique superbe depuis le premier niveau.

Ce qui valorise réellement son importance aussi, sa proximité de la grande mosquée et l'université islamique « Emir Abdel Kader ». (Fig.5.12)

Le projet occupe une superficie foncière de 2300 m², d'une forte déclivité.



Figure 5.12. Plan de situation. Source : Google 2011. Avec adaptation auteur.

5.2.3. Composition:

Le volume est composé d'un RDC+30 étages, répartis comme suit:

- Socle d'activités: divisé en deux joints, l'un en cinq niveaux, et l'autre en six niveaux;

le premier étant destiné aux différentes activités commerciales et libérales, telles que les banques, les boutiques de luxe, des bureaux et restaurant snack. Le deuxième sera affecté aux parkings avec une salle de conférence au dernier niveau, et une grande terrasse fleurie pour le besoin du restaurant snack. Le tout est lié par des montes charges et des ascenseurs.

- La partie centrale: composée de résidences de type haut standing du cinquième étage au vingt huitième étage.

- Les deux derniers étages seront affectés en bureaux d'administration.

5.2.3.1. Définition des espaces:

- Les banques: avec une surface totale hors œuvre de 1575 m², s'ouvrent directement sur la rue de Filali, avec un recul aménagé de 7m, composées de trois niveaux, elles seront réalisées selon les normes reconnues.

- les parkings à étages: composés de cinq niveaux liés entre eux par des montes charges, et monte véhicules, d'une capacité de 120 places pour véhicules et d'une superficie totale hors œuvre de 2700 m².

- Les fonctions libérales et commerces: s'étalant sur trois niveaux, dont la majorité des espaces sera destinées aux bureaux, crèche et autres, dont un niveau sera affecté pour les commerces de luxe, le tout pour une surface totale hors œuvre de 3122 m².

Chaque niveau est muni de deux batteries sanitaires, le rez de chaussée abrite les accès principaux situés séparément pour le bon fonctionnement de la tour.

- Le restaurant, cafeterias et snack: se situent au quatrième, s'ouvrant sur une très grande terrasse panoramique fleurie, doté d'un monte charge pour l'approvisionnement, espace de détente et d'épanouissement.

- à partir du cinquième au vingt-huitième étage commence les résidences, avec 18543.70 m² de surface planché, dont une superficie moyenne hors œuvre de 180m² par logement, elles sont dotées de quatre ascenseurs et de deux cages d'escaliers,

- le vingt-neuvième et le trentième étage, ces deux niveaux seront destinés aux bureaux administratifs de la promotion propriétaire de la tour.

5.2.4. Aspect architectural:

La tour par sa forme simple et sa hauteur impressionnante, avec ses matériaux nouveaux, révèle une beauté architecturale rayonnante sur plusieurs dimensions, son ouverture avec ses murs rideaux et son intimité à la fois, sa richesse dans ses formes flexibles, le lien spatial entre ses différents espaces, son assise large procure une assurance, son élancement et sa sveltesse, améliorée dans son enveloppe, cherche un rendement énergétique et qualité d'air intérieur, sa performance en matière d'environnement, tout cela lui vaut le mérite du renom de la perle Constantinoise.

Cette tour luxueuse, procure par sa grande partie destinée à la résidence, à la population constantinoise, un large éventail de logements prestigieux de haut standing, avec une architecture moderne et des matériaux de qualités. Respectueuse de l'environnement avec ses façades vitrées composées de panneaux solaires verticaux,

5.2.5. Aspect structurel:

La forme de la tour, représentée sous forme d'une structure simple avec un noyau central en voile de béton armé, plus les poteaux- poutres. En ce qui concerne son

infrastructure, elle est représentée sous forme de radier général posé sur des pieux ancrés jusqu'à une quarantaine de mètres, suivant l'étude de sol établie par LTP EST.

5.2.6. Programme⁷ :

Logements type F5 et F4 haut standing au nombre respectif de 69 et 23 logements d'une surface moyenne respective de 180m² et 158m².

- Séjour
- Salle à manger
- Cuisine
- S-d-bain
- WC
- Suite parentale
- Deux ou Trois chambres à coucher
- Terrasse fleurie.

Le socle des activités se compose de :

- | | | |
|----|---|----------------------------|
| 1. | Banques : | au nombre de : 02 |
| 2. | Boutiques de luxe : | au nombre de : 18 locaux |
| 3. | Bureaux pour fonctions libérales : | au nombre de : 36 bureaux. |
| 4. | Salle de conférence : | au nombre de : 01 |
| 5. | Parking à étages : | au nombre de : 120 places |
| 6. | Grand Restaurant snack avec terrasse, occupant toute la surface d'un niveau complet : | au nombre de : 01 |
| 7. | Administration de la promotion propriétaire : | au nombre de : 10 bureaux |
| 8. | Crèche et garderie d'enfants. | |

⁷ Programme proposé et accepté par le promoteur.

5.2.7. PLAN D'ENSEMBLE :

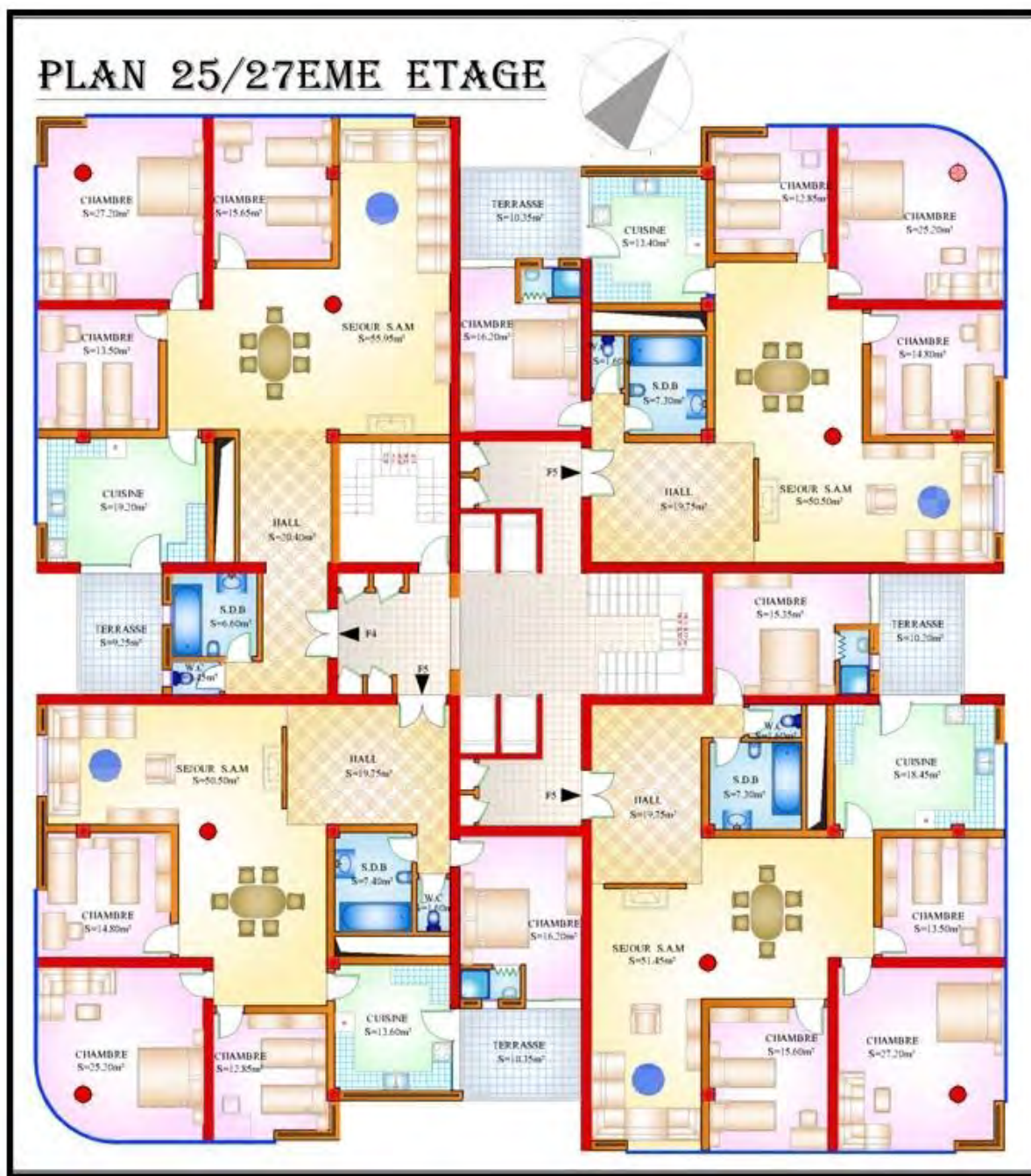


Figure.5.13. vue en plan d'un palier de la tour (cas d'étude). Source : Auteur.

La surface résidentielle est composée de trois logements type F5 et un de type F4, sur chaque palier. Dont la surface totale est de: 170 m², du logement test.

5.3. MODELISATION ET SIMULATION DE L'APPARTEMENT

(CAS D'ETUDE) SOUS TRNSYS 16.1:

5.3.1. Objectif de la simulation :

L'objectif principal de la simulation :

- La simulation thermique d'un appartement conventionnel, qui servira comme référence, afin de déterminer le besoin et la consommation énergétique.
- La simulation du même appartement, mais cette fois-ci, en remplaçant la majorité des murs extérieurs par des murs rideaux (conception demandée par le promoteur), afin d'évaluer la performance énergétique de l'appartement.
- Et enfin simuler l'appartement échantillon avec un panneau solaire, et définir son efficacité énergétique et calculer l'apport de celui-ci et son impact sur l'amélioration, en matière de demande en énergie et par conséquent gagner une économie significative.

Toute cette démarche doit être en harmonie avec l'aspect architectural de la tour, et faire ressortir l'étroite relation entre la conception architecturale (que se soit avec des murs rideaux, où murs simples en allèges et baies vitrées) et les apports solaires actifs.

Cette liaison sera prouvée par des résultats issus de la simulation, cette efficacité jouera le rôle d'une feuille de route pour faciliter la tâche, et donner une certaine liberté aux architectes de concevoir des bâtiments avec des technologies renouvelables, respectant l'environnement et peu consommateurs d'énergie et ultérieurement des bâtiments à énergie positive.

5.3.2. Aperçu sur TRNSYS⁸ :

TRNSYS ("Simulateur de système transitoire", prononcé «tran-sis») a été développé à l'origine par l'Université du Wisconsin dans les années 1970 pour l'analyse numérique de l'énergie solaire destiné au chauffage et à l'eau chaude.

Le laboratoire d'énergie solaire thermique de l'université de Wisconsin poursuit son développement, et a autorisé l'« Energy System Specialists Inc » de la même université, de vendre des licences et de fournir des appuis de formation aux États-Unis.

⁸ Ian A. Gravagne et Kenneth Van Treuren « On the Use of TRNSYS in a Solar Energy Technical Elective ». Departement de « Electrical and Computer Engineering Baylor University, Waco, TEXSAS. 2008.

Au cours des 30 dernières années, TRNSYS n'a cessé d'affiner et maintenant il est largement reconnu comme un outil d'analyse fiable pour les systèmes énergétiques complexes.

TRNSYS est un logiciel de simulation du comportement thermique des bâtiments et des systèmes associés en régime dynamique. La modélisation et la simulation de ce système est nécessaire pour étudier le comportement thermique et celui du système solaire photovoltaïque, et peut être utilisé pour valider tous les concepts de toutes énergies nouvelles et simuler des systèmes énergétiques. Le recours à ce type de logiciel est indispensable pour prendre en compte la variabilité temporelle importante des sollicitations et des sources d'énergie.

Le début de tout travail consiste à modéliser la maison avec un sous-programme appelé TRNBuild permettant de définir la structure et les dimensions du bâtiment.

Dans TRNSYS, les composants d'un système sont appelés types, et chaque type a un ensemble de paramètres, les entrées (inputs) et les sorties (output) qui décrivent et définissent la manière dont il permettra de relier d'autres types.

La simulation est en effet un outil extrêmement séduisant. Contrairement à l'expérimentation, elle permet de tout essayer, même les solutions les plus originales. Il donne la possibilité de jouer avec le modèle de bâtiment (type 56), en lui ajoutant des composants, en modifiant sa forme, son orientation, en le situant à des endroits différents, etc. C'est un vecteur d'imagination et de créativité. La simulation permet d'évaluer une solution technique et/ou architecturale, elle le fait avec détail, précision et pertinence. Contrairement aux méthodes de calcul simplifiées, elle fournit des résultats sous une forme identique à celle qu'auraient des mesures expérimentales sur un bâtiment réel. On injecte dans le modèle les valeurs que prennent au cours du temps des variables décrivant le climat ; on indique les paramètres de fonctionnement du bâtiment (occupé continuellement, chauffé, climatisé, etc.) et, classiquement, on obtient les valeurs prises par un certain nombre de variables d'observation (températures d'air, températures de surface des parois, puissance de chauffage ou de refroidissement, etc.) à des moments successifs, en général régulièrement espacés, de la période considérée.



Figure 5.14. Vue en plan de l'appartement test, avec ses deux façades, orientées : sud-ouest et nord-ouest.
Source : auteur.

5.3.3. Définition des zones :

La première étape est de séparer l'ensemble de la maison en différentes zones couplées les unes avec les autres. La séparation des différents espaces du logement se fait en fonction de l'emplacement, de l'occupation et de l'utilisation.

A partir de l'aménagement de l'appartement, six zones différentes ont été créées, selon le tableau suivant :

Tableau n°5.2. Les zones thermiques de l'appartement. Source : auteur.

Zone	Nom	Espace
1	Séjour-Salle à manger	SJ_SM
2	Chambre 01	CH1
3	Chambre 02	CH2
4	Chambre 03	CH3
5	Cuisine	CUI
6	Sanitaire	SN

Chaque zone est considérée comme une cellule séparée pour laquelle il faut définir le volume et les surfaces des parois. Pour chaque paroi il faut définir ses caractéristiques ainsi que la zone adjacente, par exemple la cuisine dispose d'un mur extérieur orienté vers le Sud-ouest avec une baie vitrée, un mur donnant sur la terrasse, etc.

5.3.4. Composition des parois :

Les caractéristiques des matériaux et les épaisseurs d'isolant correspondent à des valeurs classiques pour des bâtiments très bien isolés.

La composition des murs, définie de l'intérieur vers l'extérieur comme suit :

Paroi intérieure : composée de brique de 10 cm d'épaisseur.

Paroi extérieure : composée de deux parois (double murette) de 15 et 10cm, avec un isolant de type polystyrène expansé de 04 cm. Le revêtement extérieur est en mortier de ciment de 03 cm d'épaisseur.

Revêtement intérieure en BA13, appliquée directement sur le mur intérieur de 10 cm plus éventuellement une application en pâte d'enduit.

5.3.5. SIMULATION DE L'APPARTEMENT AVEC MUR OPAQUE ET FENETRE (1° CAS) :

Les résultats obtenus sur les fichiers Excel, nous donnent les différentes températures de chaque zone et par conséquent l'irradiation reçue sur les deux murs orientés Sud-ouest et Nord-ouest c'est-à-dire l'énergie demandée par ces zones pendant les 8760 h.

5.3.5.1. Demande d'énergie annuelle (surface habitable) de l'appartement avec mur opaque+fenêtre (1° cas):

Tableau n°5.3.la demande énergétique annuelle du 1° cas. Source : auteur.

N°	MOIS	ENERGIE MENSUELLE (KW)
01	JANVIER	-1409.98
02	FEVRIER	-688.38
03	MARS	-491.84
04	AVRIL	-218.89
05	MAI	317.49
06	JUIN	1375.71
07	JUILLET	1824.32
08	AOUT	1850.32
09	SEPTEMBRE	837.08
10	OCTOBRE	398.50
11	NOVEMBRE	-307.96
12	DECEMBRE	-937.56
La consommation annuelle		10 655.03

Tableau n°5.4. L'écart entre le chauffage et la climatisation Source : auteur.

Période hivernale (chauffer)	Qsens = -4051.61 KW
Période estivale (refroidir)	Qsens = +6603.42 KW

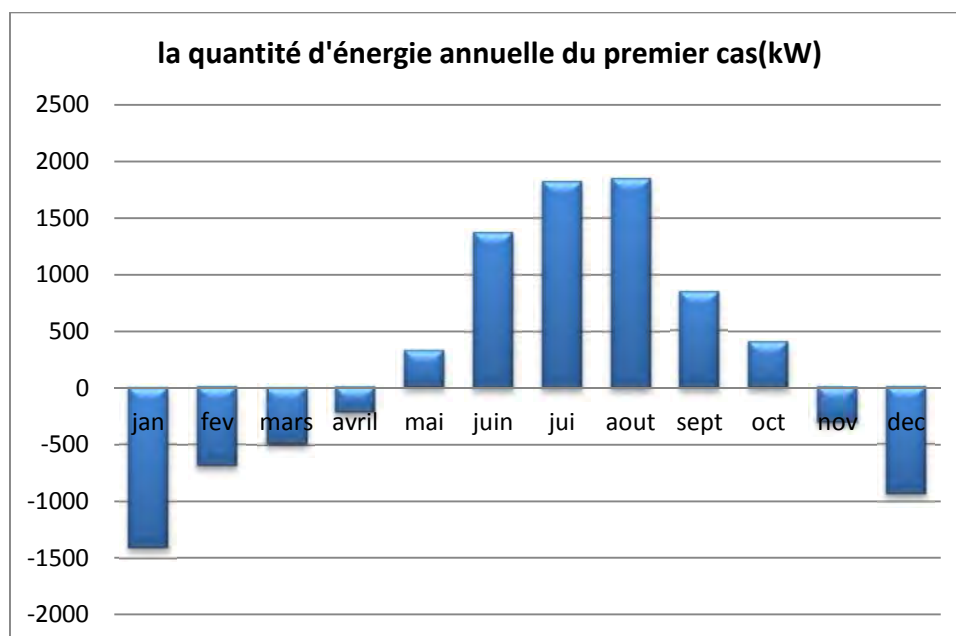


Figure 5.15. Demande d'énergie mensuelle du cas n°1. Source : Auteur.

5.3.5.2. Commentaire :

Après le lancement de la première simulation, on a pu constater ce qui suit :

- Que la quantité d'irradiation reçue sur les deux murs orientés Sud-ouest et Nord-ouest, a changé pour les deux périodes, estivale et hivernale.
- On constate une forte variation mensuelle de demande énergétique appelé Q_{sens} (quantité de chaleur sensible) dans TRNSYS, entre le mois de janvier et février, et même journalière (plus de détail sur le fichier Excel au annexe).
- Une demande énergétique un peu plus grande, pendant la période hivernale, et cela est dû à l'angle d'inclinaison des rayons solaires qui pénètrent le plus profond possible.
- Enfin, si on améliore les performances des matériaux, on obtiendra des résultats plus fiables, dont les vitres sont en verres peu émissifs.

5.3.6. LA SIMULATION DE L'APPARTEMENT AVEC MURS RIDEAUX

(2° CAS) :

Tableau n°5.5

La demande énergétique du deuxième cas. Source : auteur.

N°	MOIS	ENERGIE MENSUELLE (KW)
01	JANVIER	-1325.54
02	FEVRIER	-435.86
03	MARS	-260.58
04	AVRIL	-98.31
05	MAI	+804.92
06	JUIN	+2093.26
07	JUILLET	+2612.20
08	AOUT	+2722.30
09	SEPTEMBRE	+1614.21
10	OCTOBRE	+1058.54
11	NOVEMBRE	-179.41
12	DECEMBRE	-580.76
La consommation annuelle		13 785.89

Tableau n°5.6. L'écart entre le chauffage et la climatisation. Source : auteur.

Période hivernale (chauffer)	$Q_{sens} = -2782.15 \text{ KW}$
Période estivale (refroidir)	$Q_{sens} = +10905.43 \text{ KW}$

5.3.6.1. Demande d'énergie annuelle (surface habitable) de l'appartement avec murs rideaux (2° cas):

Le deuxième cas consiste à calculer la demande énergétique totale des différentes zones, avec un mur extérieur complètement vitré, appelé murs rideaux.

Il est évident de laisser la surface de la fenêtre (type d'ouverture : oscillo-battante), cette dernière est de type double vitrage avec argon ou krypton à faible émissivité.

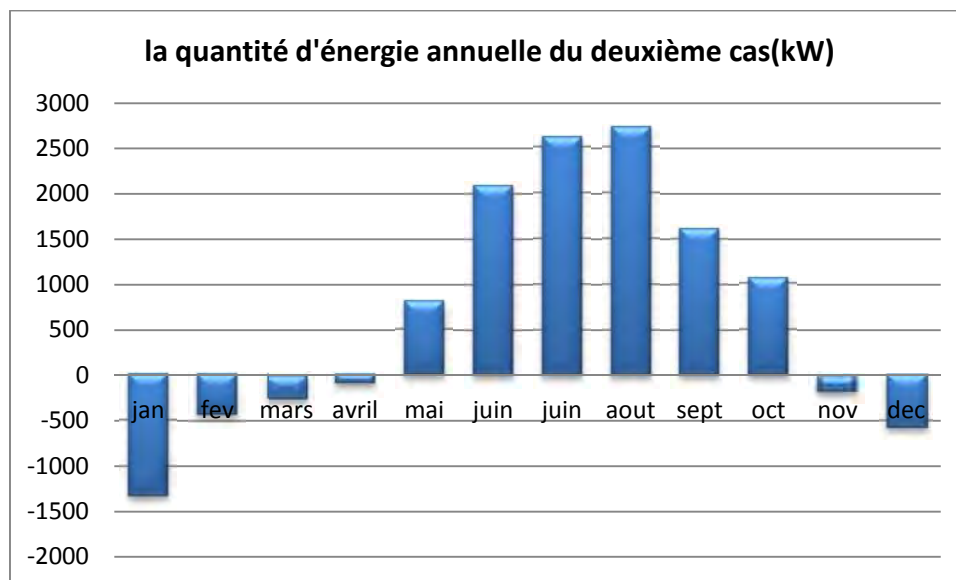


Figure 5.16. Demande d'énergie mensuelle du cas n°2. source : auteur.

5.3.6.2. Façade vitrée : avantages et inconvénients :

Le verre dans les façades, peut être vu comme un filtre d'énergie (**Brown et al, 1988**) en tant qu'élément transparent de l'enveloppe du bâtiment.

Le chercheur (**Joret et al, 1999**)⁹ décrit ce phénomène : malgré sa transparence dans le domaine visible du spectre solaire (transmission de 90% pour un verre silicosodocalcique de 4mm d'épaisseur), il devient totalement opaque dans le domaine de l'infrarouge thermique : pour $\lambda > 4,5 \mu\text{m}$, la transmission spéculaire est nulle ; par ailleurs, la réflexion d'une feuille de verre est faible (<10%). Les radiations absorbées par la feuille de verre portée à la température de la pièce sont alors réémises selon une loi de corps noir. Le verre ne constitue donc qu'une barrière faible au rayonnement et se comporte comme un corps noir quasi parfait. Dans le cadre d'une paroi de verre simple, les pertes par conduction et par convection sont largement supérieures aux pertes par rayonnement. Pour limiter les pertes associées aux différents modes de transfert de chaleur, il est nécessaire d'avoir recours à des vitrages plus évolués que la simple feuille de verre : les vitrages à isolation thermique renforcée (double vitrage par exemple). En modifiant le verre, différents types de rayonnement peuvent être transmis. Le type de vitrage va donc déterminer ses

« Relations » avec le rayonnement solaire :

⁹ C.Flory-CELINI, thèse de doctorat « Annexes : les solutions bioclimatiques », université Claude Bertrand. Belgique.

- Sa capacité de transmission de la lumière caractérisée par son coefficient de transmission lumineuse.
- Son aptitude à transférer la chaleur déterminée par son facteur solaire de transmission totale d'énergie à travers le vitrage.
- Sa disposition a bloqué le transfert de chaleur, définie par son coefficient de transmission thermique surfacique U.
- Son pouvoir réfléchissant du rayonnement solaire incident traduit par le coefficient de réflexion lumineuse, qui est la fraction de lumière incidente qui est réfléchi par le vitrage.

Le fait que le facteur solaire dépende fortement de l'angle d'incidence est une propriété fondamentale. En effet, pour une orientation plein sud et un site sans masque, un rayon solaire à midi en hiver traversera directement le vitrage tandis qu'en été, vu la hauteur solaire, aura du mal à franchir le vitrage.

5.3.2.7. Commentaire :

- Pour favoriser les apports passifs, en hiver notamment, l'installation de grandes surfaces vitrées peut sembler évidente. Certes en journée les gains sont favorisés, mais en soirée ces surfaces représentent des façades de déperditions.
- La vue panoramique sur un paysage idyllique (confort visuel) peut vite devenir une source d'éblouissement si le sol a par exemple une valeur d'albédo élevée.
- On constate certaine variation mensuelle, journalière et horaire de demande énergétique appelée quantité de chaleur sensible (Q_{sens} dans TRNSYS).
- Une demande moyenne pendant la période hivernale, soit au total = 2782.15 KW, et cela est dû à la surface de captage qui est totalement vitré, orientée vers le Sud-ouest.
- Contrairement à la période estivale sur une totalité de = 10905.43 KW, cette augmentation est due au nombre de rayonnement solaire reçu sur la surface vitrée et par conséquent la quantité de chaleur qui en découle.

tableau 5.7. Comparaison de la demande d'énergie mensuelle des deux cas. Source : auteur.

Mois	Paroi vitrée(KW) (2° cas)	p-opaque avec fenêtre(KW) (1° cas)
Janvier	-1325.54	-1409.98
Février	-435..86	-688.38
Mars	-260.58	-491.84
Avril	-98.31	-218.89
Mai	804.92	317.49
Juin	2093.26	1375.71
Juillet	2612.20	1824.32

Aout	2722.30	1850.32
Septembre	1614.21	837.08
Octobre	1058.54	398.50
Novembre	-179.41	-307.96
Décembre	-580.76	-937.56

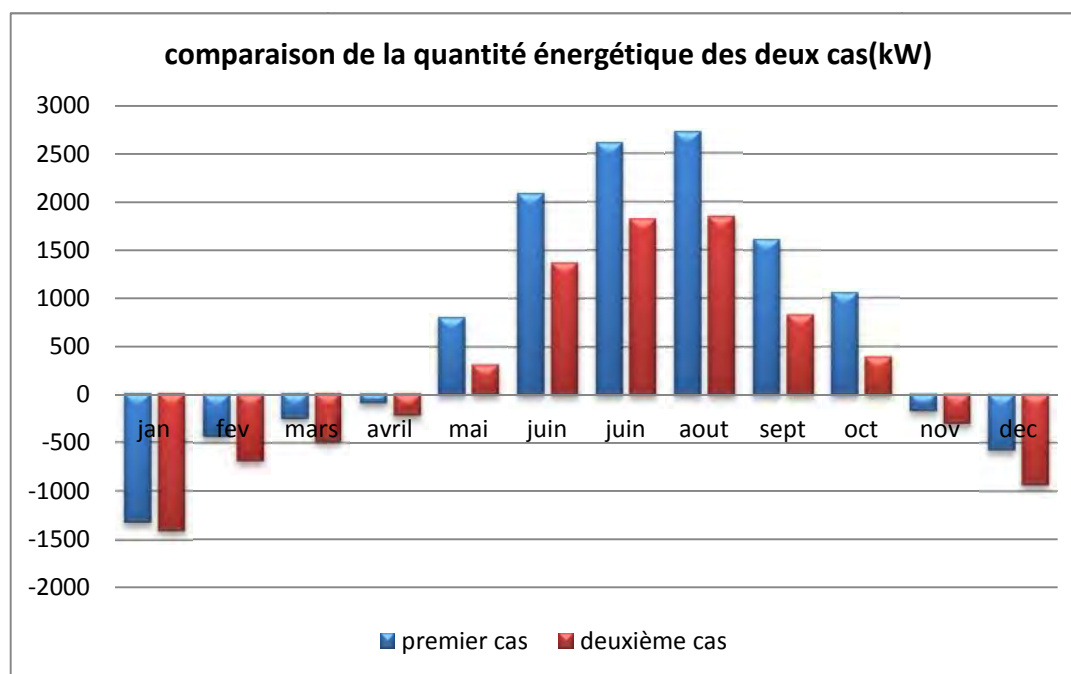


Figure 5.17. Comparaison de la demande énergétique des deux cas de figure. source : auteur

5.3.7. SIMULATION DU TROISIEME CAS (PANNEAU SOLAIRE) :

Les panneaux qui font façades ont un potentiel important. Beaucoup de revêtement photovoltaïque peuvent être considérés comme murs vitrés, dont les cellules PV sont appliquées directement sur les vitres, et le type amorphe et couches minces sont très bien adaptables à ce type de murs.

Avant de lancer la simulation des panneaux solaires, il est préférable d'éclaircir certains points liés à la performance des cellules photovoltaïques.

5.3.7.1. Type de panneaux photovoltaïque dans TRNSYS :

Chaque type peut être décomposé en deux parties:

- 1) le code source, qui est le code Fortran qui contient l'équation mathématique et les processus de la technologie, et définit la fonction du composant.
- 2) Le proforma, qui est l'interface de l'utilisateur qui définit les paramètres, les entrées et sorties des processus mathématiques, et fournit le cadre pour relier efficacement les entrées et les sorties des types au sein du système.

Nota : le type du panneau simulé dans notre cas d'étude est celui du « type 194 » a 5 paramètres.

5.3.7.1.1. Le type 94 :

C'est un type de panneau en silicium cristallin est défini comme TYPE 94a dans TRNSYS, Le type à quatre paramètres est détaillé par Duffie et Beckman [1991]¹⁰. Le modèle a d'abord été incorporé dans les composants TRNSYS par Eckstein [1990]. Ses paramètres sont :

- Dix-neuf paramètres, y compris zone du module, le nombre de modules, et un maximum de tension au point de puissance maximale.
- Huit entrées, y compris un rayonnement de faisceau, la pente du panneau, et la température ambiante.
- Et onze sorties, dont la puissance maximale au « power point », courant au point de puissance maximale, et la température.

Dans ce mode de Type94, la caractéristique de la pente de IV (tension-courant) au point de court-circuit de courant est positive et/ou égale à zéro, (équation ci-dessous).

$$\left(\frac{dI}{dV} \right)_{v=0} = 0$$

Ces modèles de composants des performances électriques d'un générateur photovoltaïque de TYPE 94 peuvent être utilisés dans les simulations impliquant des accumulateurs électriques, le couplage de charge directe, et les connexions au réseau électrique public. Il emploie des équations pour un modèle de circuit équivalent empirique permettant de prédire les caractéristiques courant-tension d'un seul module.

Ce circuit comprend une source de courant continu, une diode, et des résistances soit un ou deux. La force de la source de courant est en fonction de la radiation solaire et les caractéristiques IV de la diode sont dépendant de la température.

Le type 94 concerne les modules cristallins (soit monocristallin ou poly cristallin), il emploie un circuit équivalent à «quatre-paramètre". « **ref, Io, ref, γ , et Rs** »Les valeurs de ces paramètres (à ne pas confondre avec les paramètres des composants dans TRNSYS) ne peuvent pas être obtenues directement à partir des catalogues des fabricants. Toutefois, le Type 94 saura automatiquement les calculer à partir des données disponibles.

¹⁰ Source : TRNSYS, volume 5, Mathematical reference- document PDF.

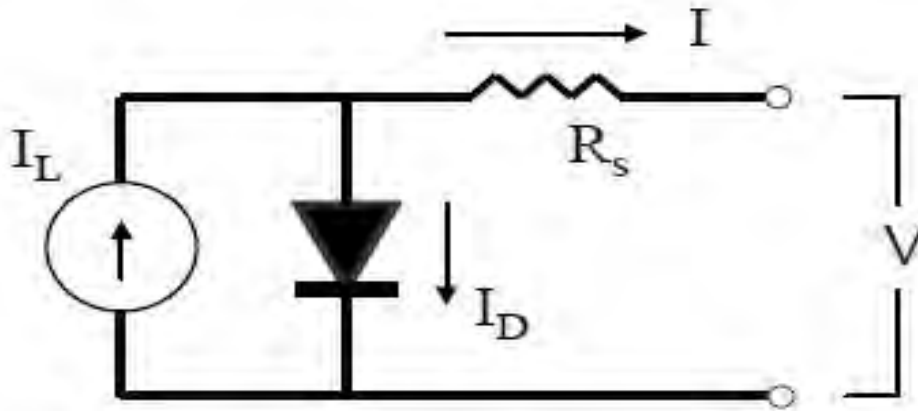


Figure 5.18. schéma du circuit électrique du type 94. Source : manuel TRNSYS

5.3.7.1.2. Le type 194 :

La composante qui détermine la performance électrique d'un générateur photovoltaïque, du Type de 194 peut être utilisé dans les simulations impliquant des accumulateurs électriques, couplage de charge directe, et les connexions de réseaux électriques. Le modèle détermine le courant et la puissance du réseau à une tension spécifiée. D'autres comprennent les sorties du courant et de la tension au point de puissance maximale.

Ce type 194, est un modèle équivalent impliquant les cinq paramètres mathématiques est disponible pour les modules photovoltaïques amorphes / couches minces. Il ya une grande différence qualitative entre les courbes IV de PV cristallines et amorphes. Le court-circuit pente de la courbe IV pour les modules cristallins est très proche de zéro, tandis que la pente des modules amorphes est généralement négative. Les paramètres de cette pente ne sont généralement pas inclus dans la liste des spécifications du catalogue du module. Le modèle à cinq paramètres ajoute une résistance de shunt **R_{sh}** au circuit équivalent, provenant de du type à quatre paramètres.

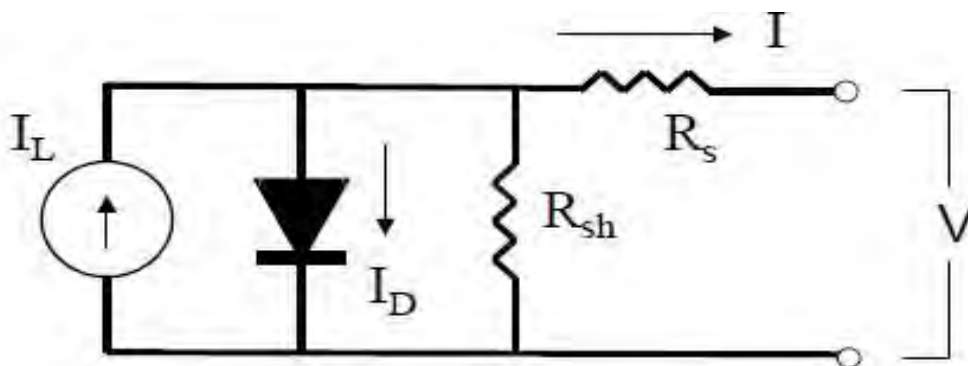






Figure 5.19. schéma du circuit électrique du type 194. source : manuel TRNSYS.

5.3.8. la performance des panneaux photovoltaïques inclinés :

En changeant la conception des panneaux selon la latitude de Constantine des deux façades avec leurs orientations, le rendement des cellules solaires augmente largement, certains chercheurs ont établis des tableaux faisant ressortir le taux de rendement panneaux solaires sous différentes orientations et inclinaisons.

Tableau 5.8. Evolution de rendement des panneaux solaires selon l'orientation et l'inclinaison.

				
<i>SUD</i>	93%	100%	91%	68%
<i>SUD-EST</i>	93%	96%	88%	66%
<i>EST OUEST</i>	93%	90%	78%	55%

5.3.9. Mode de fonctionnement du système connecté au réseau :

L'effet photovoltaïque est un processus dans le lequel deux matériaux (type-n et type-p), qui sont étroitement en contact, agissant comme une cellule électrique une fois heurtée par la lumière ou par toute autre énergie radiante. Une cellule photovoltaïque est une diode optimisée pour absorber des photons du soleil et les convertir en énergie électrique. Pour former un générateur ou un champ photovoltaïque (PV), un nombre de modules, formés de cellules reliées en série et en parallèle. Un système PV couplé au réseau se compose, généralement, d'un champ PV et d'un ensemble de composants d'adaptation (BOS) qui sont nécessaire pour préparer l'énergie solaire à être utile. Cet ensemble comprend tous les équipements entre le champ PV et la charge-réseau, à savoir les supports des modules, le câblage, les boites de connexion et le système de conditionnement.

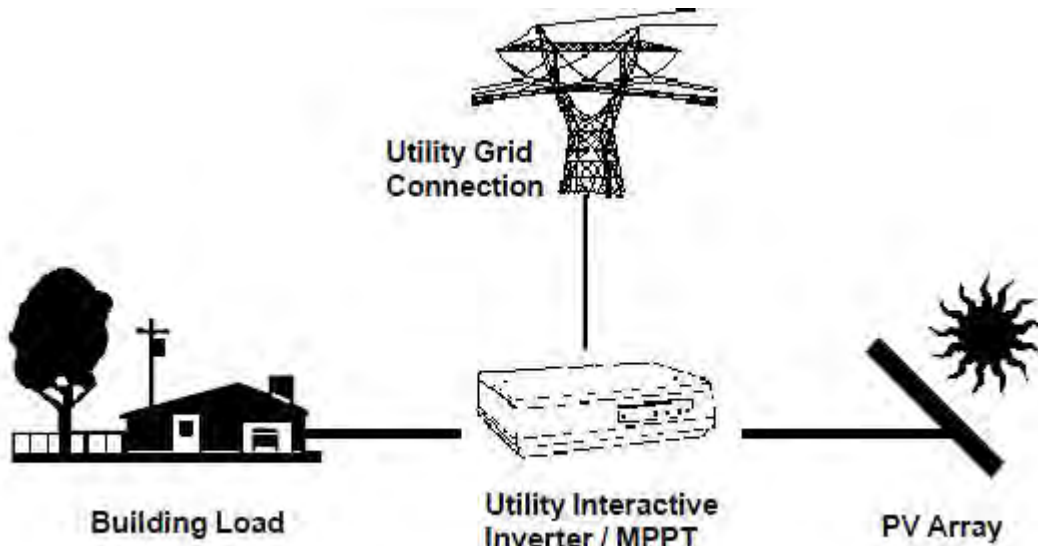


Figure 5.20 : Schéma du système connecté au réseau. Source : programme SMUD, 1998

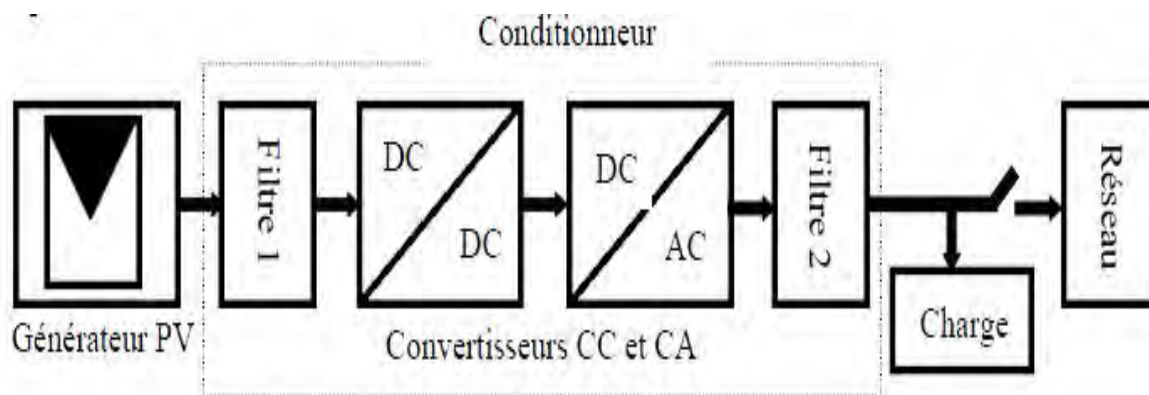


Figure 5.20. Structure générale d'un système PV couplé au réseau électrique

5.3.9.1. Charge-Réseau électrique :

La connexion de l'ensemble générateur PV, système de conditionnement de puissance et de charge résidentielle du consommateur est faite par le biais des systèmes de commande, de protection et de comptage. Le système de comptage d'énergie est bi-directionnel, il permet soit de soustraire de l'énergie du réseau (acheter), soit d'injecter de l'énergie (vendre).

Le point de livraison ou d'injection de la puissance PV dépend des principes exigés par la firme gérant le réseau électrique (Sonelgaz). Et l'EDF en France, le point de livraison est situé aux bornes aval du disjoncteur de branchement dans les lignes de basse tension. L'énergie injectée est mesurée au point de livraison. La mesure des énergies injectée et soutirée est distincte.

Le raccordement des différentes configurations des systèmes PV inter-échangeant est autorisé selon les modalités techniques de raccordement bien définies, dont le schéma de principe de l'une des configurations (injection des excédents de la production) est donné par figure ci-dessous. Les modalités de raccordement sont imposées pour la sécurisation, car les consommateurs PV influent sur les autres consommateurs non PV, ainsi que les lignes de distribution. Les normes aménageant ces connexions sont différentes d'un pays à l'autre.

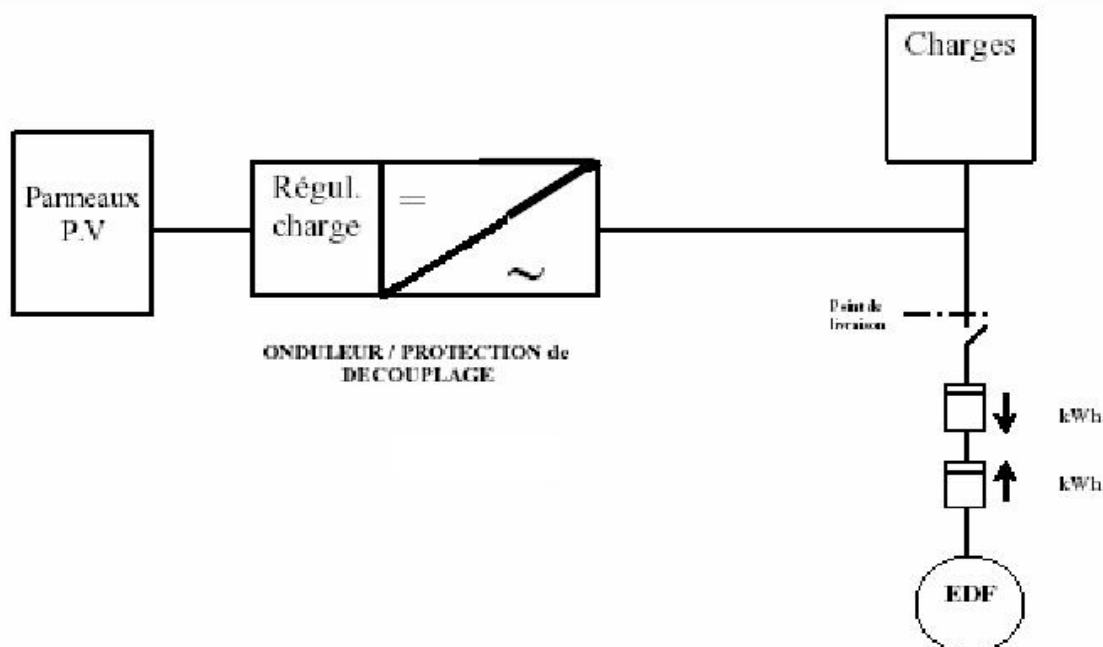


Figure 5.21. Schéma de principe du raccordement au réseau de l'une de configuration (injection des excédents de la production) source :SMUD 1998.

5.3.10. Normalisation :

Les conditions standard de qualification des modules photovoltaïques sont:

- Un spectre AM1.5 ;
- Un éclairement de 1000W/m^2 ;
- Une température de 25°C .

Les constructeurs de panneaux solaires spécifient les performances de leurs matériels dans les conditions normalisées citées ci-dessus (S.T.C. : Standard Test Conditions).

Unités utilisées

L'éclairement ou irradiance est défini comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en W/m^2 (watt par mètre carré). Le S.I. (système international d'unités) recommande d'utiliser le symbole E. L'irradiation ou rayonnement est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime en J m^{-2} (joule par mètre carré). L'ISES (International Solar Energy Society) recommande le symbole H. D'autres unités plus courantes sont le Wh/m^2 (wattheure par mètre carré) bien que

ce dernier ne doit pas être utilisé puisque n'appartenant pas au système international d'unités (SI).

Unités : Éclairement ou Irradiance G exprimé en W/m^2 .

Rayonnement, irradiation ou énergie incidente : H exprimé en Wh/m^2 ou J/m^2 .

Puissance générée : p exprimé en W .

5.3.11. Comparaison du rendement de deux conceptions différentes :

La figure 5.20 montre la différence entre le rendement des panneaux solaires photovoltaïques pendant une année, différemment conçus avec des inclinaisons différentes, la première étant verticale (conception acceptée par le promoteur), et l'autre conception est faite selon la latitude du lieu d'implantation du projet (Constantine $36^{\circ}17'$).

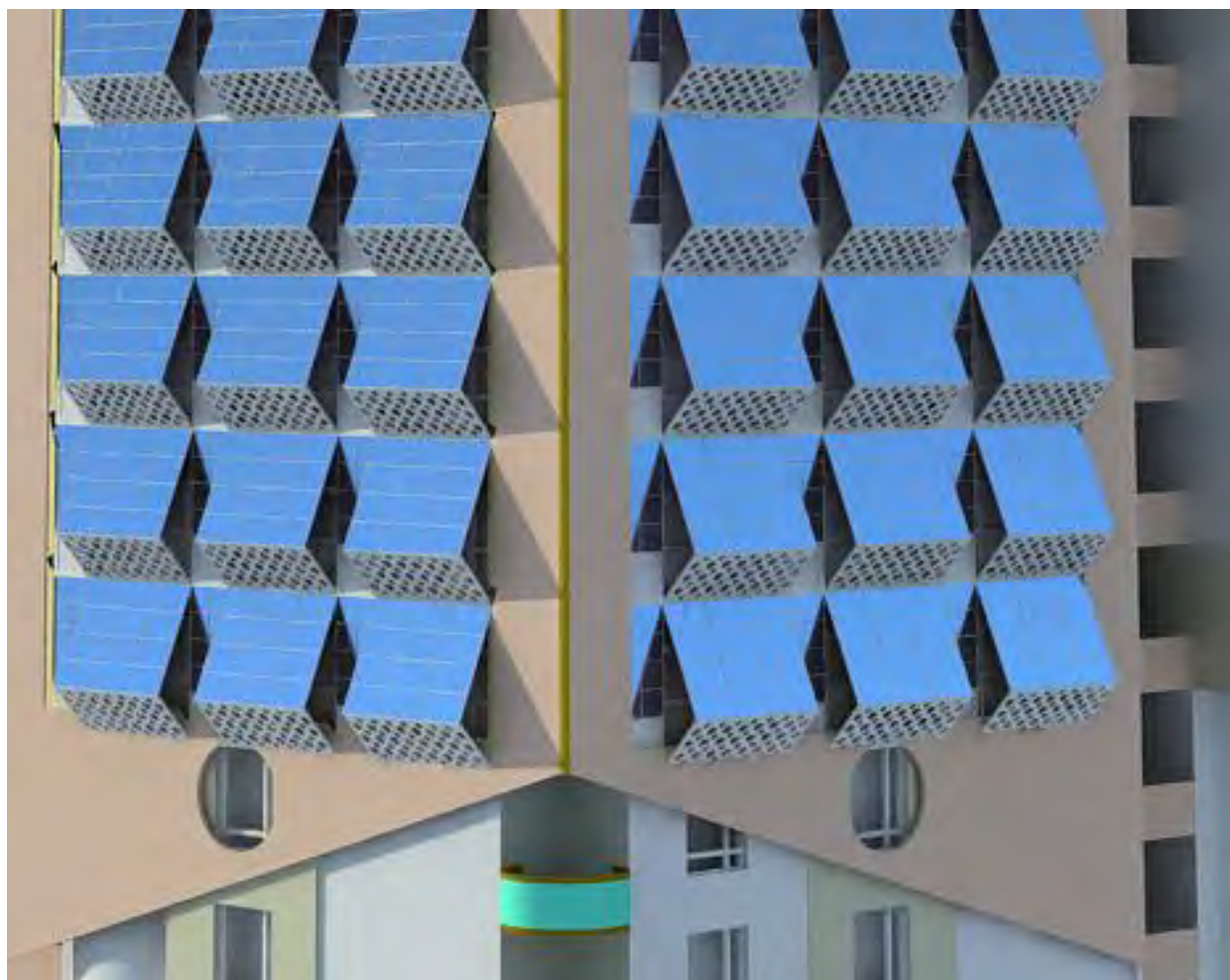


Figure 5.22. conception des panneaux à 36° , sud-ouest et nord-ouest. Source : Auteur.

Dans ce cas de figure, les panneaux solaires photovoltaïques peuvent faire l'objet d'une double peau, comme façade aérée, ce qui rajoute un rafraîchissement aux murs extérieurs, pendant l'été, et

éventuellement protéger les dipérditions de chaleur vers l'extérieur pendant la saison hivernale.

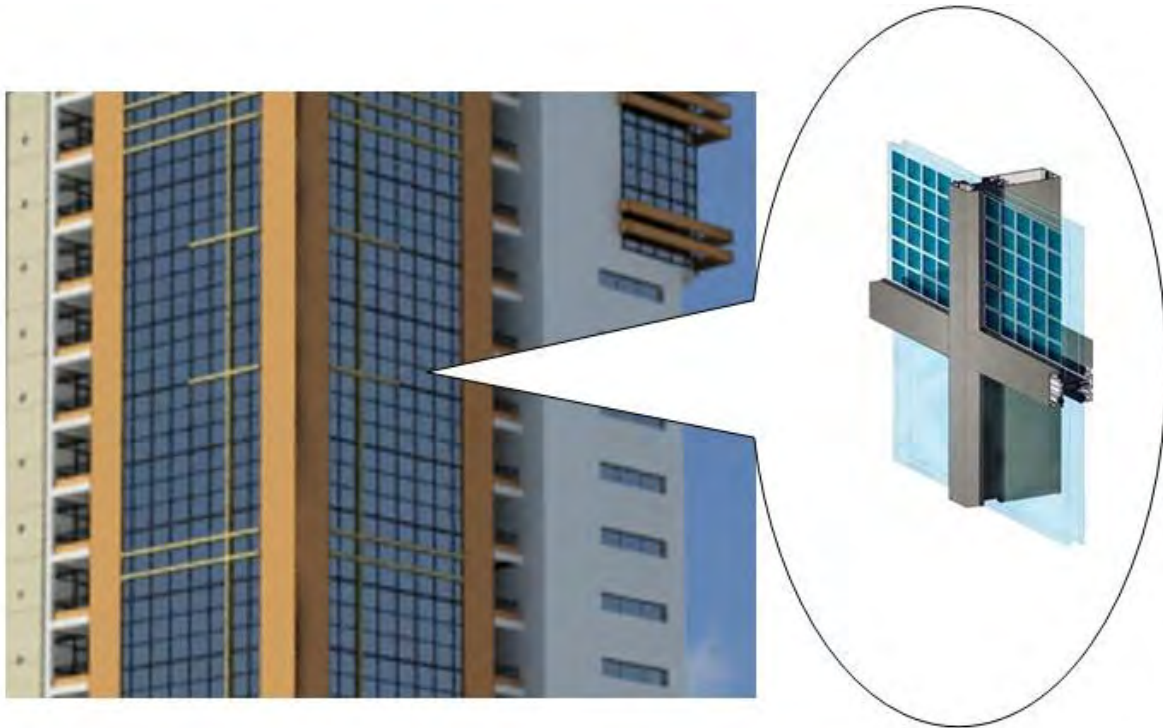


Figure 5.23. panneaux solaires intégrés aux façades Sud-ouest et Nord-ouest. Source : Auteur.

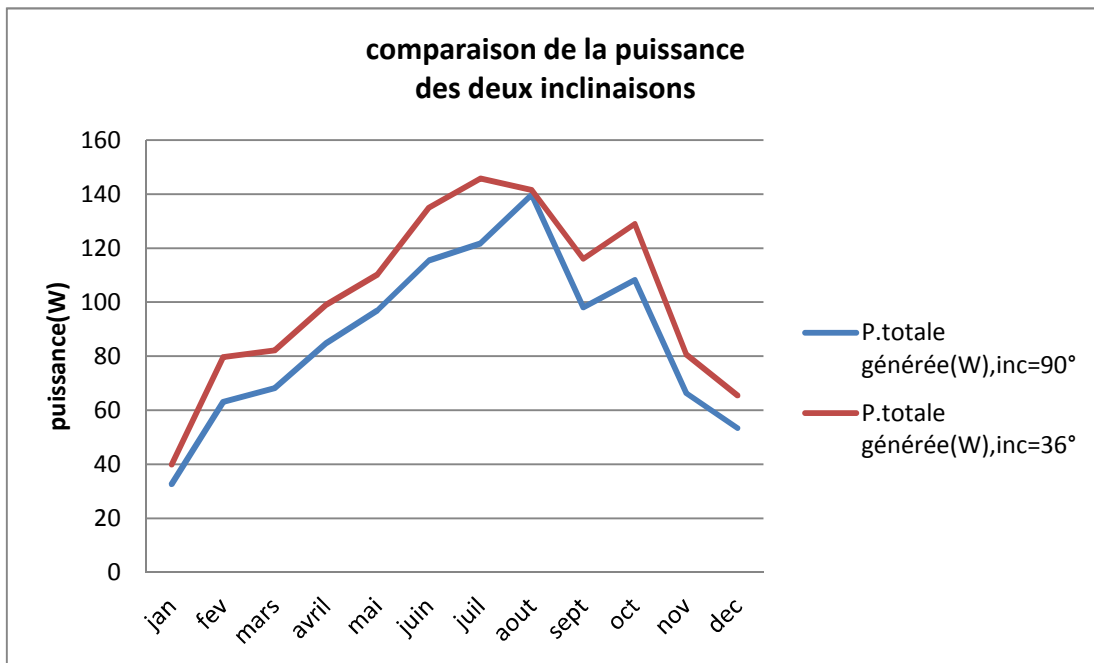


Figure 5.24. comparaison du rendement des panneaux avec des inclinaisons 90° et 36°. Source : Auteur.

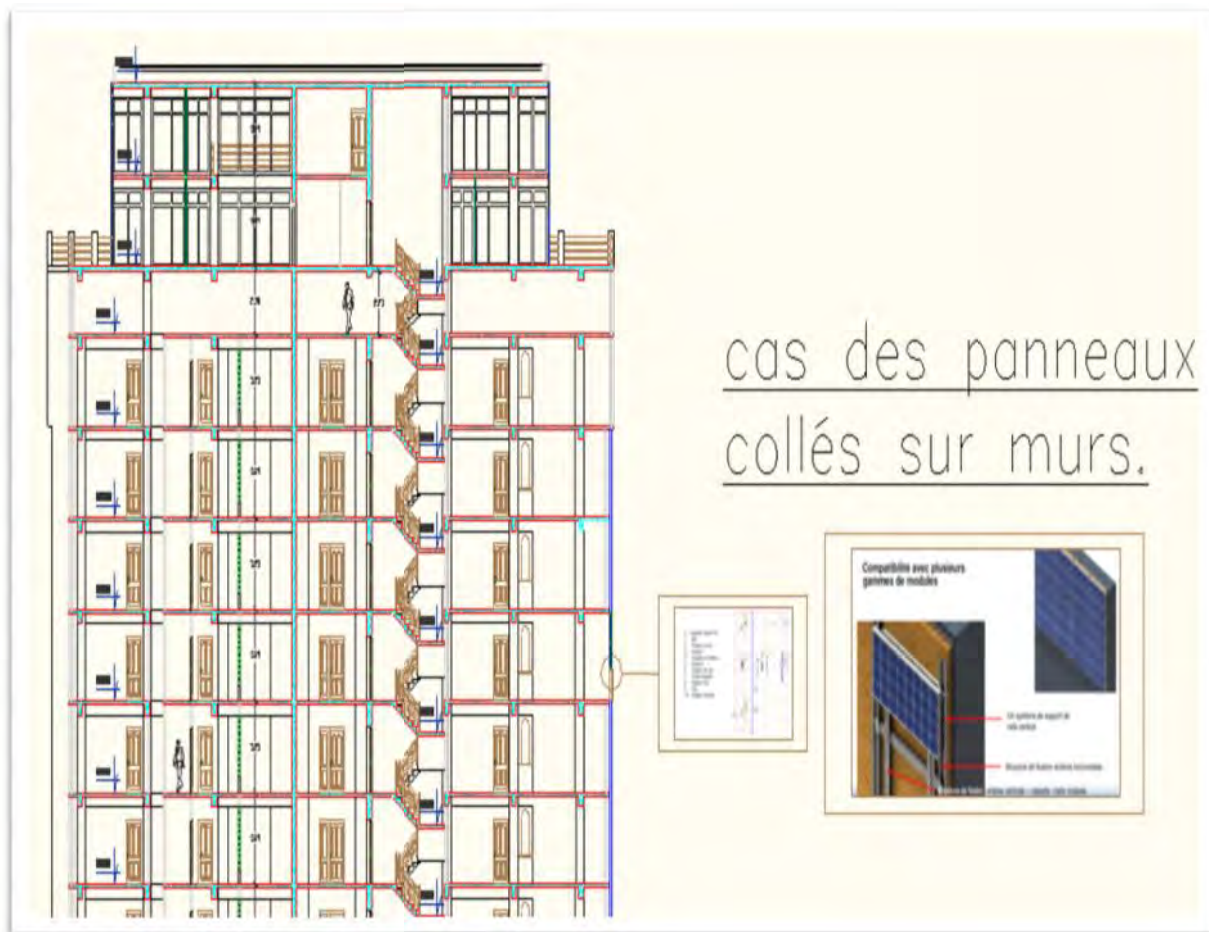


Figure 5.25. coupe sur les derniers étages, cas des panneaux solaires intégrés aux façades. Source : auteur.

5.3.12. Le schéma d'assemblage du panneau solaire:

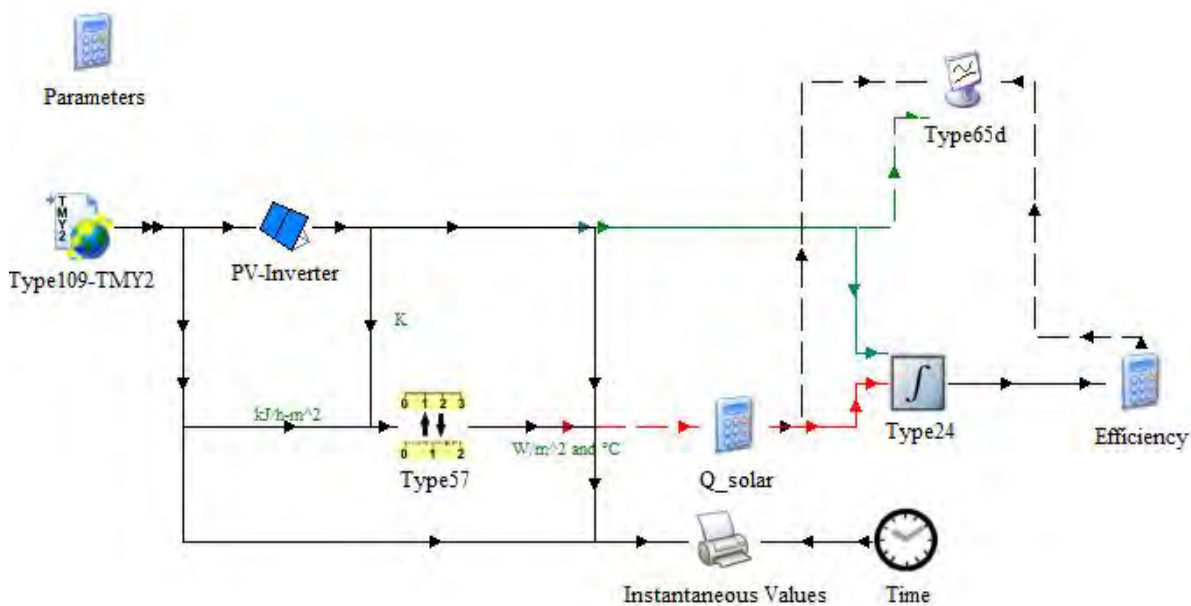


Figure 5.26. Assemblage pour les capteurs PV. Source : simulation studio, TRNSYS.

5.3.13. Les conditions de simulation :

- La quantité d'énergie électrique produite par les panneaux solaires, est inférieure à la quantité d'énergie produite.
- Les panneaux solaires prennent la surface des parois vitrées, sauf la surface des fenêtres oscillo-battantes (figure 5.20).
- Le panneau simulé sous TRNSYS, est une unité de surface de 0.89 m². Pour calculer l'énergie totale, il suffit de multiplier sa quantité par la surface totale de captage.
- L'orientation est celle du sud-ouest et nord-ouest, avec une inclinaison de 90°.
- Le type utilisé est celui de cinq paramètres, dans le langage TRNSYS, type « 194 inverter », technologie récente avec économie d'énergie.
- Le type utilisé et testé est le panneau photovoltaïque Amorphe, connu avec son rendement faible par rapport au mono ou poly cristallin (cas le plus défavorable).
- la puissance générée par les panneaux couvre largement la demande énergétique de l'appartement étudié (période hivernale).

5.3.14. : L'irradiation solaire reçue sur les panneaux. Orientation Sud-ouest

Tableau n° 5.9. Quantité des rayons solaires reçus par les panneaux, sur l'orientation Sud-ouest. Source : Auteur.

MOIS	Q-M en W/m ²	Q-M en KW/m ²
JANVIER	49 318.50	49.31
FEVRIER	96 901.45	96.90
MARS	89 827.94	89.82
AVRIL	100 106.53	101.10
MAI	100 903.45	100.90
JUIN	212 110.58	212.11
JUILLET	118 062.73	118.06
AOUT	128 236.06	128.23
SEPTEMBRE	120 910.55	120.91
OCTOBRE	157 758.92	157.75
NOVEMBRE	105 883.71	105.88
DECEMBRE	86 074.95	86.07
Q-NNUELLE	1 366 048.10	1366.04

5.3.15. L'irradiation solaire reçue par les panneaux. Orientation Nord-ouest :

Tableau n° 5.10. Quantité des rayons solaires reçus, sur l'orientation Nord-ouest. Source : Auteur.

MOIS	Q-M en W/m ²	Q-M en KW/m ²
JANVIER	18 184.02	18.18
FEVRIER	31 007.51	31.00
MARS	48 499.83	48.49
AVRIL	69 237.09	69.23
MAI	91 537.15	91.53
JUIN	111 682.57	111.68
JUILLET	110 455.74	110.45
AOUT	204 240.00	204.24
SEPTEMBRE	65 672.56	65.67
OCTOBRE	54 317.45	54.31
NOVEMBRE	30 057.98	30.05
DECEMBRE	22 720.89	22.72
Q-ANNUELLE	857 551.50	857.55

On constate effectivement que la quantité d'irradiation solaire captée au sud-ouest, est plus importante que celle du nord-ouest, ce qui est normal. l'orientation optimale est celle du plein Sud. Le schéma est clair sur l'histogramme ci-dessous.

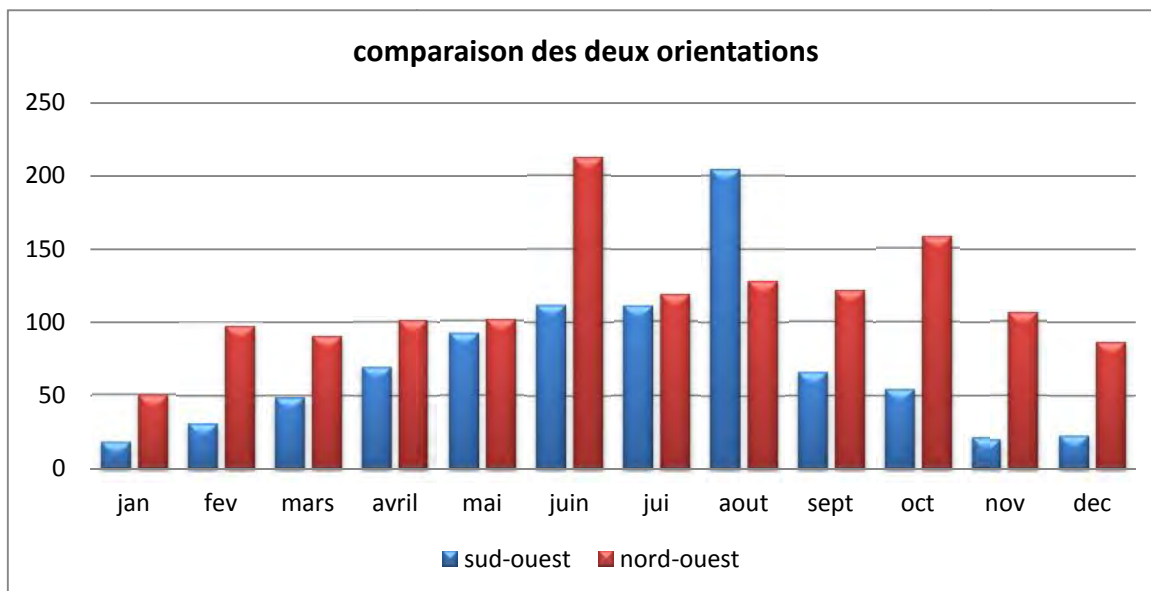


Figure 5.27.comparaison des quantités solaires reçues sur les deux orientations. Source : auteur.

5.3.16. la puissance générée par les panneaux photovoltaïques verticaux:

5.3.16.1. Orientation Sud-ouest :

Tableau 5.11. la comparaison entre le flux reçu et la puissance produite. Source : Auteur.

Mois	L'irradiation solaire reçue (KW/m2)	La puissance générée (KW)
Janvier	49.31	24.23
Février	96.90	48.64
Mars	89.82	45.02
Avril	100.10	50.59
Mai	100.90	50.88
Juin	212.11	57.19
Juillet	118.06	62.61
Aout	128.23	89.45
Septembre	120.91	64.72
Octobre	157.75	82.89
Novembre	105.88	53.07
Décembre	86.07	43.12
Total	1 366.04	772.68

5.3.16.2. Orientation Nord-ouest :

Tableau 5.12. la comparaison entre le flux reçu et la puissance produite. Source : Auteur.

Mois	L'irradiation solaire reçue kW/m2	La puissance générée (KW)
Janvier	18.18	8.45
Février	31.00	14.46
Mars	48.49	23.19
Avril	69.23	34.16
Mai	91.53	46.15
Juin	111.68	58.28
Juillet	110.45	59.11
Aout	124.24	50.30
Septembre	65.67	33.37
Octobre	54.31	25.37
Novembre	30.05	13.27
décembre	22.72	10.31
Total	857.55	376.42

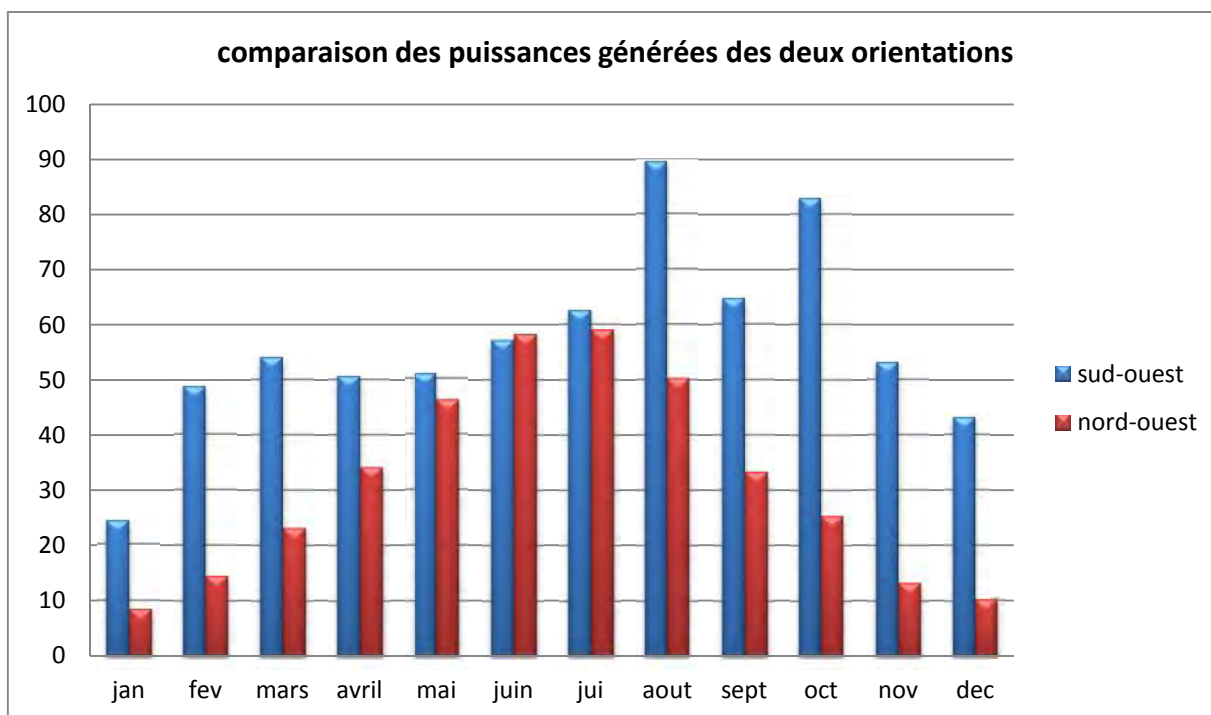


Figure 5.28.comparaison de la puissance générée des deux orientations

On constate que la quantité de puissance générée par le panneau solaire, est largement en dessous de la quantité d'irradiation solaire reçus sur les mêmes surfaces et cela est traduit par :

- Le choix du panneau solaire ; car le panneau photovoltaïque le plus efficace, est celui qui a un rendement élevé, les recherches actuelles penchent sur l'efficacité des cellules solaires à haut rendement et à coût réduit. Dans notre cas c'est le type amorphe qui connu par sa flexibilité et sa maniabilité certes, mais son faible rendement reste au-delà des panneaux poly cristallins où mono cristallins.
- Le choix de l'orientation, car le haut rendement est issu d'une orientation Sud, dans notre cas d'étude la tour est alignée sur les immeubles mitoyens, alors l'orientation de sa première façade est Sud-ouest et nord-ouest, formant un angle droit.
- Les panneaux solaires ont reçus un flux de rayonnement solaire et ont générés une puissance énergétique moindre, à cause de l'orientation et l'inclinaison et du type de cellules choisies.

5.4. Calcul de la consommation de l'électricité spécifique ¹¹:

On premier lieu, il faut calculer la consommation énergétique de l'appartement, comprenant l'électricité spécifique ainsi que l'électroménager.

Tableau 5.13. la consommation électrique spécifique d'un appartement de type F4. Source : CITHELIA. France.

Désignation des espaces	Surf/m2	Eclairage	Equipements électroménagers+TV+HI-FI	Efficace KWh/an
Cuisine	17.90	02 lampes LBC 60W	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Congélateur ▪ Réfrigérateur ▪ Lave-vaisselle ▪ Four de cuisine ▪ Plaque chauffante ▪ Micro-ondes ▪ Cafetière ▪ Cuiseur à vapeur ▪ Grille-pain ▪ Friteuse ▪ Hotte aspirante ▪ Lave linge 	255 150 160 180 120 40 30 10 15 10 20 120
			La consommation en Wh/m2	6 Wh/m²
CH. 1	14.70	02 lampes LBC 60 W	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ordinateur en Wifi 	/
CH.2	21.20	02 lampes LBC 60 W	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ordinateur en Wifi 	/
CH.3	15.90	02 lampes LBC 60 W	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ordinateur en Wifi 	/
Séjour+S-à-manger	55.40	06 lampes LBC 60 W	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TV ▪ Magnétoscope ▪ Démodulateur ▪ TEL-répondeur ▪ Hi-fi 	100 70 40 25 30
			La consommation en Wh/m2	0.55 Wh/m²
Hall	20.40	02 lampes LBC 60 W	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aspirateur ▪ Fer-à repassé 	15 30
			La consommation en Wh/m2	0.25 Wh/m²
Salle de bain	10.30	02 lampes LBC 60 W	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sèche-cheveux ▪ Plaque céramique 	15
			La consommation en Wh/m2	0.17Wh/m²
WC	4.90	01 lampe LBC 60 W	/	/
Terrasse	9.70	01 lampe LBC 60 W	/	/

¹¹ Source : CITHELIA-Expertise-France

Pour établir le bilan énergétique des appareils à alimenter, il faut :

- La tension d'alimentation : 12v, 24v, ou 48v.
 - La puissance instantanée.
 - Le nombre d'heures d'utilisation.
- ❖ En ce qui concerne l'éclairage de l'appartement, avec des lampes à incandescence de 60 w, on suppose des scénarios suivants:

le scénario d'été = 2 heures/journée

le scénario d'hivers = 3 heures/journée.

Donc on aura en totalité une consommation standard annuelle de : **1095 KWh/an.**

- ❖ En ce qui concerne les appareils électroménagers, les données mentionnées sur le tableau ci-dessous, sont dues aussi aux scénarios de fonctionnement.

Pour récapituler :

5.14. Tableau des consommations des appareils électriques .source : CITHELIA-Expertise, modification auteur.

Electricité spécifique	Standard (KWh/an)	Efficace (kWh/an)	Sobre (kWh/an)
Eclairage	1000-2400	450-600	400-540
Electroménager	2350	1325	1000
Cuisine	1325	940	580
Total en KWh	6075	2865	2120

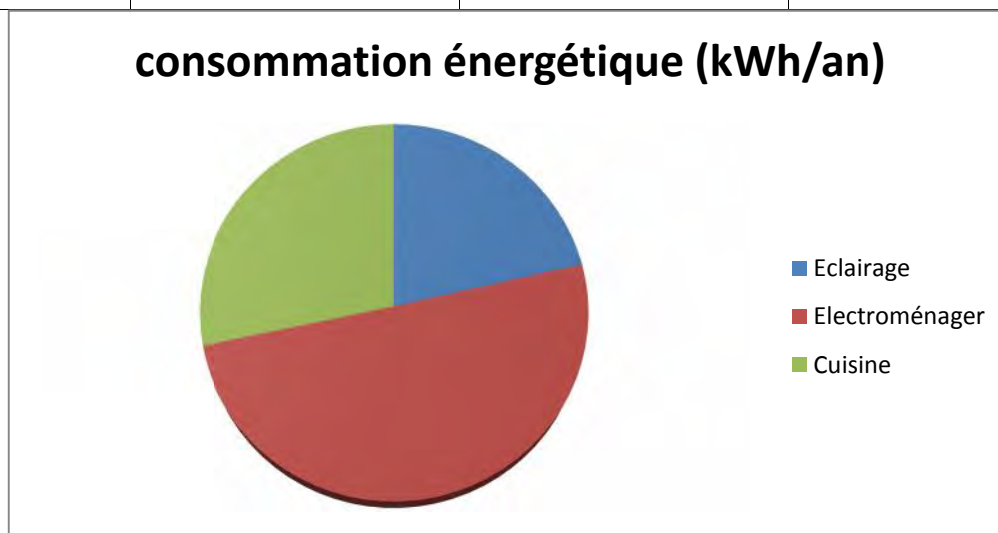


Figure 5.29.la consommation énergétique standards des appareils électriques.

- ❖ En deuxième temps, en change les ampoules incandescentes par des lampes LBC, de 25w et les appareils par d'autres plus efficaces de classe A et A⁺, on aura un gain important sur tout l'année.

5.5. ANALYSE DE L'EFFICACITE DU PANNEAU PENDANT UNE JOURNEE

5.5.1. Journée d'été :

la journée test est la plus ensoleillée, c.-à-d. la 173^{ème} journée, équivalente au solstice d'été, en langage TRNSYS au 4128h-4152h, dont la simulation a pris en compte tous les paramètres, sauf le chauffage, ce qui est normal, mais elle touche la consommation énergétique de :

- Eclairage ;
- Cuisson ;
- Electroménager ;
- la climatisation.

Résultats et Commentaires :

- ✓ Cuisson : on appliquant les ratios de SYTHELIA-expertise-France, 8W/m² pendant les trois heures de fonctionnement, ça donne : **4,08 kWh**.
- ✓ Pour l'éclairage de l'appartement avec des lampes LBC, et pendant les deux heures de fonctionnement dans la journée, la consommation est de : **1.2 kWh**.
- ✓ En ce qui concerne la consommation électrique journalière des électroménagers à basse consommation électrique, selon les ratios SYTHELIA-expertise-France : **3.63 kWh**.
- ✓ Climatisation : selon les données affichées sur le fichier Excel : la quantité énergétique demandée pour le rafraichissement pour les quatre zones (ch1, ch2, ch3, hall-séjour) :
 - **+52.28 kW/jour** pour les murs avec fenêtres.
 - **+68.52 kW/jour** pour les murs rideaux.
- ✓ la puissance énergétique générée par les panneaux aux orientations Sud-ouest et Nord-ouest, pendant la journée test (quatorze heures de fonctionnement) : 1138.01 W, et l'orientation Nord a pu générée une quantité = 1089.5 W, pour un champ de cinq panneaux en série, de 0.89 m². La surface des panneaux solaires est de : 0.89 x 5 = 4.45 m². Ce qui nous donne sur la façade sud-ouest, un champ de six (6) panneaux et sur la façade nord-ouest, cinq (5) panneaux, donc la puissance totale sera :

1138.01x6=6.82 KWh.

1089.50x5=5.44 KWh.

soit : **12.23 KWh** d'énergie produite par les panneaux solaires sur les deux orientations.

- ✓ Cette puissance générée couvre à peine la demande énergétique de l'électricité spécifique, donc, il est préférable faire appel à l'énergie d'appoint.

5.5.2. Journée d'hiver :

La journée la moins ensoleillée, car elle reçoit des rayons solaires pendant 10 heures dans la journée, c'est la 353^{ème} journée dans le mois de décembre, équivalente au solstice d'hiver, 8448-8471h, la simulation TRNSYS de cette journée a donné :

Résultats et Commentaires :

- ✓ Cuisson : on appliquant les ratios de SYTHELIA-expertise-France, 8W/m² pendant les trois heures de fonctionnement, ça donne : **4,08 kWh**.
- ✓ Pour l'éclairage de l'appartement avec des lampes LBC, et pendant les deux heures de fonctionnement dans la journée, la consommation est de : **1.7 kWh**.
- ✓ En ce qui concerne la consommation électrique journalière des électroménagers à basse consommation électrique, selon les ratios SYTHELIA-expertise-France : **2.93 kWh**.
- ✓ Climatisation : selon les données affichées sur le fichier Excel : la quantité énergétique demandée pour le rafraîchissement pour les quatre zones (ch1, ch2, ch3, hall-séjour) :
 - - **10.35 kW/jour** pour les murs avec fenêtres.
 - - **4.02 kW/jour** pour les murs rideaux.

5.5.3. Résultat final :

La simulation des deux journées d'étude des deux périodes différentes (estivale et hivernale), avec deux types de conceptions différentes, celle des murs rideaux et l'autre des murs classiques, a fait montrer que l'énergie produite par les capteurs photovoltaïques peut couvrir facilement le besoin énergétique de l'appartement étudié avec ses différents postes de consommation en matière d'éclairage, de la cuisson et des différents appareils électroménagers et éventuellement du chauffage des différentes zones thermiques. Et cela pour les murs rideaux. En ce qui concerne les murs classiques l'appartement a besoin du chauffage d'appoint.

Le problème se pose pendant la période estivale, là où les différentes zones demandent une quantité d'énergie pour se refroidir, que ce soit pour les murs rideaux qui nécessite une quantité un peu plus grande que celui des murs classiques. Ce qui devrait recourir à la climatisation d'appoint.

Il est important de signaler que ces deux variantes d'étude sont simulées dans le cas standard. Les détails techniques du vitrage, les caractéristiques thermiques de la peau extérieure, n'ont pas été pris en compte, elles peuvent participer largement au bilan énergétique de l'appartement.

5.6. Sobriété énergétique

L'utilisation des appareils électroménagers représente, dans les logements bien isolés, un poste de consommation plus important que le poste de chauffage. Par ailleurs, ces consommations sont en fortes hausses du fait de la multiplication des appareils du au besoin de confort et d'automatisation des tâches.

Une analyse permet de repérer les gisements d'économie et de proposer des solutions. Certaines sont strictement du ressort de l'utilisateur (choix des appareils), mais beaucoup de dispositions doivent être prises au moment de la conception du bâtiment. Ainsi, le premier poste de consommation d'électricité spécifique d'un logement est toujours lié à la production de froid ménager. La consommation des appareils de froid est directement liée à la température ambiante dans les locaux, et il vaut donc mieux mettre les congélateurs dans des locaux non chauffés. L'usage d'appareils performants permet en moyenne une économie de consommation de ce poste. Les autres postes de dépenses importantes sont l'éclairage. L'utilisation de lampes fluo-compactes peut permettre de diviser par 4 cette consommation et d'économiser en moyenne. On peut diminuer la consommation énergétique en matière d'électricité spécifique si opte pour des lampes LBC, en gagnant 47% de consommation (cas d'exemple d'Alger), Les postes suivants sont les sèche-linge, lave-vaisselle, lave-linge, téléviseurs viennent bien après. L'asservissement correct des circulateurs de chaudières murales peut diviser la consommation de celles-ci d'un facteur 3 et générer une quantité d'économie, Enfin, les consommations de veille de certains appareils ne sont pas négligeables. Parmi ces consommations il y a celle des TV mises en route au moyen de la télécommande (10 à 15 W en permanence, soit 100 kWh/an), celle des magnétoscopes (10 à 15 W), les décodeurs (10 à 12 W), les démodulateurs d'antenne satellite (14 ou 15 W), les chaînes Hifi (de 0 à 18 W). Rien que pour le site audio-télévisuel (TV, magnétoscope, etc.),

Ainsi que les appareils de chauffage et de climatisation doivent être de type « inverser » (économie d'énergie).

5.7. Conclusion :

En conclusion, on peut constater que la quantité d'énergie générée par les panneaux solaires

malgré, son orientation la moins performante, couvre largement la demande annuelle des différentes zones de notre l'appartement simulé.

L'efficacité des panneaux solaires et leurs rendement électrique, dépend généralement de :

- Ses dimensions ;
- Sa technologie ;
- Du rayonnement reçu ;
- De la durée d'exposition.

La puissance électrique d'un panneau photovoltaïque dépend principalement de la radiation solaire incidente, la température de la cellule, et l'angle d'incidence solaire. Les fabricants fournissent généralement que peu de données opérationnelles pour les panneaux photovoltaïques qui comprennent: tension en circuit ouvert (V_{oc}), le courant de court circuit (I_{sc}), la puissance maximale actuelle (I_{mp}) et de la tension (V_{mp}), les coefficients de température à la tension en circuit ouvert et court circuit (respectivement βV_{oc} et αI_{sc}), et la température nominale de fonctionnement des cellules (NOCT). Ces données ne sont disponibles que sous les conditions (STC), pour lequel l'éclairement énergétique est de 1000 W/m² et la température de la cellule (T_c) est de 25°C. l'orientation sud et l'inclinaison 36°, a donnée une puissance énergétique plus importante que les autres (verticale 90°).

Le but d'un appartement à basse consommation énergétique sous le climat de Constantine est faisable, à conditions que l'efficacité de cette conception doit impérativement passer par les principes simples de la conception bioclimatique, en associant, le recours aux énergies renouvelables, notamment l'énergie thermique et photovoltaïque pour le chauffage, climatisation et l'eau chaude sanitaire et enfin la production d'électricité qui fut l'objet de notre thèse. cette application est possible en alimentation directe du réseau de la Sonelgaz, sans stockage d'énergie. Et enfin cette efficacité ne se complète que par la sobriété énergétique et le mode de vie qui va avec.

La souplesse de l'architecture moderne peut apprivoiser facilement ces prouesses technologiques, les grands architectes ont on fait le cœur de leurs œuvres.

CONCLUSION GENERALE :

Les études à l'échelle du globe montrent que la consommation énergétique du secteur résidentiel et tertiaire se situe actuellement selon les pays aux alentours de 30 à 40% de la consommation totale. Cette consommation forte inégalement répartie dans le monde faisant largement appel aux combustibles fossiles, qui sont des ressources non renouvelables, (les scénarios optimistes prévoient l'épuisement des ressources en pétrole et en gaz à la fin du xxi^e siècle), on comprend la nécessité de réduire les besoins au minimum.

On pourrait citer de nombreux autres facteurs. Sans aller plus loin dans les données quantitatives, on voit aisément que construire des bâtiments à bas profil énergétique doit permettre d'économiser une énergie qui devient précieuse et de réduire les émissions de polluants, ce qui va effectivement dans le sens du développement durable. Une réflexion sur le jeu des acteurs participant au processus de projet ainsi que sur les usagers et usages faits de ces bâtiments est nécessaire à la réduction de l'empreinte écologique des opérations.

Toutes les échelles spatiales doivent être invoquées, de l'échelle des matériaux et technologies à l'échelle de la ville ou du fragment urbain, dans une approche éco systémique. En effet, l'appréhension des questions énergétiques doit aujourd'hui tenir compte d'une approche plus globale, visant l'intégration de la démarche climatique dans un développement urbain durable.

L'intégration des préoccupations environnementales, tant à l'échelle du projet architectural qu'à celle du projet urbain, doit nécessairement fortement influencer les habitudes des métiers de la conception. Il s'agit de s'écarter d'une recherche seulement focalisée sur l'optimisation des performances pour aller dans le sens d'une approche profession multidisciplinaire et plus professionnels. Au-delà du rapport que les préoccupations environnementales entretiennent avec les autres critères de conception, elles doivent aussi s'intégrer dans un système d'acteurs élargi et s'inscrire dans ce que nous pouvons appeler le processus de projet. Il est donc nécessaire que ces données génèrent de nouvelles pratiques pédagogiques et professionnelles.

Art subtil, certes, mais également service fondamental pour la vie des humains, l'architecture ne peut donc être durable que par la connaissance, acquise par les architectes, des milieux humain et physique concernés.

Introduire dans l'acte de conception du cadre bâti l'attitude et le langage scientifique (langage qui doit être actuellement commun à tous les professionnels de la conception, quel qu'en soit l'objet) est indispensable.

L'inventeur du concept d'architecture, Vitruve, autant physicien qu'architecte, la définissait comme science. Formulé par Alberti, le *voluptas* résulterait des *firmitas* et *commoditas*, ce dernier incluant le confort et la manière de l'atteindre.

Les usages thermiques de l'énergie solaire rencontrent un réel intérêt, moins pour des raisons économiques (la filière solaire est encore en phase de développement) que pour leurs capacités à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

Dans ce contexte, les propositions techniques, nouvelles et « innovantes », se développent sous l'impulsion d'entreprises qui, attirées par un marché en forte croissance et soucieuses de se différencier de la concurrence, ont la fâcheuse tendance à proposer des solutions pas toujours éprouvées où vouer à l'échec des fois (on trouve actuellement trop de commerçants dans le domaine sur solaire).

Il est indispensable que le concepteur, avant d'effectuer ses choix, revienne toujours aux règles de base. Cette attitude évitera bien des déconvenues et contribuera au développement harmonieux de l'énergie solaire.

Aujourd'hui, **le secteur du bâtiment** est responsable du quart des émissions de gaz à effet de serre. Peu à peu, la contribution de l'énergie solaire devient indispensable pour atteindre les objectifs de réduction fixés par les différents pays.

L'Algérie ainsi que les pays du Maghreb, peuvent exploiter via leurs situations géographiques qui se présentent comme des sudistes de l'hémisphère nord, de la quantité énorme du rayonnement solaire. L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur le quasi totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de $1700\text{ KWh/m}^2/\text{an}$ au Nord et $2263\text{ kWh/m}^2/\text{an}$ au Sud du pays.

L'Algérie avec ce potentiel, est tenue de penser sérieusement à la période d'après pétrole, la tâche est de taille, mais elle est indispensable pour la survie de notre génération future.

On peut constater clairement que les habitats traditionnels ruraux et urbains, caractérisés par leur grande efficacité énergétique, ont peu à peu été substitués par des bâtiments certes

« modernes », mais dont la performance énergétique s'est avérée très mauvaise, puisque les professionnels ont construit en ignorant les conditions climatiques et le niveau de performance thermique requis (certains architectes voient en cette approche comme un frein pour leurs imaginations).

Les constructions non performantes dans les pays en développement du pourtour méditerranéen datent des années 60 et 70, lorsque les États, parfois nouvellement indépendants, ont lancé de vastes programmes de construction, sans se préoccuper de l'efficacité énergétique des bâtiments. Les ZHUN et les grands ensembles en Algérie sont des preuves tangibles. Il est donc très probable que cette tendance relative à la hausse de la consommation énergétique de l'habitat s'accroisse. Il est important de souligner que l'inertie du secteur du bâtiment provient de sa diversité, une diversité d'acteurs tout d'abord, puisque le cycle de vie du bâtiment se divise en plusieurs étapes, toutes engageant de nombreuses professions et usagers, et ayant un impact direct ou indirect sur l'environnement : production des matériaux, transport des matériaux, construction du bâtiment, utilisation du bâtiment et déchets en fin de vie. Une habitation peut répondre à des exigences de confort mais aussi intégrer l'environnement tout au long de son cycle de vie c'est à dire de la construction jusqu'à la démolition.

Une politique d'efficacité énergétique pouvant influencer sur la première grâce à la performance énergétique de la construction (réglementation thermique), et sur la seconde grâce à la performance énergétique des équipements (labels), car, l'augmentation du niveau de vie des habitants entraînent une demande de confort plus élevée, due notamment à la généralisation de l'accès à l'électricité et se traduisant par une demande plus forte en appareils électroménagers.

Le bâtiment bioclimatique, à basse consommation sous le climat de Constantine est réalisable, si toute fois la thématique du logement BBC est élargie sur le concept général du bioclimatique, c'est-à-dire à partir d'une implantation réfléchie, une orientation optimale, un choix pertinent des matériaux, une isolation performante, jusqu'au recours aux énergies renouvelables sont autant de solutions à prendre en compte, pour réaliser des économies d'énergie et par la même occasion minimiser l'impact sur l'environnement d'un projet.

La simulation de l'appartement test (25^{ème} étage) a donné des résultats énergétiques positifs et elle peut donner plus, si on augmente les performances des matériaux utilisés, alors on

diminue la demande énergétique des différentes zones de l'appartement pendant les périodes froides (0-2992 h et 7305-8760 h) et chaudes (2993-7304 h).

L'énergie solaire active est obtenue par la conversion des rayonnements solaires en chaleur ou en électricité grâce à des capteurs solaires photovoltaïques. Le type PV inverter, fut le panneau simulé avec deux conceptions différentes, avec deux matériaux différents, il a pu générer une quantité énergétique importante pouvant couvrir largement, la demande en matière d'électricité spécifique et du chauffage de cette zone pendant la période hivernale.

En fin de compte, pour mieux gérer la consommation énergétique du bâtiment, la démarche de l'association française « négaWatt »¹ est un bon processus à suivre,

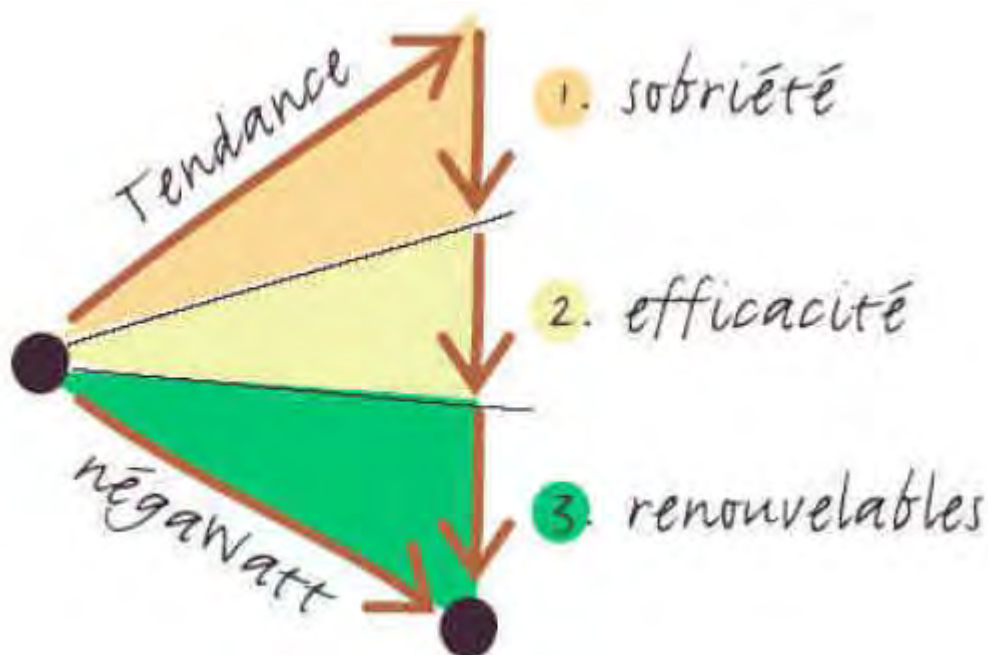


Figure6.1. illustration de la démarche de négaWatt. Source : Association négaWatt

« Donner la priorité à la réduction à la source de nos besoins en énergie tout en conservant notre qualité de vie. Mieux consommer au lieu de produire plus. Cette 'démarche négaWatt' s'appuie sur la sobriété énergétique dans nos usages individuels et collectifs de l'énergie, l'efficacité énergétique dans nos équipements et moyens de production, et un recours affirmé mais maîtrisé aux énergies renouvelables ».

L'importance d'une politique ambitieuse sur les nouvelles constructions (sobres, efficaces et éventuellement pourvues d'équipements de production d'énergie renouvelable), qui

¹ Disponible sur : www.negawatt.org. Consulté en juillet 2009.

constitueront le parc de logements de demain, apparaît donc comme essentielle. Les impératifs d'économie d'énergie ne feront que se renforcer et il est beaucoup plus facile d'atteindre de bonnes performances énergétiques lors de la construction de bâtiments neufs que lors de rénovations.

Investir dans les constructions à basse énergie en Algérie, est non seulement nécessaire, mais également profitable et rend tous les acteurs gagnants. Les bénéfices sont en effet nombreux : réduction drastique des factures énergétiques des consommateurs et accroissement de leur pouvoir d'achat, croissance économique de nouveaux secteurs de la construction, création d'emplois, mais aussi préservation le reste des combustibles fossiles, lutte contre les changements climatiques et valorisation potentielle future des émissions de CO₂ évitées dans un marché de plus en plus axé sur une économie du carbone.

Objectifs :

Un objectif clair :

- Concevoir et réaliser des bâtiments à Constantine et en Algérie, qui ne consomment pas plus qu'ils ne produisent.

Pour se faire, il faut passer par deux étapes :

- Réaliser des bâtiments à basse consommation (fixer le seuil en KWh/m².an dans le règlement thermique), tâche très difficile mais faisable.
- Arriver des bâtiments à énergie positive (fixer un délai).

Et effectuer quatre grandes actions :

- Convaincre les maîtres d'ouvrage (publics et privés) et éventuellement les occupants : un objectif sociétal et politique.
- Concevoir et expérimenter de nouveaux concepts pour les bâtiments neufs et pourquoi pas l'existants : un objectif architectural et culturel.
- Développer des composants industriels en rupture : un objectif technique (construire des usines des panneaux solaires en partenariat).
- Développer de nouveaux services énergétiques pour garantir la performance : un objectif de services (volet académique, professionnel..).

BIBLIOGRAPHIE

- 1- A.LIEBARD et A.DE HERDE, « traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique », éditions Systèmes Solaires, Paris.
- 2- B.GIVONI, « l'homme, l'architecture et le climat », éditions le moniteur, Paris, 1978.
- 3- D.WATSON et R.CAMOUS, « l'habitat bioclimatique », édition L'étincelle, Paris, 1986.
- 4- E.MAZRIA, « le guide de l'énergie solaire passive », édition Parenthèses, Roquevaire, 1981.
- 5- M.LE PAIGE, E.GRATIA et A.DE HERDE, « guide d'aide à la conception bioclimatique », éditions ED. Energie, Bruxelles, 1986.
- 6- P.LAVIGNE, « Architecture Climatique », éditions EDISUD, France, 1994.
- 7- J.L.IZARD, « Archi-bio », éditions Parenthèses, Roquevaire.
- 8- N.OULD-HENIA, M.MILAN ZAKER, M.N.DIB, « Recommandations Architecturales », éditions ENAG, Algérie, 1993.
- 9- C.JENCKS, « Mouvements modernes en architecture », éditions P.Mardaga, Belgique.
- 10- H.LOTZ et D.JACOB, « Essai de typologie de la maison solaire », éditions OPU, 1978.
- 11- T.FOGELMAN, « systèmes photovoltaïques pour les pays en développement », éditions A.M.I, 1982.
- 12- O.H.Koenigsberger, T.G.Ingersoll, ALAN Mayhew, S.V.Szokolay, « Manuel of tropical housing and building », editions Longman, London.
- 13- <http://ibgebim.be>
- 14- <http://www.cder.dz>.
- 15- D.WRIGHT, « Soleil, Nature, Architecture », éditions Parenthèses, 1979.
- 16- T.HERZOG, R.KRIPPNER et W.LANG, « Construire des façades », éditions DETAIL, Suisse.
- 17- S.MAZOUZ, « Eléments de conception architecturale », éditions OPU.
- 18- A.HAMMOU, « à propos de la conception architecturale », éditions OPU.
- 19- S.V.SZOKOLAY, « Environmental science handbook », editions the construction press, London.
- 20- P.GEVORKIAN, « Solar Power in building Design », editions Mc Graw Hill London.
- 21- Guide for European commission, « Planning and Installing Photovoltaic Systems », editions Earth scan. London.

- 22- R.GONZALO et K.J.HABERMANN, « Architecture et efficacité énergétique », Munich, 2006.
- 23- R.THOMAS, M.FORDHAM ET Partners « Photovoltaic's and Architecture », slonpress, London, UK.
- 24- G8 Summit 2007 Heiligendamm. *Growth and responsibility in the world economy. Summit declaration.* G8 Summit, 7 Juin 2007, disponible sur :
www.g-8.de/Content/EN/Artikel/__g8-summit/anlagen/2007-06-07.
- 25- P.EIFFERT, PH.D et G.J.KISS, " Building integrated photovoltaic designs for commercial and institutional structures." UK.
- 26- [http:// www.effinergie.org](http://www.effinergie.org).
- 27- C.JENCKS, « mouvement modernes en architecture», éditions P.Mardaga.Belgique.
- 28- CRISTIAN NGÔ, « Quelles Energie pour demain », commissariat à l'énergie atomique. Gestion INIS.
- 29- A.LABOURET et M.VILLOZ « Energie solaire photovoltaïque », le manuel du professionnel. Editions DUNOD.
- 30- F.ARNOLD, « le logement collectif », éditions le moniteur. France.
- 31- R.KRIPPNER : « Architektonische Aspekte solarer Energietechnik », traduit en Anglais. Edition Ratisbonne, 1999.
- 32- <http://www.iea.org>.
- 33- O.SIDLER, « Guide de recommandations et d'aide à la conception, logements à faibles besoins en énergie », Ademe, 2000.
- 34- EFFINERGIE, « Réussir un projet de bâtiment basse consommation », Guide éco-construction.
- 35- EFFINERGIE, « Règles Techniques de la marque Effinergie », 2008.
- 36- S.HOUPERT, « approche inverse pour la résolution des contraintes solaires », thèse de doctorat, 2006.
- 37- CREG, « Programme-indicatif-Electricité-2008-2017 »,2008.
- 38- M.DJARALLAH, « contribution à l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couplés au réseau électrique », thèse de doctorat en sciences, Batna, 2008.
- 39- A.JOFFRE, « énergie solaire thermique dans le bâtiment ».
- 40- CSTB, « guide technique : performances énergétiques des éléments opaques et transparents ».
- 41- Ministère de l'Energie et des Mines « guide des énergies renouvelables »,2007.

- 42- IEA, « Trends in photovoltaic applications », report IEA, 2008.
- 43- R.CARDIEGUES, « les immeubles à grande hauteur (IGH) »,2009.
- 44- APRUE, « le petit guide de la famille économe ».
- 45- ADEME, « l'électricité solaire photovoltaïque dans le bâtiment, avancées et réalisations ».2007.
- 46- LEON FRERIS et DAVID INFELD, « les énergies renouvelables pour la production d'électricité », DUNOD, 2009.
- 47- J.P BLUGEON, « Produire son électricité », ULMER, 2009.
- 48- M.DJABALLAH , « Contribution a l'étude des systèmes photovoltaïques résidentiels couplés aux réseau électrique », thèse de doctorat, 2006.
- 49- M.DERRADJI, « conception et modélisation de dispositif de ventilation et de rafraichissement passif utilisant les cheminées solaires couplées à un échangeur de chaleur sol-air », thèse de doctorat, 2008.

ANNEXE

1) Annexe 1 : LOI RELATIVE A L'ÉLECTRICITÉ ET LA DISTRIBUTION PUBLIQUE DU GAZ PAR CANALISATION (LOI N° 02-01 DU 05 FÉVRIER 2002, J.O N° 8)

La loi sur l'électricité et la distribution publique du gaz qui libéralise ce secteur a prévu des dispositions pour la promotion de la production d'électricité à partir des énergies renouvelables et son intégration au réseau.

C'est dans le cadre de la mise en œuvre de cette loi que le décret sur les coûts de diversification a été récemment promulgué. Il prévoit d'accorder des tarifs préférentiels pour l'électricité produite à partir des énergies renouvelables et la prise en charge du raccordement des installations y afférentes par le gestionnaire du réseau de transport et/ou de distribution à ses propres frais. La prime accordée peut aller jusqu'à 300% du tarif normal.

Le décret sur les coûts de diversification, promulgué dans le cadre de cette loi prévoit que pour l'électricité produite à partir d'installation utilisant de l'énergie solaire thermique par des systèmes hybrides solaire-gaz, la prime s'élève à 200% du prix par kwh de l'électricité élaboré par l'opérateur du marché défini par la même loi, et ceci quand la contribution minimale d'énergie solaire représente 25% de l'ensemble des énergies primaires.

Pour les contributions de l'énergie solaire inférieure à 25%, la dite prime est servie dans les conditions ci-après :

- Pour une contribution solaire 20 à 25% : la prime est de 180 %.
- Pour une contribution solaire 15 à 20% : la prime est de 160 %.
- Pour une contribution solaire 10 à 15% : la prime est de 140 %.
- Pour une contribution solaire 5 à 10% : la prime est de 100 %.
- Pour une contribution solaire 0 à 5% : la prime est nulle.

2) Annexe 2 : LOI RELATIVE A LA PROMOTION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES DANS LE CADRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

(LOI N° 04-09 DU 14 AOÛT 2004, J.O N° 52)

La loi sur la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable prévoit l'élaboration d'un programme national de promotion des énergies renouvelables.

Elle prévoit aussi des incitations pour le développement des énergies renouvelables et la mise en place d'un Observatoire National des Energies Renouvelables en charge de la promotion et du développement des énergies renouvelables.

3) Annexe 3 : LOI RELATIVE A LA MAÎTRISE DE L'ÉNERGIE (LOI N° 99-09 DU 28 JUILLET 1999, J.O N° 51)

Cette loi, adoptée en 1999, trace le cadre général de la politique nationale dans le domaine de la maîtrise de l'énergie et définit les moyens d'y parvenir. A cet effet, la promotion des énergies renouvelables y est inscrite comme l'un des outils de la maîtrise de l'énergie à travers les économies d'énergies conventionnelle qu'elle permet de réaliser.

L'article 33 de cette loi stipule que des avantages fiscaux et en termes de droits de douane peuvent être accordés aux projets œuvrant pour la promotion des énergies renouvelables.

Dans le cadre de cette loi un Fonds National de Maîtrise de l'Energie (FNME) a été institué. Il finance les projets de maîtrise de l'énergie.

Des actions touchant les énergies renouvelables sont prévues pour être financées dans ce cadre au titre du plan National de Maîtrise de l'Energie (PNME) 2006-2010. Il s'agit d'opérations touchant les secteurs résidentiel et tertiaire. Il s'agit pour le secteur tertiaire, de l'installation de 400 chauffe-eaux solaires pour la production d'eau chaude sanitaire. Pour le secteur résidentiel, les actions concernent 20 opérations d'installation d'équipements solaires pour la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage. L'ensemble du programme dans son volet énergies renouvelables, permet de réaliser des économies de 6 GWH pour un investissement de 90 millions de dinars.

4) Annexe 4 : LES DONNEES DE SIMULATION THERMIQUE DE L'APPARTEMENT EN DETAIL :

- ✓ TRNBUILD 1.0.94
- ✓ BUILDING DESCRIPTIONS FILE TRNSYS
- ✓ FOR BUILDING: D:\Tour\25EtageB.inf
- ✓ GET BY WORKING WITH TRNBuild 1.0 for Windows
- ✓ C O M M E N T S
- ✓ P R O J E C T
- TITLE= CONSTANTINE
- DESCRIPTION= TOUR R+30
- CREATED= AZOUZ KABOUCHE

- ADDRESS= LABORATOIRE ABE
- CITY= CONSTANTINE
- SWITCH= UNDEFINED

* P R O P E R T I E S:

DENSITY=1.204: CAPACITY=1.012: HVAPOR=2454.0: SIGMA=2.041e-007:
RTEMP=293.15

➤ **alpha calculation:**

KFLOORUP=7.2: EFLOORUP=0.31: KFLOORDOWN=3.888: EFLOORDOWN=0.31
KCEILUP=7.2: ECEILUP=0.31: KCEILDOWN=3.888: ECEILDOWN=0.31
KVERTICAL=5.76: EVERTICAL=0.3

TYPES

➤ **L a y e r s**

LAYER CARRELAGE

CONDUCTIVITY= 6.13: CAPACITY= 0.7: DENSITY= 2300

LAYER MORTIER

CONDUCTIVITY= 4.15: CAPACITY= 0.84: DENSITY= 200

LAYER PLACO_BA13

CONDUCTIVITY= 1.15: CAPACITY= 0.8: DENSITY= 790

LAYER BET_LOU040

CONDUCTIVITY= 6.318: CAPACITY= 0.92: DENSITY= 2300

LAYER HOURD12BET

CONDUCTIVITY= 4.8: CAPACITY= 6.48: DENSITY= 1300

LAYER POL_EXP

CONDUCTIVITY= 0.15: CAPACITY= 1.38: DENSITY= 25

LAYER PARNING_20

CONDUCTIVITY= 0.7: CAPACITY= 0.65: DENSITY= 1300

LAYER ENDUIT_EXT

CONDUCTIVITY= 4.15: CAPACITY= 1: DENSITY= 1700

LAYER ENDUIT_INT

CONDUCTIVITY= 1.264: CAPACITY= 1: DENSITY= 1500

LAYER BRIQ25

CONDUCTIVITY= 1.119: CAPACITY= 0.794: DENSITY= 720

➤ **I n p u t s**

INPUTS CH_CH2

➤ **Schedules**

SCHEDULE SCHED1

HOURS =0.000 7.000 22.000 24.0

VALUES=0 1. 0 0

SCHEDULE SCHED2

HOURS =0.000 16.000 24.0

VALUES=0 1. 1.

➤ **Walls**

WALL PLANCHER

LAYERS = CARRELAGE MORTIER BET_LOU040 HOURD12BET PLACO_BA13

THICKNESS= 0.01 0.05 0.04 0.12 0.013

ABS-FRONT= 0.6 : ABS-BACK= 0.6

HFRONT = 11: HBACK= 64

WALL PLAFOND

LAYERS = PLACO_BA13 HOURD12BET BET_LOU040 MORTIER CARRELAGE

THICKNESS= 0.013 0.12 0.04 0.05 0.01

ABS-FRONT= 0.6 : ABS-BACK= 0.6

HFRONT = 11: HBACK= 64

WALL MUR_EXT

LAYERS = PLACO_BA13 POL_EXP PARPING_20 ENDUIT_EXT

THICKNESS= 0.013 0.07 0.2 0.02

ABS-FRONT= 0.6 : ABS-BACK= 0.6

HFRONT = 11: HBACK= 64

WALL CLOISON

LAYERS = ENDUIT_INT BRIQ25 ENDUIT_EXT

THICKNESS= 0.025 0.25 0.025

ABS-FRONT= 0.6 : ABS-BACK= 0.6

HFRONT = 11: HBACK= 11

➤ **Windows**

WINDOW DOUBLE

WINID=2001 : HINSIDE=11 : HOUTSIDE=64 : SLOPE=90 : SPACID=0 : WWID=0 :

WHEIG=0 : FFRAME=0.15 : UFRAME=8.17 : ABSFRAME=0.6 : RISHADE=0 :

RESHADE=0 : REFLISHADE=0.5 : REFLOSHADE=0.1 : CCISHADE=0.5

WINDOW DBLEPEUEAR

WINID=5001 : HINSIDE=11 : HOUTSIDE=64 : SLOPE=90 : SPACID=0 : WWID=0 :
WHEIG=0 : FFRAME=0.15 : UFRAME=8.17 : ABSFRAME=0.6 : RISHADE=0 :
RESHADE=0 : REFLISHADE=0.5 : REFLOSHADE=0.1 : CCISHADE=0.5

➤ **Default Gains**

GAIN PERS_ISO02

CONVECTIVE=156: RADIATIVE=78: HUMIDITY=0.081

GAIN COMPUTER04

CONVECTIVE=690: RADIATIVE=138: HUMIDITY=0

GAIN LIGHT01_01

CONVECTIVE=86.4: RADIATIVE=129.6: HUMIDITY=0

GAIN LIGHT01_02

CONVECTIVE=118.8: RADIATIVE=277.2: HUMIDITY=0

GAIN LIGHT01_03

CONVECTIVE=108: RADIATIVE=162: HUMIDITY=0

GAIN LIGHT01_04

CONVECTIVE=115.2: RADIATIVE=172.8: HUMIDITY=0

GAIN PERS_ISO01

CONVECTIVE=144: RADIATIVE=72: HUMIDITY=0.059

GAIN LIGHT06_05

CONVECTIVE=SCHEDULE 1782*SCHED2: RADIATIVE=SCHEDULE 1782*SCHED2:
HUMIDITY=0

GAIN PERS_ISO05

CONVECTIVE=216: RADIATIVE=108 : HUMIDITY=0.139

GAIN LIGHT01_06

CONVECTIVE=0: RADIATIVE=108 : HUMIDITY=0

➤ **Other Gains**

➤ **Comfort**

➤ **Infiltration**

INFILTRATION INFIL1

AIRCHANGE=0.6

➤ **Ventilation**

VENTILATION VENT001

TEMPERATURE=OUTSIDE

AIRCHANGE=3

HUMIDITY=OUTSIDE

➤ **Cooling**

COOLING CLIM

ON=26

POWER=999999999

HUMIDITY=100

➤ **Heating**

➤ **Zones**

ZONES : CHAMBRE, SJ_SM, CHAMBRE2, CHAMBRE3, CUISINE, SANITAIRE.

➤ **Orientations**

ORIENTATIONS NORTHWEST SOUTHWEST

BUILDING

▪ **Zone CHAMBRE / Airnode CHAMBRE**

WALL =CLOISON : SURF= 1: AREA= 9.8: ADJACENT=SJ_SM: FRONT

WALL =CLOISON : SURF= 2: AREA= 12.88: ADJACENT=SJ_SM: FRONT

WALL =PLANCHER : SURF= 6: AREA= 15.66: BOUNDARY=17

WALL =CLOISON : SURF= 8: AREA= 9.8: ADJACENT=CHAMBRE2: BACK

WALL =PLAFOND : SURF= 13: AREA= 15.66: BOUNDARY=17

WALL =MUR_EXT SURF= 56: AREA=0.1: EXTERNAL: ORI=NORTHWEST:

FSKY=0.5: GEOSURF=0.1

WINDOW=DBLEPEUEAR: SURF= 57: AREA= 10.7: EXTERNAL:

ORI=NORTHWEST: FSKY=0.5

REGIME

GAIN = PERS_ISO02: SCALE= 3

GAIN = COMPUTER04: SCALE= 1

GAIN = LIGHT01_01: SCALE= 1

INFILTRATION= INFIL1

VENTILATION = VENT001

COOLING = CLIM

CAPACITANCE = 52.8 : VOLUME= 44 : TINITIAL= 20 : PHINITIAL= 50 :

WCAPR= 1

▪ **Zone SJ_SM / Airnode SJ_SM**

WALL =CLOISON : SURF= 3: AREA= 9.8: ADJACENT=CHAMBRE: BACK

WALL =CLOISON : SURF= 4: AREA= 12.88: ADJACENT=CHAMBRE: BACK

WALL =PLANCHER: SURF= 5: AREA= 55.6: BOUNDARY=IDENTICAL
 WALL =CLOISON : SURF= 10: AREA= 4.62: ADJACENT=CHAMBRE2: BACK
 WALL =PLAFOND : SURF= 12: AREA= 55.6: BOUNDARY=IDENTICAL
 WALL =CLOISON : SURF= 16: AREA= 10.95: ADJACENT=CHAMBRE3: BACK
 WALL =CLOISON : SURF= 33: AREA= 3.36: ADJACENT=CUISINE: BACK
 WALL =CLOISON : SURF= 38: AREA= 11.34: ADJACENT=CUISINE: BACK
 WALL =CLOISON : SURF= 42: AREA= 21.42: BOUNDARY=IDENTICAL
 WALL =CLOISON : SURF= 43: AREA= 10.36: ADJACENT=SANITAIRE: FRONT
 WALL =CLOISON : SURF= 45: AREA= 5.04: ADJACENT=SANITAIRE: FRONT
 WALL =CLOISON : SURF= 51: AREA= 9.38: BOUNDARY=IDENTICAL
 WALL =CLOISON : SURF= 52: AREA= 26.18: BOUNDARY=IDENTICAL
 WALL =MUR_EXT : SURF= 53: AREA= 6.41: EXTERNAL: ORI=NORTHWEST:
 FSKY=0.5: GEOSURF=0.2
 WINDOW=DOUBLE : SURF= 54: AREA= 2.97: EXTERNAL: ORI=NORTHWEST:
 FSKY=0.5
 REGIME
 GAIN = COMPUTER04: SCALE= 1
 GAIN = LIGHT01_02: SCALE= 1
 COOLING = CLIM
 CAPACITANCE = 264 : VOLUME= 220 : TINITIAL= 20 : PHINITIAL= 50 :
 WCAPR= 1

▪ **Zone CHAMBRE2 / Air node CHAMBRE2**

WALL =CLOISON : SURF= 7: AREA= 9.8: ADJACENT=CHAMBRE: FRONT
 WALL =CLOISON : SURF= 9: AREA= 4.62: ADJACENT=SJ_SM: FRONT
 WALL =PLANCHER : SURF= 11: AREA=27.22: BOUNDARY=15
 WALL =PLAFOND : SURF= 14: AREA=27.22: BOUNDARY=15
 WALL =MUR_EXT : SURF= 19: AREA= 3.93: EXTERNAL: ORI=NORTHWEST:
 FSKY=0.5: GEOSURF=0.2
 WINDOW=DBLEPEUEAR: SURF= 20: AREA= 9.23: EXTERNAL:
 ORI=NORTHWEST: FSKY=0.5
 WALL =MUR_EXT : SURF= 21: AREA= 4.04: EXTERNAL: ORI=SOUTHWEST:
 FSKY=0.5: GEOSURF=0.3
 WINDOW=DBLEPEUEAR: SURF= 22: AREA= 10.8: EXTERNAL:
 ORI=SOUTHWEST: FSKY=0.5

WALL =CLOISON : SURF= 24: AREA= 10.36: ADJACENT=CHAMBRE3: BACK
REGIME

GAIN = LIGHT01_03 : SCALE= 1

INFILTRATION= INFIL1

VENTILATION = VENT001

COOLING = CLIM

CAPACITANCE = 91.45 : VOLUME= 76.21 : TINITIAL= 20 : PHINITIAL= 50 :
WCAPR= 1

▪ **Zone CHAMBRE3 / Air node CHAMBRE3**

WALL =CLOISON : SURF= 15: AREA= 10.95: ADJACENT=SJ_SM : FRONT

WALL =PLAFOND : SURF= 17: AREA= 13.51: BOUNDARY=17

WALL =PLANCHER : SURF= 18: AREA=13.51: BOUNDARY=17

WALL =CLOISON : SURF= 23: AREA= 10.36: ADJACENT=CHAMBRE2: FRONT

WALL =MUR_EXT : SURF= 25: AREA= 0.4: EXTERNAL: ORI=SOUTHWEST:
FSKY=0.5: WAGAIN=0.3

WINDOW=DBLEPEUEAR: SURF= 34: AREA= 10.66: EXTERNAL:
ORI=SOUTHWEST: FSKY=0.5

WALL =PLAFOND : SURF= 26: AREA= 13.51: BOUNDARY=17

WALL =PLANCHER : SURF= 27: AREA= 13.51: BOUNDARY=17

WALL =CLOISON : SURF= 31: AREA= 9.52: ADJACENT=CUISINE: BACK
REGIME

GAIN = PERS_ISO02: SCALE= 3

GAIN = COMPUTER04: SCALE= 1

GAIN = LIGHT01_04: SCALE= 1

INFILTRATION= INFIL1

VENTILATION = VENT001

COOLING = CLIM

CAPACITANCE = 45.38 : VOLUME= 37.82 : TINITIAL= 20 : PHINITIAL= 50 :
WCAPR= 1

▪ **Zone CUISINE / Air node CUISINE**

WALL =PLAFOND : SURF= 28: AREA= 18.45: BOUNDARY=15

WALL =PLANCHER : SURF= 29: AREA= 18.45: BOUNDARY=15

WALL =CLOISON : SURF= 30: AREA= 9.52: ADJACENT=CHAMBRE3: FRONT

WALL =CLOISON : SURF= 32: AREA= 3.36: ADJACENT=SJ_SM: FRONT

WALL =MUR_EXT : SURF= 35: AREA= 3.62: EXTERNAL: ORI=SOUTHWEST:
 FSKY=0.5: GEOSURF=0.3
 WINDOW=DBLEPEUEAR: SURF= 36: AREA= 7.02: EXTERNAL:
 ORI=SOUTHWEST: FSKY=0.5
 WALL =CLOISON : SURF= 37: AREA= 11.34: ADJACENT=SJ_SM: FRONT
 WALL =MUR_EXT : SURF= 39: AREA= 2.8: EXTERNAL: ORI=SOUTHEAST:
 FSKY=0.7: GEOSURF=0.1
 WINDOW=DBLEPEUEAR: SURF= 55: AREA= 7: EXTERNAL: ORI=SOUTHEAST:
 FSKY=0.5: ISHADE=1: ESHADE=0.5
 WALL =CLOISON : SURF= 48: AREA= 3.19: ADJACENT=SANITAIRE: BACK
 REGIME
 GAIN = PERS_ISO01: SCALE= SCHEDULE 2*SCHED1
 GAIN = COMPUTER04: SCALE= SCHEDULE 1*SCHED2
 GAIN = LIGHT06_05: SCALE= 1
 INFILTRATION= INFIL1
 VENTILATION = VENT001
 COOLING = CLIM
 CAPACITANCE = 61.99 : VOLUME= 51.66 : TINITIAL= 20 : PHINITIAL= 50 :
 WCAPR= 1

▪ **Zone SANITAIRE / Airnode SANITAIRE**

WALL =PLAFOND : SURF= 40: AREA= 9.95: BOUNDARY=IDENTICAL
 WALL =PLANCHER : SURF= 41: AREA= 9.95: BOUNDARY=IDENTICAL
 WALL =CLOISON : SURF= 44: AREA= 10.36: ADJACENT=SJ_SM: BACK
 WALL =CLOISON : SURF= 46: AREA= 5.04: ADJACENT=SJ_SM: BACK
 WALL =CLOISON : SURF= 47: AREA= 3.19: ADJACENT=CUISINE: FRONT
 WALL =CLOISON : SURF= 49: AREA= 77: BOUNDARY=IDENTICAL
 WALL =MUR_EXT : SURF= 50: AREA= 10.36: EXTERNAL: ORI=SOUTHWEST:
 FSKY=0.5
 REGIME
 GAIN = PERS_ISO05: SCALE= 1
 GAIN = LIGHT01_06: SCALE= 1
 INFILTRATION= INFIL1
 COOLING = CLIM

CAPACITANCE = 33.43 : VOLUME= 27.86 : TINITIAL= 20 : PHINITIAL= 50 :
 WCAPR= 1

▪ **Outputs**

TRANSFER : TIMEBASE=1.000

AIRNODES = SJ_SM CHAMBRE CHAMBRE2 CHAMBRE3 CUISINE SANITAIRE

NTYPES = **1: TAIR - air temperature of zone**

= **2: QSENS - sensible energy demand of zone, heating (-), cooling (+)**

AIRNODES = CHAMBRE 1

NTYPES = 64: SURF = 57, QSGI - solar rad. absorbed on all panes of window

AIRNODES = CHAMBRE2

NTYPES = 64: SURF = 22, 20, QSGI - solar rad. absorbed on all panes of window

AIRNODES = CHAMBRE3

NTYPES = 64: SURF = 34, QSGI - solar rad. absorbed on all panes of window

AIRNODES = CUISINE

NTYPES = 64: SURF = 36, 55, QSGI - solar rad. absorbed on all panes of window

* E n d

***** WALL TRANSFERFUNCTION CALCULATIONS *****

WALL TYPE PLANCHER

THERMAL CONDUCTANCE, U=17.75726 kJ/h m²K; U-Wert=2.68288 W/m²K

(Incl. alpha _i =7.7 W/m² K and alpha _o=25 W/m² K)

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	6.9907455E+01	4.1042863E-05	6.8795297E+01	1.0000000E+00
1	-1.3797549E+02	2.6429072E-02	-1.4735606E+02	-1.7371874E+00
2	8.6037525E+01	2.1954267E-01	1.0699776E+02	9.1042459E-01
3	-1.8691098E+01	2.3532378E-01	-3.1286017E+01	-1.4906218E-01
4	1.2752067E+00	4.5073682E-02	3.4844248E+00	5.5816400E-03
5	-2.5867085E-02	1.4316573E-03	-1.0810362E-01	-3.0959823E-05
6	1.1129333E-04	5.6370840E-06	5.4991526E-04	1.5955273E-08
7	-5.1885880E-08	1.7805020E-09	-2.7202767E-07	
SUM	5.2784754E-01	5.2784754E-01	5.2784754E-01	2.9725723E-02

WALL TYPE PLAFOND

THERMAL CONDUCTANCE, U= 17.75726 kJ/h m2K; U-Wert= 2.68288 W/m2K
(incl. alpha_i=7.7 W/m^2 K and alpha_o=25 W/m^2 K)

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	6.8795297E+01	4.1042863E-05	6.9907455E+01	1.0000000E+00
1	-1.4735606E+02	2.6429072E-02	-1.3797549E+02	-1.7371874E+00
2	1.0699776E+02	2.1954267E-01	8.6037525E+01	9.1042459E-01
3	-3.1286017E+01	2.3532378E-01	-1.8691098E+01	-1.4906218E-01
4	3.4844248E+00	4.5073682E-02	1.2752067E+00	5.5816400E-03
5	-1.0810362E-01	1.4316573E-03	-2.5867085E-02	-3.0959823E-05
6	5.4991526E-04	5.6370838E-06	1.1129333E-04	1.5955273E-08
7	-2.7202754E-07	1.7805602E-09	-5.1886121E-08	
SUM	5.2784754E-01	5.2784754E-01	5.2784754E-01	2.9725723E-02

WALL TYPE MUR_EXT

THERMAL CONDUCTANCE, U= 1.30123 kJ/h m2K; U-Wert= 0.34053 W/m2K
(incl. alpha_i=7.7 W/m^2 K and alpha_o=25 W/m^2 K)

TRANSFER FUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	5.6420614E+01	3.4391796E-09	1.0834168E+01	1.0000000E+00
1	-1.5510897E+02	1.0159931E-04	-3.0186799E+01	-1.9626513E+00
2	1.5447667E+02	3.2595462E-03	3.0962968E+01	1.2481737E+00
3	-6.7308502E+01	1.0270095E-02	-1.4194969E+01	-2.9062791E-01
4	1.2304112E+01	6.2711125E-03	2.7946089E+00	2.1452108E-02
5	-7.7521889E-01	8.5673947E-04	-1.9247264E-01	-3.7511083E-04
6	1.2114094E-02	2.4937565E-05	3.2892432E-03	1.1601604E-06
7	-3.4054345E-05	1.3545326E-07	-9.9890399E-06	
8	1.7481228E-08	1.1987559E-10	5.2932765E-09	
SUM	2.0784169E-02	2.0784169E-02	2.0784169E-02	1.5972729E-02

WALL TYPE CLOISON

THERMAL CONDUCTANCE, U= 4.01258 kJ/h m2K; U-Wert= 0.93705 W/m2K
(incl. alpha_i=7.7 W/m^2 K and alpha_o=25 W/m^2 K)

TRANSFERFUNCTION COEFFICIENTS

K	A	B	C	D
0	6.3561202E+01	1.8013090E-05	4.5644160E+01	1.0000000E+00
1	-1.3490095E+02	2.0671554E-02	-9.1909862E+01	-1.3269315E+00
2	9.5003102E+01	1.8790759E-01	5.9932167E+01	4.9351492E-01
3	-2.5453664E+01	2.0566241E-01	-1.4269499E+01	-5.4447985E-02
4	2.2996657E+00	4.0198796E-02	1.0792737E+00	1.4806031E-03
5	-5.3714902E-02	1.3980584E-03	-2.0452693E-02	-7.3396578E-06
6	2.2452774E-04	7.2455950E-06	7.6265466E-05	
7	-1.1061527E-07	4.2804885E-09	-4.0934633E-08	
SUM	4.5586367E-01	4.5586367E-01	4.5586367E-01	1.1360868E-01

REQUIRED INPUTS

InpNr	Label	Unit	Input description	Old label
1	TAMB	C	ambient temperature	TAMB
2	RELHUMAMB	%	relative ambient humidity	ARELHUM
3	TSKY	C	fiktive sky temperature	TSKY
4	IT- northwest	Kj/h.m2	incident radiation for orientation northwest	ITNORTHWES
5	IT- southwest	Kj/h.m2	incident radiation for orientation southwest	ITSOUTHWES
6	IT- southeast	Kj/h.m2	incident radiation for orientation southeast	ITSOUTHEAS
7	IB- northwest	Kj/h.m2	incident beam radiation for orientation northwest	IBNORTHWES
8	IB- southwest	Kj/h.m2	incident beam radiation for orientation southwest	IBSOUTHWES
9	IB- southeast	Kj/h.m2	incident beam radiation for orientation southeast	IBSOUTHEAS
10	AI- northwest	degrees	angle of incidence for orientation northwest	AINORTHWES
11	AI- southwest	degrees	angle of incidence for orientation southwest	AISOUTHWES

12	AI- southeast	degrees	angle of incidence for orientation southeast	AISOUTHEAS
13	CH-CH2	any	input	CH-CH2

DESIRED OUTPUTS

Out Nr	label	unit	Znr	zone	surf Nr	Output description
1	TAIR_SJ_SM	C	2	SJ-SM		air temperature of zone
2	TAIR_CHAMBRE1	C	1	CH1		air temperature of zone
3	TAIR_CHAMBRE2	C	3	CH2		air temperature of zone
4	TAIR_CHAMBRE3	C	4	CH3		air temperature of zone
5	TAIR_CUISINE	C	5	CUI		air temperature of zone
6	TAIR_SANITAIRE	C	6	SAN		air temperature of zone
7	QSENS_SJ_SM	kJ/h	2	SJ-SM		sens. energy demand of zone, heating(-), cooling(+)
8	QSENS_CH1	kJ/h	1	CH1		sens. energy demand of zone, heating(-), cooling(+)
9	QSENS_CH2	kJ/h	3	CH2		sens. energy demand of zone, heating(-), cooling(+)
10	QSENS_CH3	kJ/h	4	CH3		sens. energy demand of zone, heating(-), cooling(+)
11	QSENS_CUI	kJ/h	5	CUI		sens. energy demand of zone, heating(-), cooling(+)
12	QSENS_SAN	kJ/h	6	SAN		sens. energy demand of zone, heating(-), cooling(+)
13	QSG_L_S57	kJ/h	1	CH1	57	solar abs. on all window panes win=dblepeuear:ori=northwest
14	QSG_L_S22	kJ/h	3	CH2	22	Solar abs. on all window panes win=dblepeuear:ori=southwest
15	QSG_L_S20	kJ/h	3	CH3	20	Solar abs. On all window panes win=dblepeuear:ori=northwest
16	QSG_L_S34	kJ/h	4	CUI	34	solar abs. on all window panes win=dblepeuear:ori=southwest
17	QSG_L_S36	kJ/h	5	SAN	36	solar abs. on all window panes

						win=dblepeuear:ori=southwest
18	QSG_L_S55	kJ/h	5	SAN	55	solar abs. on all window panes win=dblepeuear:ori=southeast

THERMAL CONDUCTANCE OF USED WALL TYPES

(incl. $\alpha_i=7.7 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ and $\alpha_o=25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$)

WALL PLANCHER U= 2.683 W/m²K

WALL PLAFOND U= 2.683 W/m²K

WALL MUR_EXT U= 0.341 W/m²K

WALL CLOISON U= 0.937 W/m²K

N.B : la simulation annuelle est partagée sur deux périodes, la saison hivernale qui s'étale entre : 0h-3216h, 6888h-8760h, et la saison estivale entre :3216h-6888h.

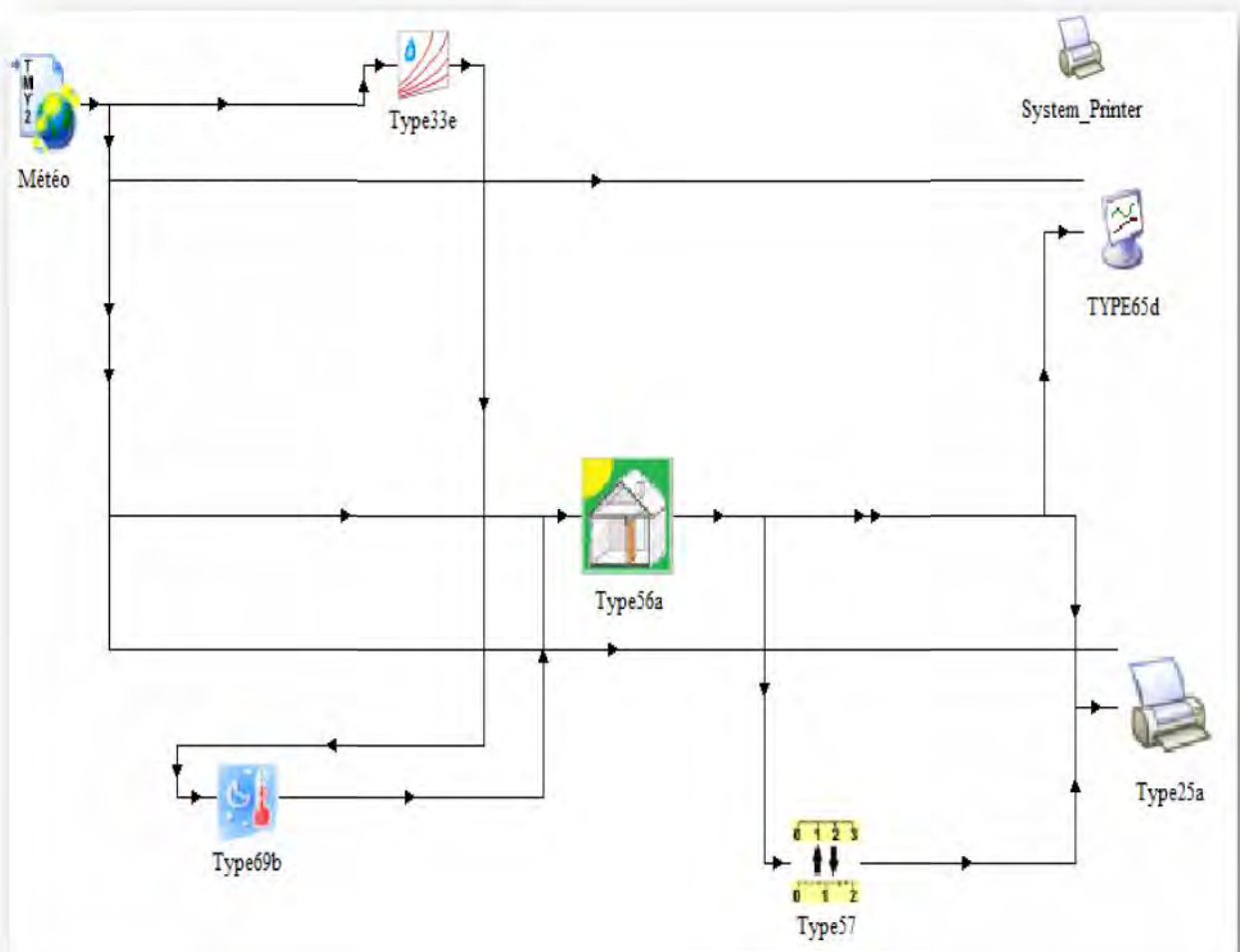


Schéma de simulation du type 56.

Annexe 5 : LES DONNEES DE SIMULATION DU PANNEAU SOLAIRE :

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
13	Module temperature at NOCT	313				K More...
14	Ambient temperature at NOCT	293				K More...
15	Insolation at NOCT	800				W/m ² More...
16	Module area	0.89				m ² More...
17	tau-alpha product for normal incidence	0.95				- More...
18	Semiconductor bandgap	1.12				any More...
19	Value of parameter a at reference conditions	1.9				- More...
20	Value of parameter I_L at reference conditions	5.4				amperes More...
21	Value of parameter I_0 at reference	0				amperes

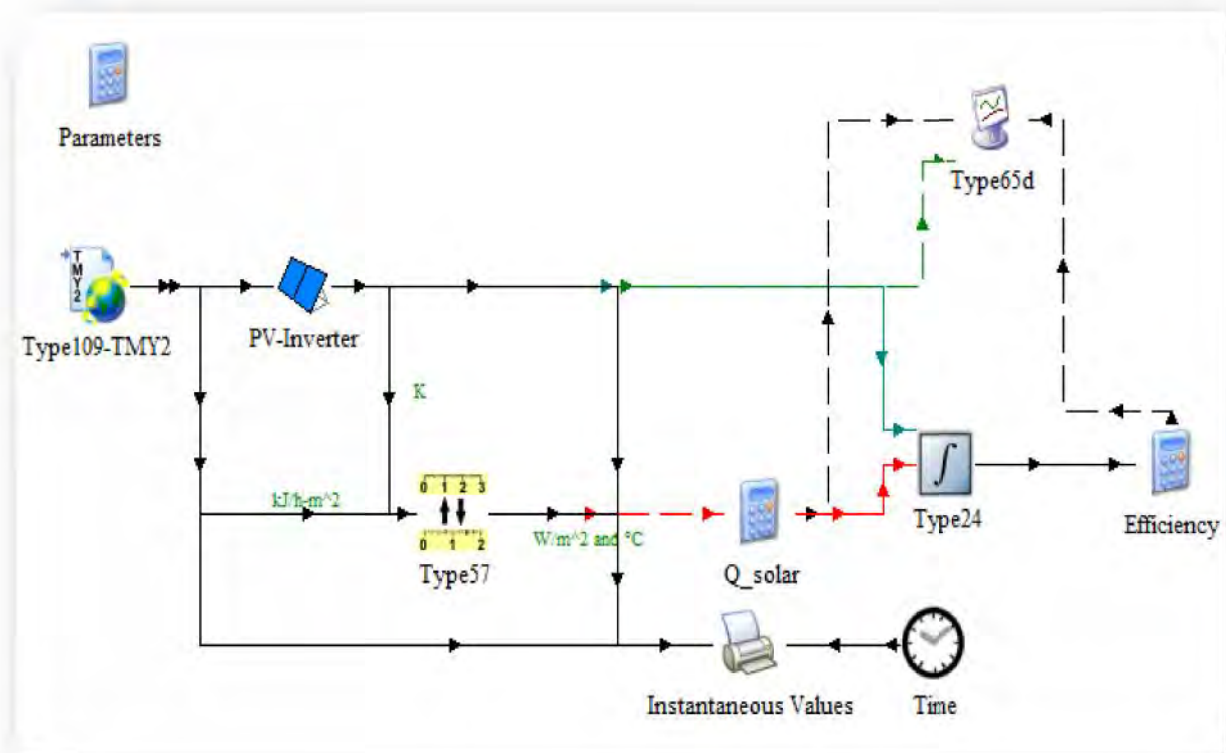


Schéma de simulation du type PV194 inverter.

Après le lancement de la simulation studio du panneau solaire, sous le climat de Constantine, pendant les 8760 heures, et sur les deux directions sud-ouest et nord-ouest, Les fichiers attachés Excel ont donnés les résultats suivants :

RESUME :

Deux des défis majeurs pour notre siècle sont la lutte contre le changement climatique et la diversification des sources d'énergies que nous utilisons actuellement. Dans cette optique, les énergies renouvelables ont indiscutablement un rôle important à tenir. Une architecture énergétiquement efficace suppose un bon équilibre entre les mesures en faveur des économies d'énergie et celles mises en œuvre pour la produire. Le bâtiment qui fut l'un des consommateurs d'énergie, dont le secteur du logement consomme presque 46% de l'énergie totale produite en Algérie.

Ce chiffre va aller grandissant avec la généralisation de l'utilisation de la climatisation et les électroménagers. Dans ce contexte et dans l'objectif de limiter les besoins en énergie pour préserver l'environnement, il est primordial de bien concevoir ces bâtiments et de les équiper de systèmes basés sur les énergies renouvelables.

L'Algérie est un pays de vaste superficie, elle occupe une situation géographique qui favorise le développement et l'épanouissement de l'utilisation de l'énergie solaire, et l'expansion du photovoltaïque dans notre pays passera impérativement par le développement des applications connectées au réseau tel qu'il se fait ailleurs à travers le monde. Les systèmes de production d'électricité solaire photovoltaïque sont fiables, sans danger et d'une mise en œuvre très aisée. Les architectes algériens peuvent jouer un rôle crucial dans le développement de ces applications. Car, le potentiel du BTPH est très important en Algérie.

Le concept de cette technologie est introduit au tout début de la procédure de conception (a l'amont)d'une tour IGH-Z de R+30 à Constantine, dont un de ses appartements (25° étage) est simulé dans l'environnement du logiciel TRNSYS.16, avec des panneaux photovoltaïques « PV inverter » afin de répondre aux besoins énergétiques de l'appartement notamment l'électricité à usage spécifique.

Mots clés : conception, énergie, simulation, panneau photovoltaïque.

SUMMARY:

Two major challenges for this century are the battle against climate change and the diversification of energy sources we use now. In this context, renewable energy has an undeniably important role to play. The building was one of energy consumers. An energy efficient architecture requires a good balance between measures for energy savings and those implemented to produce it. The housing sector has consumed 46% of the total energy produced in Algeria.

This figure will go with the growing widespread use of air conditioning and appliances. In this context and in order to limit the energy requirements to preserve the environment, it is essential to properly design the houses and to equip them with systems based on renewable energy.

Algeria is a country of vast area, it occupies a position that favors the development and growth of the use of solar energy, photovoltaic and expansion in our country will be through the development of connected applications the network as it is elsewhere around the world. Production systems for solar photovoltaic electricity are reliable, safe and a very easy implementation. The Algerian architects can play a crucial role in the development of these applications. The potential of BTPH is very important in Algeria.

The concept of this technology is introduced very early in the process of designing a high-rise building Z-R 30 in Constantine, which one of its apartments is simulated in the software environment TRNSYS.16, with photovoltaic panels "PV inverter" to meet the energy needs of the apartment on electricity for specific use.

Keywords: design, energy, simulation, photovoltaic.

الموجز:

تحديين رئيسيين لهذا القرن هي المعركة ضد تغير المناخ، وتنويع مصادر الطاقة التي نستخدمها الآن. في هذا السياق، والطاقة المتجددة دورا هاما لا يمكن إنكاره للعب. وكان مبنى واحد من مستهلكي الطاقة. بنية كفاءة في استخدام الطاقة يتطلب توازنا جيدا بين التدابير اللازمة لتوفير الطاقة وتلك التي نفذت لإنتاجه. قد استهلك قطاع الإسكان 46% من إجمالي الطاقة المنتجة في الجزائر.

وهذا الرقم يذهب مع استخدام واسع الانتشار المتزايد للتكييف الهواء والأجهزة المنزلية. في هذا السياق، وبغية الحد من الاحتياجات من الطاقة للحفاظ على البيئة، من الضروري لتصميم المنازل وبشكل صحيح لتزويدهم الأنظمة القائمة على الطاقة المتجددة.

الجزائر بلد من منطقة واسعة، فإنه يحتل موقعا الذي يخدم التنمية والنمو في استخدام الطاقة الشمسية، والكهروضوئية والتوسع في بلدنا لن يكون من خلال تطوير تطبيقات متصلة الشبكة كما هو الحال في أماكن أخرى في جميع أنحاء العالم. نظم إنتاج الطاقة الشمسية لتوليد الكهرباء هو موثوق بها وأمنة، وتطبيق سهلة للغاية. يمكن للمهندسين المعماريين الجزائريين تلعب دورا حاسما في تطوير هذه التطبيقات. لإمكانات BTPH مهم جدا في الجزائر.

وعرض مفهوم هذه التكنولوجيا في وقت مبكر جدا في عملية تصميم بناية شاهقة Z-30R في قسنطينة، والتي واحدة من الشقق التي هي محاكاة في بيئة البرمجيات 16.TRNSYS، مع ألواح الخلايا الشمسية "PV العاكس" لتلبية احتياجات الطاقة في شقة على الكهرباء من أجل استخدامات معينة.

كلمات البحث: تصميم، والطاقة، والمحاكاة، والخلايا الكهروضوئية.