



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique

Département d'Automatique

Laboratoire de Commande des Processus



Laboratoire de Commande des Processus

Projet de fin d'étude
en vue de l'obtention du diplôme
d'Ingénieur d'état en Automatique

**Optimisation énergétique et commandes
hybrides d'un Bâtiment à Energie Positive**

Réalisé et rédigé par :

AYADI Mohamed Zakaria

DJELLOULI Mounir

Proposé et encadré par:

Pr F. BOUDJEMA

Pr D. BOUKHETALA

ENP 2011

Ecole Nationale Polytechnique – 10, Avenue Hassan BADI, El Harrach, Alger, Algérie BP 182

Tél. : +213 21 521494 / +213 21 525303 Fax : +213 21 522973

Remerciements

A Mr F.BOUDJEMA et Mr D.BOUKHETALA pour nous avoir encadré et dirigé tant bien sur le plan technique que pédagogique,

A Mr E.M.BERKOUK, Mr M.TADJINE, Mr E.CHKIREB, Mr C.LARBES pour les directives et les orientations qui nous ont été bénéfiques,

A Mr O.STIHI pour ses conseils tout au long de notre séjour à l'ENP,

A Toute l'équipe du Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrés au Bâtiment,

A MmeS.Boulhares de Siemens Algérie,

A Mr. M. Mansour Maître de conférence à l'USTHB,

A tout le personnel de l'incubateur de Sidi Abdellah,

A tout les enseignants du Génie Electrique,

Aux enseignants de l'ENPEI Rouiba,

Aux amis qui nous ont aidés dans ce travail, Houdaïfa, Ishak, Rachid et Saïd,

Puissent ces personnes trouver l'expression de notre sincère gratitude.


Dédicace

A ceux qui ont partagé mon passé,

A ceux qui partagent mon présent,

Et à ceux qui partageront mon futur,

*Avec une pensée particulière pour ceux qui
partageront les trois.*



AMAAI
Mohamed Zakaria

Dédicace

A mes chers parents,

A mes chers frères et sœurs,

A mes inoubliables amis,

Mounir DJELLOULI

ملخص : يقدم في هذه الوثيقة مستجدات المباني ذات الطاقة الايجابية مع تحديد التكنولوجيات المناسبة في بناء مثل هذه المواقع في الجزائر. وقدم نموذج مع الأخذ في عين الاعتبار الجوانب المعمارية والمادية للبناء من أجل تصميم ألواح تجميع الطاقة الشمسية المزودة له. وقد تم تحسين وتوفير الطاقة المزودة عن طريق ألواح شمسية كهروضوئية بواسطة تقنية تتبع الطاقة القصوى وتحويلها إلى إشارة حبيبية ثلاثية الاطوار باستخدام تقنية تعديل عرض النبضة للاتصال بالشبكة الكهربائية. و أخيراً، لتجنب هدر الطاقة، عرض نظام إدارة المباني لتحسين الطاقة المستهلكة في التحكم في الحرارة والإضاءة.

الكلمات المفتاحية : مبنى ذو طاقة ايجابية، مبنى ذكي، الطاقة الكهروضوئية، نظام الإدارة التقنية للمباني، التحكم الضبابي، تقنية تتبع الطاقة القصوى، المحول مستمر-مستمر، المحول مستمر-متناوب، إيصال مبنى ذو الطاقة الايجابية بالشبكة الكهربائية.

Résumé Dans ce travail, un état de l'art sur les bâtiments à énergie positive est présenté en vue de leur construction éventuelle en Algérie. Une modélisation a été faite, en prenant en considération les aspects architectural et physique du bâtiment, dans l'objectif de la commande et du dimensionnement des capteurs solaires. L'énergie fournie par les panneaux photovoltaïques a été optimisée par MPPT et le signal ondulé par PWM pour le raccordement au réseau du bâtiment. Finalement, dans un souci d'économie d'énergie, la Gestion Technique du Bâtiment a été introduite pour optimiser l'énergie consommée dans la régulation thermique et celle de l'éclairage.

Mots clés : Bâtiment à énergie positive, Gestion Technique du Bâtiment, énergie solaire, convertisseurs d'électronique de puissance, MPPT, logique floue, raccordement au réseau d'un Bâtiment à Energie Positive.

Abstract In this document, a state of the art on energyplus buildings is presented along with appropriate technologies in the construction of such sites in Algeria. A model was made taking into account the architectural and physical aspects of the building in order to design solar collectors. The energy supplied by photovoltaic panels has been optimized by MPPT and the output signal transformed to a three phase sine signal using the PWM for the grid connection of the building. Finally, to avoid energy waste, the Building Management System was introduced to optimize the energy consumed in the heat and lighting control.

Keywords : Energyplus building, Building Management System, solar energy, power electronics converters, MPPT, fuzzy logic, Grid connection of an EnergyPlus Building.

Table des matières

1	Introduction générale	1
1.1	Introduction générale	2
1.2	Concepts de bâtiments performants	3
1.2.1	Typologie des bâtiments performants	3
1.3	Définition du Bâtiment à énergie positive (BEP)	6
1.4	Le building ECOVER	7
1.5	Potentiel algérien en énergies renouvelables	7
1.5.1	Potentiel solaire	7
1.5.2	Potentiel éolien	9
1.5.3	Energies géothermiques	9
1.6	Politique nationale concernant les énergies renouvelables	10
1.7	Conception d'un Bâtiment à Energie Positive	11
1.7.1	Choix d'une architecture économe en énergie	11
1.7.2	Sources d'énergies renouvelables	14
1.7.3	Convertisseurs d'électronique de puissance	24
1.7.4	Raccordement du BEP au réseau	25
1.7.5	Eléments de domotique	25
1.7.6	Equipements d'un BEP	26
1.8	Conclusion	28

2	Modélisation et simulation du bâtiment à énergie positive	29
2.1	Présentation du logiciel	30
2.2	Etapes de modélisation du bâtiment	30
2.2.1	Visite au CNERIB	30
2.2.2	Modélisation	31
2.3	Résultat des simulations	38
2.4	Dimensionnement des capteurs solaires thermiques et photovoltaïques	44
2.5	Conclusion	47
3	Commande de la chaîne de production d'énergie photovoltaïque	48
3.1	Caractéristiques de la puissance photovoltaïque	49
3.2	Poursuite du point de puissance maximale	49
3.3	Régulation MPPT type floue	51
3.3.1	Principe de la commande MPPT floue du hacheur	51
3.3.2	Régulation en courant type Mamdani	53
3.3.3	Régulation en courant type Takagi-Sugeno	55
3.4	Résultat des simulations	57
3.5	Les onduleurs photovoltaïques	59
3.5.1	Choix de l'onduleur	60
3.5.2	Technique de commande des onduleurs	63
3.5.3	Résultat des simulations	63
3.6	Conclusion	65
4	Application de la GTB dans la régulation thermique du bâtiment	66
4.1	La régulation des bâtiments à occupation intermittente	67
4.2	Equipements utilisés dans la régulation de température en GTB	68
4.2.1	Les capteurs de température	68
4.2.2	Les contrôleurs	68

4.3	Principe de la régulation thermique proposée	69
4.3.1	Commande par hystérésis d'une zone	69
4.3.2	Commande par logique floue d'une zone	70
4.3.3	Commande par logique floue de toutes les zones	71
4.4	Conclusion	77
	Bibliographie	80
	Annexe	83

Table des figures

1.1	Carte d'ensoleillement mondiale [11]	8
1.2	Ensoleillement en Algérie	8
1.3	Répartition du potentiel éolien en Algérie	9
1.4	Orientation optimale d'un bâtiment[10]	12
1.5	Maison à efficacité énergétique - SOUIDANIA	13
1.6	Brique alvéolée	13
1.7	Thermographie d'un logement illustrant les ponts thermiques [19]	14
1.8	Panneaux solaire amorphe	16
1.9	Panneaux solaire polycristallin	16
1.10	Panneaux solaire monocristallin	17
1.11	Différentes configurations d'intégration des panneaux solaires dans un bâtiment	17
1.12	Capteur plan liquide avec vitrage	20
1.13	Capteur plan sans vitrage	20
1.14	Capteur sous vide	21
1.15	Schéma d'un hacheur élévateur	24
1.16	Schéma d'un hacheur abaisseur	24
1.17	Schéma de principe d'un onduleur triphasé [16]	24
1.18	Schéma de principe d'un échangeur sur air vicié	27
1.19	Principe du puits canadien	27

2.1	Plan du bâtiment étudié de l'incubateur de Sidi-Abdellah	32
2.2	Définition des paramètres de chauffage et de climatisation des zones .	35
2.3	Profil de température pour différentes enveloppes	38
2.4	Profil de température pendant une année	39
2.5	Profil de température des locaux pendant la période la plus froide . .	39
2.6	Profil de température des locaux pendant la période la plus chaude .	39
2.7	Profil de température des locaux pendant une journée d'hiver	40
2.8	Profil de température dans la salle de prière en été	41
2.9	Profil de température dans la salle de prière en hiver	41
2.10	Profil de température du restaurant en été	42
2.11	Profil de température du restaurant en hiver	42
2.12	Profil de température de la salle de surveillance en été	43
2.13	Profil de température de la salle de surveillance en hiver	43
2.14	Tableau synoptique des besoins de chauffage et de climatisation . . .	44
2.15	Tableau synoptique des indices de besoin en énergie, de confort et de température	45
2.16	Schéma de principe d'une installation Plancher Solaire Directe	46
3.1	(a) variation de la puissance en fonction de l'éclairement (b) Variation de la puissance en fonction de la température [16]	50
3.2	(a) Connexion électrique directe entre un générateur PV et une charge (b) Points de fonctionnement résultant de l'association des généra- teurs PV sous un niveau d'éclairement E1 avec une charge résistive variable (R1, R2, R3, R4) [16]	51
3.3	Schéma du hacheur buck-boost [16]	52
3.4	Schéma de principe d'un panneau photovoltaïque raccordé au réseau commandé par MPPT	52
3.5	Plage de variation des variables linguistiques	54

3.6	Plage de variation des variables linguistiques de la méthode Takagi-Sugeno	55
3.7	Puissance PPV sans MPPT	57
3.8	Courbe de la puissance en fonction de la tension montrant le point de puissance maximale	57
3.9	Réponse du système photovoltaïque à la régulation floue type Mamdani du courant	58
3.10	Réponse du système photovoltaïque à la régulation floue type Mamdani de la tension	58
3.11	Courant de sortie du panneau photovoltaïque avec une régulation floue type Mamdani	58
3.12	Tension de sortie du panneau photovoltaïque avec une régulation floue type Mamdani	58
3.13	Réponse du système photovoltaïque à la régulation floue type Takagi-Sugeno	59
3.14	Courant de sortie du panneau photovoltaïque avec une régulation floue type Sugeno	59
3.15	Tension de sortie du panneau photovoltaïque avec une régulation floue type Sugeno	59
3.16	Onduleur trois niveaux à structure N.P.C [13]	61
3.17	Pont triphasé commandé par MLI triangulo-sinusoïdale	63
3.18	La tension simple à la sortie de l'onduleur	64
3.19	Courant à la sortie du filtre RLC	64
4.1	Grafcet du système de régulation thermique du bâtiment par hystérésis	69
4.2	Grafcet de la régulation thermique par logique floue	70
4.3	Schéma de principe de la régulation thermique de toutes les zones du bâtiment	72

4.4	Grafcet de la régulation thermique par logique floue de toutes les zones	73
4.5	Grafcet du sous-programme de régulation par logique floue	74
4.6	Fonction d'appartenance de l'erreur E	76
4.7	Fonction d'appartenance de dE	76
4.8	Scénario de chauffage locaux et bureaux	84
4.9	Scénario de chauffage du restaurant	84
4.10	Scénario de climatisation de la salle de prière	85
4.11	Scénario de climatisation standard	85
4.12	Scénario d'occupation des bureaux et locaux	86
4.13	Scénario d'occupation du restaurant	86
4.14	Scénario d'occupation de la salle de prière	87
4.15	Scénario d'occupation des sanitaires + couloir et hall	87
4.16	Effet du masque sur une ouverture en hiver	88
4.17	Effet du masque sur une ouverture en été	88
4.18	Visualisation de l'effet du masque sur une année	88

Liste des tableaux

1.1	Différentes valeurs des coefficients de déperdition thermique [20] . . .	23
2.1	Paramètres de chauffage et de climatisation de toutes les zones thermiques du bâtiment	36
3.1	Table d'inférence floue pour la méthode de Mamdani	55
3.2	Table d'inférence floue pour la méthode Takagi-Sugeno	56
4.1	Table d'inférence du régulateur flou	76

Chapitre 1

Introduction générale

”Investir dans les économies d’énergie n’est pas une charge pour la collectivité, mais un investissement social, un projet industriel et une occasion de réaliser des économies”.

Amar Bellal Professeur en génie civil de l’ENS

1.1 Introduction générale

De nos jours, l'humanité est confrontée à l'un de ses plus grands défis. Au rythme de consommation actuel, les réserves prouvées d'énergie fossile sont de 40 années pour le pétrole, 63 pour le gaz, 218 pour le charbon et 71 pour l'uranium. Si, au lieu de raisonner à consommation constante (ce qui est évidemment faux), on tient compte de l'augmentation annuelle de la demande (supposée égale à 2%/an), dans 50 ans l'ensemble des réserves prouvées seront épuisées. Même si on considère les réserves ultimes d'énergie, c'est à dire la totalité de celles que l'on pense pouvoir découvrir et extraire un jour, la croissance de la demande aura eu raison de ce gisement ultime...en 2115, soit d'ici un siècle. Il n'y aura alors plus une seule " goutte " d'énergie fossile à la disposition de l'homme. Ce délai d'un siècle, même s'il peut paraître énorme à l'échelle individuelle, n'en est pas moins très court au regard des enjeux et du problème posé. il va falloir changer nos systèmes de production et de consommation d'énergie pour s'adapter à ces transformations qui seront longues et lourdes. Ces quelques décennies de ressources seront tout juste suffisantes pour opérer ces transformations qui devront aussi vaincre l'inertie de nos mentalités.

Parlons de la consommation d'énergie en Algérie. Ce secteur a connu une croissance fulgurante. En effet, cette consommation a plus que doublé depuis le début de ce siècle. Le secteur de l'habitat et du tertiaire, d'après les statistiques de l'APRUE (Agence nationale de la Promotion et de la Rationalisation de l'Utilisation de l'Energie), consomme 41% du total de l'énergie consommée et il produit 6842.208 tonnes de CO₂ ce qui est équivalent à 16% du total de la quantité des gaz à effet de serre émise en Algérie et ce pourcentage ne cesse d'augmenter [2]. Cela montre l'énorme contribution du secteur du bâtiment aussi bien à la consommation énergétique qu'à la pollution en gaz à effet de serre. D'où la nécessité d'une approche réglementaire en consommation d'énergie.

En plus de ça raréfaction, les énergies fossiles ont engendré des dégâts irréversibles à

l'écosystème. Les villes deviennent de plus en plus insalubres et la qualité de vie se dégrade à cause des émissions à effet de serre et le secteur du bâtiment ne peut nier sa contribution à en accentuer l'effet. Pour tenter d'enrayer les conséquences du dérèglement climatique, il est aujourd'hui capital de mettre au point de nouveaux systèmes énergétiques, qui permettent de réduire efficacement la consommation énergétique des bâtiments en faisant appel aux énergies renouvelables. Cette démarche s'inscrit dans le développement des "bâtiments à énergie positive" (BEP) qui demande une très bonne intégration énergétique.

1.2 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 qui 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 maître d'œuvre et au maître d'ouvrage de quantifier les performances réelles du bâtiment et de les comparer aux objectifs originaux. Dans cette partie, l'analyse de différentes définitions et dénominations rencontrées dans la littérature amène à proposer une typologie des principaux concepts de bâtiments performants et à en identifier les principales caractéristiques.

1.2.1 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. Dans la classification des bâtiments, deux approches se distinguent : une approche énergétique et une autre prenant en compte le coté économique et l'impact environnementale.

Approches énergétiques

Cette approche ne prend en considération que la consommation énergétique du bâtiment. Elle est classifiée comme suit :

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 niveau de performance peut être atteint par l'optimisation de l'isolation, la réduction des ponts thermiques et l'accroissement des apports passifs.

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 une 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.

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.

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.

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. 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 [14].

Approche économique et écologique

Cette approche vise, d'une part, à apprécier la qualité environnementale des bâtiments et d'autre part à traiter l'aspect du coût de la consommation du bâtiment. On distingue les types suivants :

" zero utility cost house " Ils désignent les bâtiments dont la facture 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.

" maison neutre en carbone " Cette expression désigne 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. L'une des conséquences de cette démarche est l'utilisation exclusive de ressources énergétiques renouvelables.

Bâtiment " vert ", " durable ", " soutenable " ou " écologique " Ce type de bâtiments est construit à partir de matériaux écologique. Il inclut également des espaces verts et une enveloppe végétalisée. Il vise à réduire l'impact environnemental du bâtiment.

1.3 Définition du Bâtiment à énergie positive (BEP)

Le concept de bâtiment à énergie positive, n'a jamais été rigoureusement défini du fait de l'absence de réglementation à son sujet. Cependant, il a été défini par de nombreux experts dans le domaine du bâtiment comme étant un bâtiment produisant plus d'énergie qu'il n'en consomme. Ce concept présente un haut niveau de performance et regroupe forcément tous les autres concepts tels que les bâtiments basse consommation, bâtiments verts, bâtiments producteur d'énergie.

L'intermittence est le problème majeur des énergies renouvelables. Pour remédier à cela des techniques de stockage, de gestion et de régulation sont nécessaires. L'importance de la mise au point de ces aspects se manifeste davantage du fait de la multitude des ressources en énergies renouvelables (solaire photovoltaïque, solaire thermique, géothermie, microcogénération). Ces systèmes sont appelés, des systèmes multi-énergie.

1.4 Le building ECOVER

Pour atteindre les exigences des bâtiments performants, on doit introduire un nouveau concept de bâtiment qu'on a baptisé ECOVER¹, qui sera plus amplement exposé dans la suite de ce travail, pour ce faire, trois éléments doivent être assurés : une meilleure architecture (pour réaliser les objectifs d'économie d'énergie), une bonne stratégie de commande des sources d'énergies (pour assurer le label bâtiment à Energie Positive) et une meilleure gestion du bâtiment (pour assurer le confort et optimiser les ressources énergétiques). Il faut donc combiner le savoir faire de l'automatique, de l'architecture, du génie civile, de l'informatique, et l'informatique industrielle.

Nous allons dans le cadre de ce travail nous focaliser sur les aspects les plus importants ayant à la fois un impact sur le confort humain et sur la consommation énergétique.

1.5 Potentiel algérien en énergies renouvelables

1.5.1 Potentiel solaire

De par sa situation privilégiée, l'Algérie dispose du plus grand gisement solaire du bassin méditerranéen et l'un des plus grands au monde. La durée moyenne d'ensoleillement du territoire algérien dépasse les 2000 heures annuelles, pour atteindre près de 3500 heures d'ensoleillement dans le Sahara décrochant ainsi le titre de l'endroit le plus ensoleillé au monde. Le total d'énergie reçue est estimé à 169 400 TWh/an, soit 5000 fois la consommation d'électricité annuelle du pays. La carte 1.2 illustre la répartition de l'ensoleillement du territoire national.

1. ECOVER : Enveloppe-Compacité-Orientation-végétalisation-Energies Renouvelables

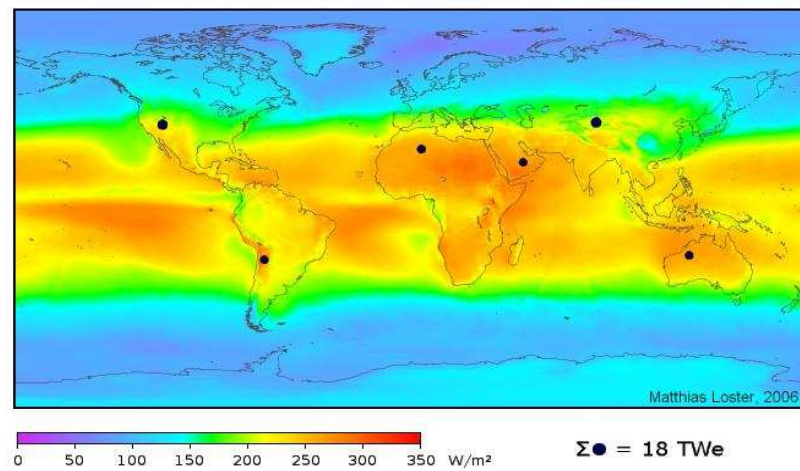


FIGURE 1.1 – Carte d'ensoleillement mondiale [11]

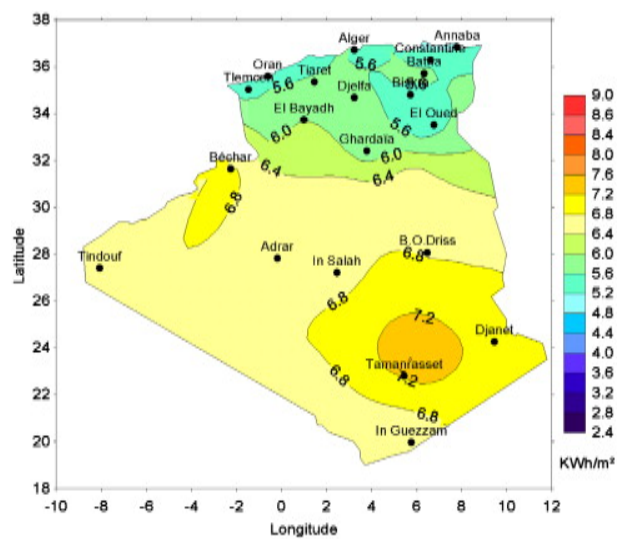


FIGURE 1.2 – Ensoleillement en Algérie

1.5.2 Potentiel éolien

Le potentiel éolien diverge selon la situation géographique. Ainsi au nord du pays, le potentiel éolien se caractérise par une vitesse moyenne des vents modérée (1 à 4 m/s) avec des microclimats autour d'Oran, Annaba, sur les hauts plateaux et à Biskra. Ce potentiel énergétique convient parfaitement pour le pompage de l'eau particulièrement sur les Hauts Plateaux. Au Sud, la vitesse moyenne des vents dépasse les 4m/s, plus particulièrement au sud-ouest, avec des vents qui dépassent les 6m/s dans la région d'Adrar.

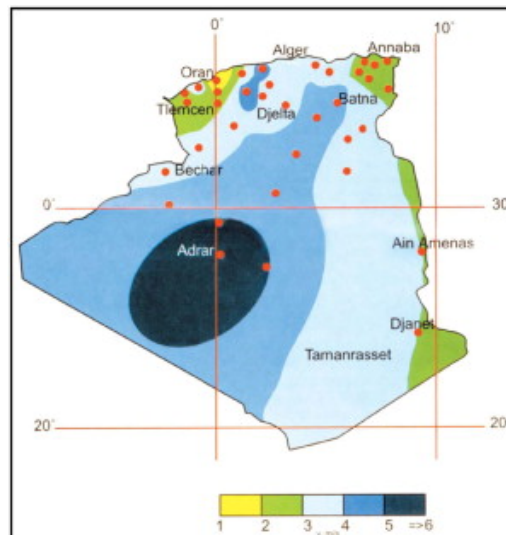


FIGURE 1.3 – Répartition du potentiel éolien en Algérie

1.5.3 Energies géothermiques

Plus de 200 sources d'eau chaude ont été répertoriées dans le nord-est et le nord-ouest de l'Algérie. Environ 33% d'entre elles ont des températures supérieures à 45°C, la plus chaude étant située à Biskra (118°C). Plus au sud, délimité par Biskra au nord, In Salah au sud et Adrar à l'ouest, la nappe albienne constitue une zone de plusieurs milliers de km², caractérisée par une eau à température moyenne de

57°C. L'ensemble du débit d'exploitation des sources et de cette nappe représente une puissance estimée à 700MW/an [3].

1.6 Politique nationale concernant les énergies renouvelables

La consommation d'électricité en Algérie a augmenté durant les dernières années de 4% par an faisant perturber la distribution de l'électricité depuis quelques années. En outre, et vu l'importance des énergies renouvelables pour le développement durable, les autorités algériennes ont promulgué une loi visant à les promouvoir et à encourager la recherche dans ce domaine afin de compléter ou de substituer les énergies fossiles dont nous sommes totalement dépendants. Cette loi définit les différents procédés de production d'énergie à partir de sources renouvelables, en l'occurrence, l'énergie du rayonnement solaire, la biomasse, l'énergie éolienne, l'énergie géothermique, l'énergie hydraulique et enfin les matériaux et les techniques. Elle a aussi mis en place l'observatoire national de promotion des énergies renouvelables qui vise à la promotion de la recherche dans le domaine.

Malgré la promulgation d'une telle loi, il est à noter que plusieurs points n'ont pas été traités et qui doivent faire objet de travaux de recherche et de projets de loi. Le premier point est le volet régulation de la consommation énergétique des bâtiments en Algérie en définissant des labels de haute performance énergétique propres à l'Algérie. Le second point consiste à tracer une vraie stratégie d'incitation à la production d'énergies renouvelables en encourageant la production locale (au niveau des maisons et des bâtiments). Cela est possible en travaillant en collaboration avec les différents acteurs de l'énergie au niveau national pour récupérer l'énergie produite localement. Les deux partis tireront profit de cette démarche en diminuant le coût des investissements et la charge de production pour les sociétés d'une part,

et pour diminuer la facture d'énergie et constituer une source de revenus pour les particuliers d'autre part.

Parmi les objectifs affichés par les pouvoirs publics, le marché local doit atteindre 375 MW d'ici 2020, amenant la part de l'électricité produite par les énergies renouvelables à 4% de l'électricité totale produite (0,02% aujourd'hui). Avec une production effective de 33,8 TWh et plus de 245.000 km de réseaux de distribution [9].

1.7 Conception d'un Bâtiment à Energie Positive

1.7.1 Choix d'une architecture économe en énergie

La première étape dans la conception des BEP consiste à agir sur l'architecture du bâtiment de manière à réduire les pertes d'énergie et par conséquent la consommation. Plusieurs grandeurs d'influence rentrent en jeu pour réaliser cet objectif, en l'occurrence, l'orientation du bâtiment, l'enveloppe du bâtiment, la compacité du bâtiment, l'isolation thermique, le traitement des ponts thermiques et la végétalisation du voisinage.

Orientation du bâtiment

Plusieurs études ont démontré que l'orientation optimale du bâtiment est une orientation nord-sud avec de grandes ouvertures au sud afin de profiter au maximum du rayonnement solaire en hiver là où l'azimut est bas. En été, où l'azimut est haut et afin d'éviter que le rayonnement solaire ne passe à travers les ouvertures, des brise-soleil en protègent la construction. Les fenêtres cotés est et ouest sont à éviter pour que le rayonnement solaire ne pénètre pas, évitant ainsi des surchauffes en été.

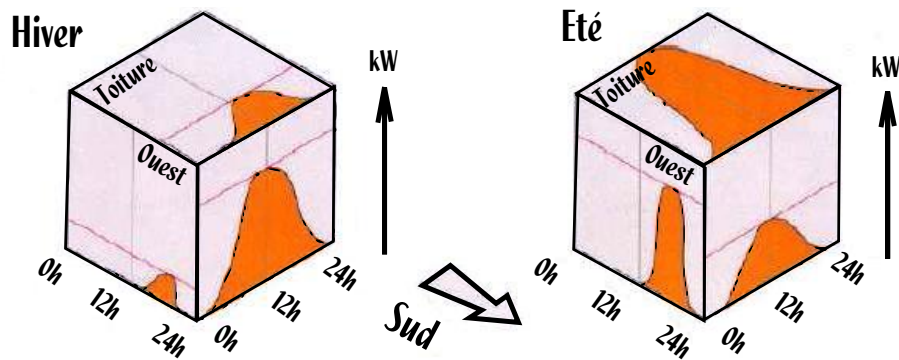


FIGURE 1.4 – Orientation optimale d'un bâtiment[10]

Enveloppe du bâtiment

Ce point est le plus influent des grandeurs agissant sur le confort interne dans le bâtiment passif. Une étude rigoureuse de cet aspect s'avère par conséquent indispensable. La constitution des murs du bâtiment est en relation direct avec la résistance thermique de ce dernier, et par conséquent, en définit les échanges thermiques. Plus la résistance est grande et plus les échanges thermiques sont faibles. Donc, on doit construire avec des matériaux à grande résistance thermique. Nos recherches ont abouti à la sélection de deux types de matériaux : la brique de terre stabilisée (BTS) qui est un matériau local et la brique Monomur alvéolée. Il est aussi essentiel d'intercaler une lame d'air et des matériaux d'étanchéité dans les murs.

La BTS a été utilisée dans le projet pilote de la maison rurale à efficacité énergétique à Soudania. Ce matériaux est économique, écologique étant donné qu'il est à base de terre et de ciment à 5%.



FIGURE 1.5 – Maison à efficacité énergétique - SOUIDANIA

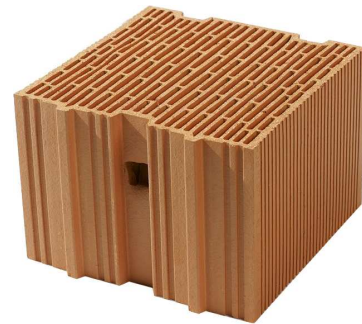


FIGURE 1.6 – Brique alvéolée

Végétalisation

Selon des études récentes, la végétation permet de diminuer la température de l'air en période de canicule de 3.5° . Elle peut aussi être la source d'une inertie thermique additionnelle à l'enveloppe du bâtiment. Les plantes servent également de filtre contre les poussières en humidifiant l'air ambiant et en absorbant le dioxyde de carbone.

Renforcement de l'isolation thermique et la réduction des ponts thermiques

Les ponts thermiques sont des ruptures dans l'isolation d'un bâtiment. Un pont thermique est aussi défini comme étant une zone ponctuelle ou linéaire qui, dans l'enveloppe d'un bâtiment, présente une variation de résistance thermique (à la jonction de deux parois en général). Ceci crée une zone d'échange thermique. Pour remédier à ce problème, il faut augmenter les résistances thermiques des matériaux, réduire les saillies et les décrochements (construire compact), équiper la maison de fenêtres à double vitrage. Il est à souligner que les déperditions thermiques se font essentiellement à travers le toit (à 30 %) puis les parois latérales (à 25 %), l'étanchéité est y

par conséquent renforcée [19].



FIGURE 1.7 – Thermographie d'un logement illustrant les ponts thermiques [19]

1.7.2 Sources d'énergies renouvelables

Energie solaire photovoltaïque

L'effet photovoltaïque utilisé dans les cellules solaires permet de convertir directement l'énergie des rayons solaires en électricité par le biais de la production et du transport dans un matériau semi-conducteur de charges électriques positives et négatives sous l'effet de la lumière. Ce matériau comporte deux parties, l'une présentant un excès d'électrons et l'autre un déficit en électrons, dites respectivement dopée de type N et dopée de type P. Lorsque la première est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans le matériau N diffusent dans le matériau P. La zone initialement dopée N devient chargée positivement, et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée donc entre elles un champ électrique qui tend à repousser les électrons dans la zone N et les trous vers la zone P. Une jonction PN a été formée. Lorsqu'un matériau est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont " bombardés " par les photons constituant la lumière, sous l'action de ce bombardement, les électrons des couches électroniques

supérieures (appelés électrons de valence) ont tendance à être " arrachés / décrochés " : si l'électron revient à son état initial, l'agitation de l'électron se traduit par un échauffement du matériau. L'énergie cinétique du photon est transformée en énergie thermique. Par contre, dans les cellules photovoltaïques, une partie des électrons ne revient pas à son état initial. Les électrons " décrochés " créent une tension électrique continue faible. Une partie de l'énergie cinétique des photons est ainsi directement transformée en énergie électrique : c'est l'effet photovoltaïque. Les panneaux photovoltaïques sont le raccordement de plusieurs cellules photovoltaïques en série ou en parallèle.

Différentes technologies des panneaux solaires photovoltaïques Il existe une grande variété de technologies mettant en œuvre l'effet photovoltaïque. Les principales technologies sont les panneaux en couche mince à base de silicium amorphe, les panneaux en silicium monocristallin et les panneaux en silicium polycristallin.

- *Panneaux en silicium monocristallin* : Ces panneaux sont fabriqués par le procédé suivant : du silicium à l'état brut est fondu pour créer un barreau. Lorsque le refroidissement du silicium est lent et maîtrisé, on obtient un monocristal. Un Wafer (tranche de silicium) est alors découpé dans le barreau de silicium. Après divers traitements (traitement de surface à l'acide, dopage et création de la jonction P-N, dépôt de couche anti-reflet, pose des collecteurs), le wafer devient cellule. Ce type de panneaux possède un rendement allant de 12% à 18 % et une durée de vie relativement longue (30 ans). Il est parfaitement adapté aux sites bien ensoleillés comme c'est le cas en Algérie. Voir figure [1.10](#)
- *Panneau en silicium polycristallin* : Après avoir fondu le silicium, il se refroidit en formant plusieurs cristaux. Il est clair que cette technologie demande moins d'énergie en plus d'être moins chère que la technologie précédente. Cependant, les panneaux résultants possèdent un rendement inférieur, de l'ordre de 11 %

à 15%. Voir figure 1.9

- *Panneaux en silicium amorphe* : Les modules photovoltaïques amorphes ont un coût de production bien plus bas, mais malheureusement leur rendement est de 6 à 8% actuellement. Cette technologie permet d'utiliser des couches très minces de silicium qui sont appliquées sur du verre, du plastique souple ou du métal, par un procédé de vaporisation sous vide. Ils sont particulièrement pratique dans les sites où la luminosité est diffuse (Nuages, ombres) donc inappropriés en Algérie. Voir figure 1.8



FIGURE 1.8 – Panneaux solaire amorphe

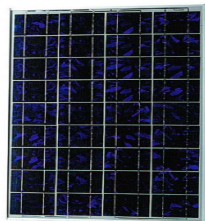


FIGURE 1.9 – Panneaux solaire polycristallin

Configuration d'intégration des panneaux photovoltaïques dans le bâtiment Plusieurs possibilités de présentent pour intégrer les panneaux photovoltaïques dans les BEP :

- Toit solaire soit par :
 - Intégration de tuiles photovoltaïques (génération électrique).

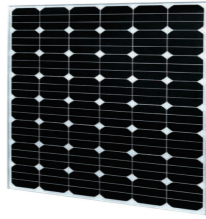


FIGURE 1.10 – Panneaux solaire monocristallin

- Par remplacement d'éléments de couverture par des modules intégrables étanches.
 - Par pose des capteurs en surépaisseur sur la toiture. (figure 1.11 (a)).
- Protection solaire (Masque) : dans la configuration présentée, les générateurs font office d'auvent et protègent une large baie vitrée du soleil d'été. (figure 1.11 (b)).

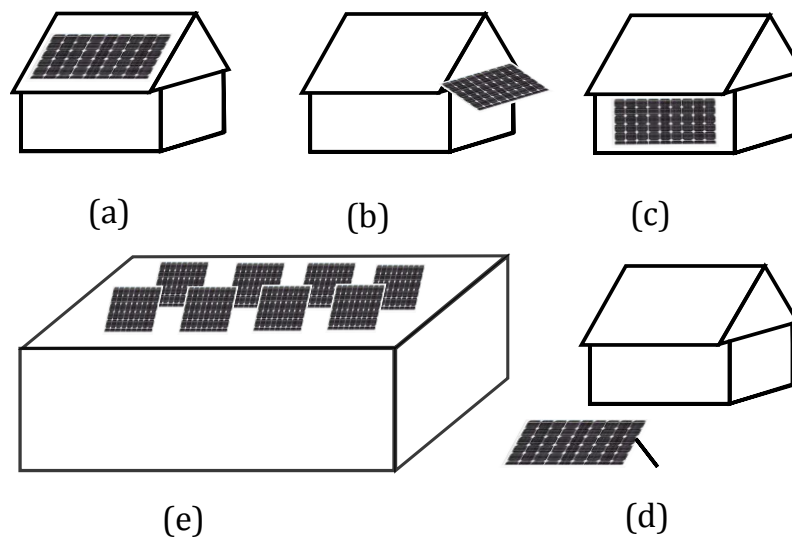


FIGURE 1.11 – Différentes configurations d'intégration des panneaux solaires dans un bâtiment

- Les générateurs s'installent également sur une dépendance orientée au sud ou un châssis fixé au sol (ou orientable) à condition de veiller à leur protection mé-

canique et/ou électrique. Cependant, le rendement du générateur est amoindri par la longueur des câbles (photovoltaïque), des tuyaux (thermiques) et une projection des ombres défavorable aux implantations basses. (figure 1.11 (d)).

- Ce type de disposition optimise l'exploitation énergétique des surfaces bâties.

Notons que ces dispositions d'intégration des panneaux photovoltaïques sont aussi valables pour le captage de l'énergie solaire thermique [8].

Energie solaire thermique

Le soleil est aussi une source d'énergie thermique qui consiste en la conversion de l'énergie contenue dans le rayonnement solaire en chaleur. Elle trouve son application dans le secteur de l'habitat comme dans les bâtiments tertiaires. Dans une habitation standard, le chauffage traditionnel de l'eau et de l'air sont les applications qui consomment le plus d'énergie électrique donc assurer le chauffage et l'eau chaude sanitaire nous permettra de réduire considérablement les dépenses énergétiques.

L'utilisation de l'énergie solaire thermique pour remplacer le système conventionnel de chauffe-eau domestique et de chauffage d'air de ventilation, représente un avantage certain pour une économie d'énergie et de coût. En effet, le système solaire thermique peut diminuer les coûts de consommation d'énergie de plus de 50%. Néanmoins, il doit être associé à une installation d'appoint pour couvrir les besoins de chauffages dans les périodes creuses. Ce système peut servir d'une chaudière auxiliaire à la chaudière conventionnelle en préchauffant l'air ou l'eau. En Algérie, l'énergie solaire thermique peut couvrir 5000 fois les besoins actuels d'énergie et 40 fois les besoins de toute l'Europe. Elle est de 169,440 TWh/an.

Eléments d'une installation solaire thermique L'installation se compose par les éléments suivants

- Collecteur thermique
- Sonde de température
- Régulateur
- Réservoir d'eau chaude solaire
- Robinet thermostatique
- Groupe de sécurité
- Vase d'expansion
- Pompe
- Clapet anti-retour

Collecteur thermique Il existe plusieurs types de capteurs dont le choix se fait en fonction des conditions climatiques et de la température souhaitée de l'eau chaude.

- *Capteurs plans à liquide avec vitrage* C'est un boîtier rectangulaire à surface vitrée dont l'arrière est protégé par un panneau isolant. A l'intérieur de ce boîtier se trouve un matériau absorbant placé entre l'isolant et la surface en plaque de verre. Cette fabrication a pour effet d'emprisonner le maximum d'énergie captée (Effet de serre) et d'engendrer peu de pertes thermiques. Ainsi ces capteurs à vitrage procurent un maximum de performance même par temps froid. Par contre, ils sont plus coûteux que les capteurs sans vitrage et difficilement manipulables (figure 1.12) [18].
- *Capteurs plans à liquide sans vitrage* Ce sont des capteurs solaires à usage saisonnier. Ils sont d'un moindre coût car bien qu'ils captent efficacement l'énergie solaire, ils engendrent beaucoup de pertes thermiques lorsque leur température augmente. Ils sont recouverts d'un plastique polymère noir, formé de multiples canaux à travers lesquels un liquide caloporteur circule. On utilisera les capteurs solaires sans vitrage lorsque l'application fonctionne de façon saisonnière

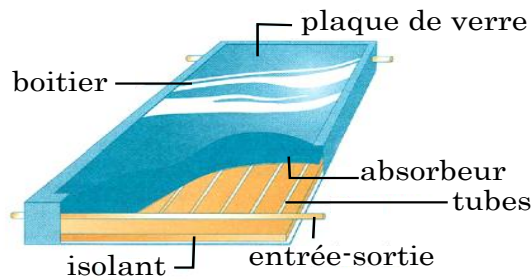


FIGURE 1.12 – Capteur plan liquide avec vitrage

(à température douce) et exige une température d'eau chaude peu élevée (figure 1.13) [18].

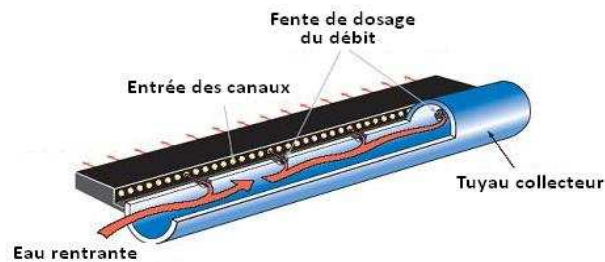


FIGURE 1.13 – Capteur plan sans vitrage

- *Capteurs à tubes sous vide*

C'est l'une des technologies les plus performantes en matière de captage solaire, mais aussi la plus coûteuse. Ce type de capteur est constitué d'une série de tubes alignés parallèlement. À l'intérieur de ces tubes sous vide se trouve une plaque sombre (l'absorbeur) qui est traversée sur toute sa longueur par un conduit (le caloduc ou évaporateur) renfermant un liquide. Lorsque le capteur est exposé aux rayons solaires, l'absorbeur transforme l'énergie solaire incidente en chaleur. La chaleur est récupérée par le caloduc ou évaporateur, le liquide qu'il renferme devient alors gazeux cédant ainsi sa chaleur à un fluide caloporteur qui lui, transmet cette chaleur à un échangeur thermique placé

dans le réservoir de stockage. Ce procédé de captage d'énergie thermique où les capteurs sont sous vide offre légèreté et résistance, une durée de vie d'environ 20 ans, et une excellente performance même sous rayonnement faible (figure 1.14) [18].

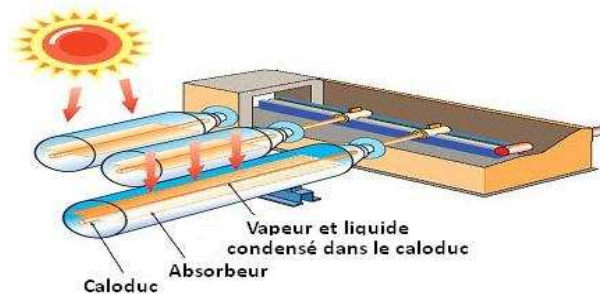


FIGURE 1.14 – Capteur sous vide

Sonde de température C'est un capteur de température. Elle présente une entrée au régulateur et un élément important pour la commande du processus en permettant de réguler la puissance de chauffage et le débit d'eau dans les conduites.

Régulateur C'est un organe de commande qui actionne la fermeture ou l'ouverture de la pompe quand cela est nécessaire.

Réservoir d'eau chaude solaire Comme son nom l'indique, il sert à stocker l'eau chauffée et à la réutiliser au besoin.

Robinets thermostatique Ils permettent d'assurer une alimentation régulée en eau chaude des serpentins.

Groupe de sécurité Il permet la purge d'un surplus d'eau dans les conduites et sert aussi de purge en cas d'une panne.

Vase d'expansion Il permet l'expansion de l'eau lorsque celle-ci se dilate sous l'effet de la chaleur.

Pompe Une pompe va permettre la circulation du fluide caloporteur du capteur solaire au réservoir de stockage.

Anti-retour Il empêche l'eau froide de retourner dans le ballon d'eau chaude pour préserver la pompe et économiser son énergie consommée.

Principe de fonctionnement Le système peut combiner deux modes de fonctionnement : fonctionnement en boucle ouverte (chauffage de l'eau destinée au bain, à la machine à laver, au lave-vaisselle) et fonctionnement en boucle fermée (pour l'eau destinée au chauffage des chambres). Le principe de fonctionnement est simple : le fluide caloporteur (glycol plus eau) circulant dans la conduite acquiert la chaleur captée par le capteur solaire thermique. Ce fluide en arrivant à l'échangeur thermique cède sa chaleur à l'eau contenu dans le ballon d'eau chaude qui lui-même peut servir au fonctionnement en boucle fermée ou en boucle ouverte.

Rendement d'un panneau solaire thermique Le rendement capteur est très difficile à définir sans mesures directes sur site car il est fonction de plusieurs paramètres mais pour simplifier, il est possible d'utiliser la formule suivante :

$$\eta = n_0 - U_1 \frac{DT}{E} - U_2 \left(\frac{DT}{E} \right)^2$$

avec : $DT = T_{mf} - T_e$ qui est la différence de température entre l'intérieur du capteur solaire thermique et l'extérieur du capteur solaire thermique. n_0 est le rendement (ou efficacité) optique du capteur, avec environ 0,826 pour un capteur plan et 0,837 pour un capteur à tubes sous vide d'air. T_{mf} est la température moyenne du fluide caloporteur, avec environ $60^\circ C$. T_e est la température extérieure

à proximité du capteur. U_1 et U_2 sont les coefficients de déperditions thermiques par conduction et par convection, en $W/(m^2.K)$ avec des valeurs par défaut indiquées dans le tableau ci-dessous :

Type de capteur	U_1	U_2
Capteur plan	3.7	0.011
Capteur à tube sous vide	1.8	0.008

TABLE 1.1 – Différentes valeurs des coefficients de déperdition thermique [20]

Energie éolienne

Une éolienne est un dispositif qui utilise la force motrice du vent soit mécaniquement (dans le cas d'une éolienne de pompage), soit pour produire de l'électricité (dans le cas d'un aérogénérateur, plus communément appelé éolienne).

Géothermie

L'énergie géothermique est l'énergie extraite de la chaleur contenue dans les couches inférieures de la croûte terrestre. Elle trouve son application dans le chauffage et la production d'électricité. Elle peut aussi servir comme source de refroidissement (ce principe est explicité ci-dessous 1.19). L'application de la géothermie dans les bâtiments utilise le principe de chauffage et le refroidissement pour climatiser l'intérieur de la bâtisse. Cela est mis en œuvre par l'installation de " puits canadien " ou échangeur air-sol.

1.7.3 Convertisseurs d'électronique de puissance

Les hacheurs

Ce type de dispositif est utilisé pour transformer la tension des panneaux en une tension DC différente pour alimenter un onduleur

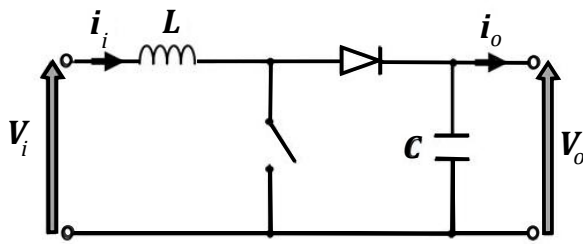


FIGURE 1.15 – Schéma d'un hacheur élévateur

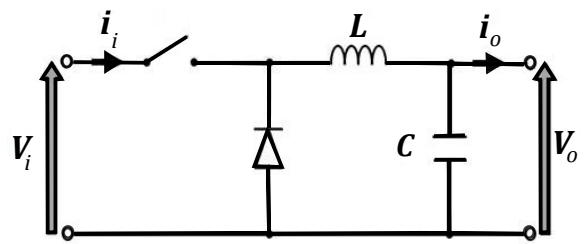


FIGURE 1.16 – Schéma d'un hacheur abaisseur

Onduleurs

Ils permettent de transformer la tension continue du hacheur en une tension triphasée sinusoïdale d'une fréquence de 50Hz et d'une amplitude de 380V.

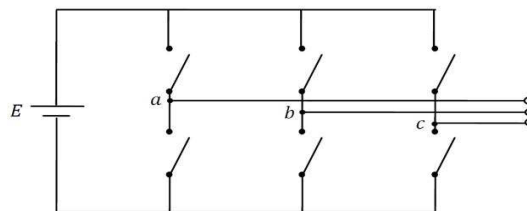


FIGURE 1.17 – Schéma de principe d'un onduleur triphasé [16]

1.7.4 Raccordement du BEP au réseau

En Europe, ce concept connaît un essor rapide. Entre fin 2000 et fin 2001, le parc photovoltaïque connecté au réseau de l'Union Européenne est passé de 128 MW à 216 MW.

Principe de fonctionnement Le principe du raccordement au réseau est le suivant : un champ de modules photovoltaïques est installé sur un bâtiment construit et raccordé au réseau. L'énergie produite par ces modules, au lieu d'être stockée dans des batteries comme dans un système photovoltaïque autonome, est injectée directement dans le réseau électrique collectif à travers un convertisseur DC/AC (section 3.5). Ce courant injecté passe au travers d'un compteur tournant à l'envers et fait l'objet d'un rachat par la compagnie d'électricité au propriétaire de ce mini site de production électrique [4].

1.7.5 Eléments de domotique

La domotique est l'automatisation de la maison. Elle peut inclure un contrôle centralisé de l'éclairage, le HVAC (chauffage, ventilation et climatisation), appareils, et autres systèmes, pour offrir commodité, confort, efficacité énergétique en plus de la sécurité.

HVAC(Heating Ventilation Air Conditioning)

La domotique permet une meilleure gestion du HVAC en fournissant aux occupants un confort tout en optimisant la consommation énergétique. Nous allons aborder ces aspects dans les chapitres 2 et 4.

Gestion de l'éclairage

Cette technique permet une gestion automatique de l'éclairage en donnant la possibilité d'allumer ou d'éteindre la lumière à distance, de réguler son intensité en fonction de l'éclairage externe et même d'éteindre ou d'allumer la lumière en fonction de la présence humaine.

Sécurité

La domotique permet à la fois de gérer la vidéo surveillance et le stockage des données, le contrôle d'accès, le système de détection et de lutte anti-incendie [21].

1.7.6 Equipements d'un BEP

Un bâtiment à énergie positive doit pouvoir limiter au maximum ses besoins de chauffage en hiver et la surchauffe en été. La forte isolation thermique et l'étanchéité à l'air de son enveloppe visent à réduire les échanges thermiques avec l'extérieur, cependant le renouvellement de l'air est nécessaire, à la fois pour maintenir la bonne qualité de l'air intérieur et pour apporter l'oxygène aux occupants, mais aussi participer, lorsque c'est possible, au préchauffage ou au rafraîchissement du bâtiment. Ce renouvellement d'air, lorsqu'il est spontané (infiltrations, ventilation naturelle par les ouvertures), s'accompagne d'un échange de chaleur et d'humidité qui peut dégrader les conditions de confort hygrothermique. C'est pourquoi l'amélioration des performances thermiques du bâtiment nécessite la maîtrise des échanges d'air. Les solutions de ventilation retenues pour le bâtiment à énergie positive sont celles qui assurent la meilleure maîtrise des flux d'air échangés, à la fois du point de vue hygiéniques et thermiques : différents dispositifs techniques, associés à une ventilation mécanique contrôlée double flux (VMC), permettent de limiter les échanges thermiques avec l'extérieur. Il s'agit principalement des échangeurs sur air vicié et

des échangeurs air-sol.

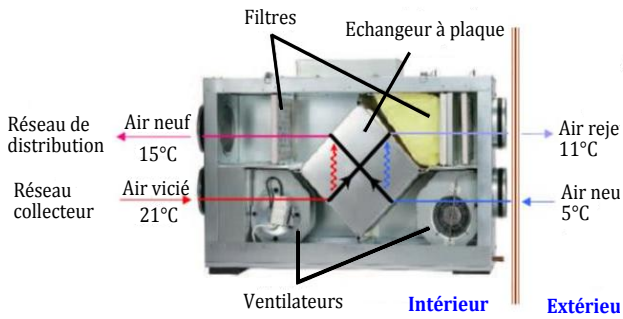


FIGURE 1.18 – Schéma de principe d'un échangeur sur air vicié

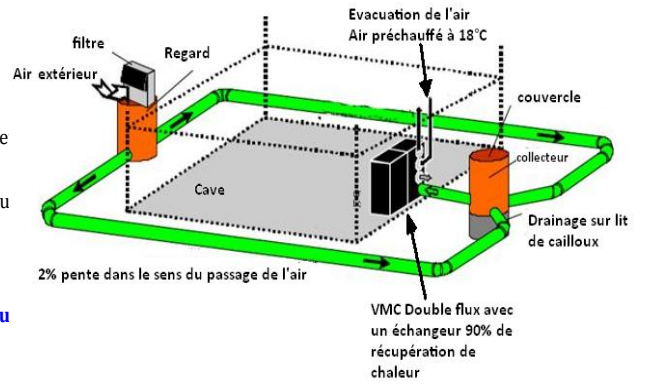


FIGURE 1.19 – Principe du puits canadien

1.8 Conclusion

Nous avons démontré dans ce chapitre l'importance des énergies renouvelables, l'alternative unique aux énergies fossiles dans la mise en œuvre d'une politique de développement durable. Particulièrement en Algérie, l'un des pays les plus riches en terme de potentiel en énergies renouvelables et qui a des capacités sérieuses à se propulser non seulement dans le rang des plus grands producteurs d'énergies vertes au monde mais aussi un leader dans l'exportation de ces dernières. Par conséquent, nous pourrions réorienter notre économie, basée actuellement sur les hydrocarbures, vers une économie écologique, saine et propre. Vu que la mise en place d'une telle stratégie énergétique est coûteuse dans l'état actuel de la technologie, il faudrait penser à réduire la consommation tout en assurant le même confort surtout dans le secteur de l'habitat et du tertiaire qui consomme une grande part de l'énergie primaire. Pour ce faire, les bâtiments doivent obéir aux critères suivants et dans l'ordre :

- Bâtir ECOVER (Enveloppe, Compacité, Orientation, Végétalisation, à Energie Renouvelable)
- Concevoir des bâtiments à énergie positive
- Construire des bâtiments intelligents afin d'optimiser le confort et la sécurité des occupants.

Chapitre 2

Modélisation et simulation du bâtiment à énergie positive

”La meilleure des énergies est celle que l’on ne consomme pas. Il faut produire des ’négawatts’ et économiser l’énergie plutôt que d’encourager la consommation et de la compenser par des énergies renouvelables.” [7]

Pr. François GARDE

2.1 Présentation du logiciel

Modéliser un bâtiment incluant toutes les interactions entre ses zones et prenant en considération à la fois les caractéristiques de son enveloppe et son emplacement se trouve être une tâche très délicate, voir fastidieuse. Pour ce faire, le recours à un logiciel de modélisation et de simulation des bâtiments est indispensable.

Nous avons opté de travailler avec le kit COMFIE+PLEIADES associé au logiciel ALCYONE tous les deux développés dans le centre d’Energétique de l’Ecole des Mines de Paris.

COMFIE+PLEIADES est un outil de simulation thermique permettant de réaliser sur micro-ordinateur des calculs réservés il y a peu à de puissantes stations de travail. Il calcule le comportement des différentes zones thermiques du bâtiment en régime dynamique, détecte les éventuelles surchauffes et permet de comprendre l’influence de la ventilation sur le confort thermique.

Il permet l’étude de projets bioclimatiques en régime dynamique, l’analyse des performances et des ambiances. D’autres part, COMFIE et PLEIADES sont particulièrement adaptés aux projets de constructions solaires bioclimatiques tout comme le bâtiment que nous désirons étudier.

Afin de simplifier la saisie de l’architecture du bâtiment nous avons eu recours au logiciel ALCYONE. Ce logiciel transfère l’architecture au kit COMFIE+PLEIADES pour effectuer les simulations [17].

2.2 Etapes de modélisation du bâtiment

2.2.1 Visite au CNERIB

Dans un souci de bien faire et pour pouvoir tirer profit de l’expérience algérienne dans les Bâtiments Basse Consommation, nous avons effectué une visite au Centre

National d'Etude et de Recherche Intégré au Bâtiment et plus exactement dans le département de la Physique des bâtiments. Nous avons eu accès à leur projet pilote de Bâtiment Basse Consommation. Ceci nous a permis de collecter des informations concernant la conception des bâtiments, leurs orientations et la structure de leurs enveloppes. Chose qu'on a intégré dans la structure du bâtiment que nous allons modéliser puis simuler.

2.2.2 Modélisation

Définition de l'architecture du bâtiment étudié

La première étape de la modélisation est la définition d'une architecture étudiée afin que le bâtiment soit économe en énergie. Nous nous sommes inspirés de l'architecture du bâtiment de l'incubateur de Sidi Abdellah du fait de son importance dans le plan économique et académique et du fait qu'il peut répondre aux exigences de notre travail.

Paramètres des murs, du plancher, du plafond, des fenêtres et des portes

Une fois l'architecture et les paramètres de l'enveloppe introduits, on exporte le projet vers PLEIADES permettant la poursuite de la modélisation du projet.

Module *Bibliotherm*

Ce module sert à la définition du projet sur PLEIADES en spécifiant les anglets suivants : Matériaux, Eléments, Compositions, Etats des surfaces, Albédos, Ecran végétal, Scénario, Menuiseries et Equipements.

Tous ces anglets ont été définis sur ALCYONE à l'exception de l'anglet scénario qu'on doit définir pour les différentes zones thermiques afin de garantir toutes les conditions du confort thermique. Dans cet anglet on trouve :

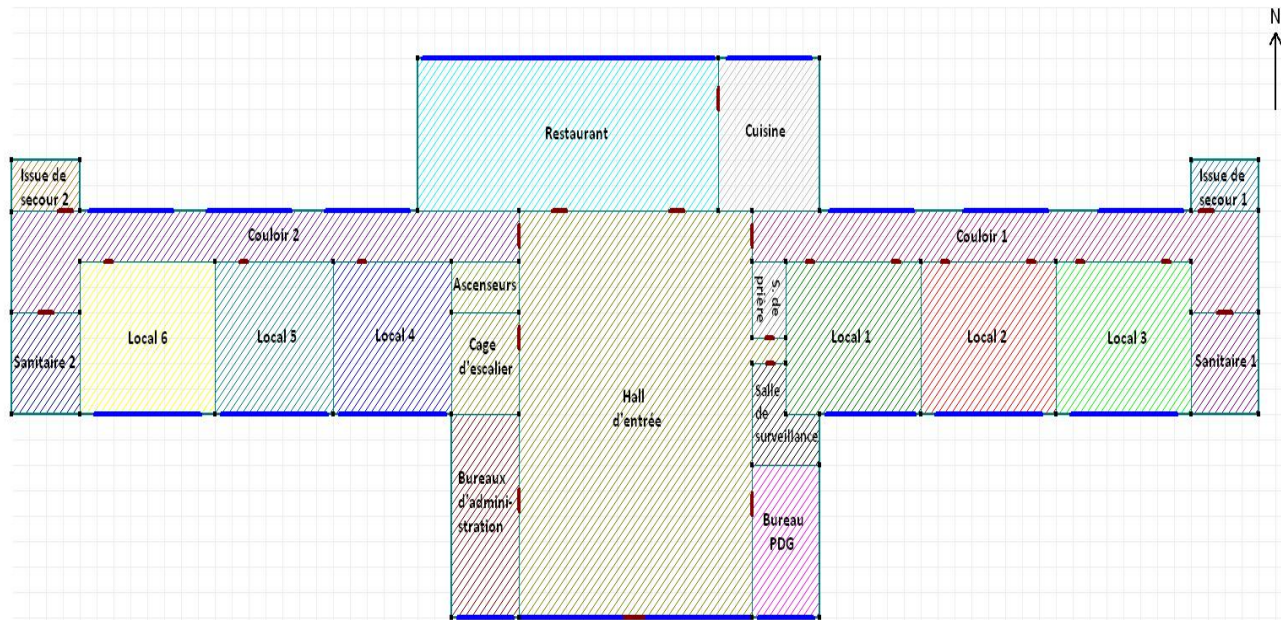


FIGURE 2.1 – Plan du bâtiment étudié de l'incubateur de Sidi-Abdellah

Scénario de ventilation : Il y est indiqué les horaires où les ventilations externe et interne doivent avoir lieu ainsi que leurs puissances.

Scénario d'occupation : Il y est indiqué les heures d'occupation, le nombre maximum d'occupants et le pourcentage de présence.

Consigne de thermostat : Il y est indiqué les températures de consigne en chaque heure du chauffage et de la climatisation.

Puissance dissipée : Il y est indiqué la puissance des apports internes gratuits qui représentent la chaleur dissipée par le métabolisme humain et celle des machines.

REMARQUE : Les scénarios utilisés dans ce travail sont détaillés dans l'annexe du document [4.4](#).

Module *DH-Multi*

Dans ce module on trouvera les pièces du bâtiment ainsi que les différents contacts qu'il y a entre elles, les caractéristiques des murs importées directement de ALCYONE. Il nous reste alors qu'à définir les masques intégrés.

Définition des masques Etant donné que le logiciel Alcyone nous a permis de saisir la caractéristique des parois nous passons à la définition des masques. Un masque est un obstacle au rayonnement solaire situé à proximité des ouvertures. Il a un rôle essentiel dans l'économie d'énergie et la protection des ouvertures. En effet, cet obstacle '*masque*' sert à couvrir les ouvertures en été (lorsque le soleil est haut), évitant ainsi les surchauffes. Il laisse passer les rayons du soleil (lorsque le soleil est bas) contribuant au chauffage des lieux.

REMARQUE : Le masque utilisé dans la construction est illustré dans l'annexe (figures 4.16 4.17 4.18).

Module *InterComfie*

Dans ce module on doit définir l'environnement du bâtiment ainsi que le fonctionnement de ses différentes zones. On trouve dans l'environnement les anglets suivants :

Site et météo : On trouve dans la bibliothèque une liste contenant les fichiers météo de plusieurs villes, cependant, on ne trouve pas de fichier météorologique des villes algériennes. Ceci nous a poussés à rechercher un fichier météo de la ville d'Alger qu'on a converti en un format utilisable sur COMFIE.

Horizon : Cet anglett nous permet de visualiser la course du soleil pour différentes latitudes. La latitude qui correspond au site de construction y est introduite.

Masques proches : Dans cet anglet, on définit les masques qui se situent à proximité des parois de notre bâtiment car ils font office d'écran contre les rayonnements et changent par conséquent la réponse thermique du bâtiment.

Albédos : Cet anglet a d'ores et déjà été défini dans ALCYONE. Il y est indiqué la nature du sol environnant afin que la réflexion des rayons du soleil soit prise en compte dans la simulation. Puisque la consolidation est en béton, nous avons choisi l'albédo du béton d'une valeur de 0.2.

Passons dès à présent à l'anglet fonctionnement. On y associe pour chaque zone thermique les scénarios d'utilisation préalablement définis, en l'occurrence, la consigne de chauffage et celle de la climatisation, les scénarios de ventilation interne et externe, le scénario d'occupation et enfin le scénario des gains de chaleurs.



FIGURE 2.2 – Définition des paramètres de chauffage et de climatisation des zones

Pour obtenir la simulation du modèle étudié, on spécifie le pas de calcul, les semaines de simulation. Un tableau de synthèse s'affiche indiquant les besoins et la puissance du chauffage et ceux de la climatisation, les minima, maxima et la température moyenne de chaque zone, l'amplification de la température externe ainsi que le taux d'inconfort de chaque zone. On peut aussi visualiser le comportement thermique de n'importe quelle zone du bâtiment et les puissances instantanées de chauffage et de climatisation requises pour chaque zone.

Nom	Puissance maximum de chauffage	Puissance maximum de refroidissement	Consigne du thermostat de chauffage	Consigne du thermostat de rafraichissement	Scénario de ventilation interne	Scénario de ventilation externe	Scénario d'occupation	Scénario de gain de chaleur
Les locaux	5 kW	3 kW	Ch. P	Cl. P	Vent. été	Vent. été	Bur.	P_{ds}
Les sanitaires	3 kW	1 kW	Ch. P	Cl. P	Vent. hiv.	Vent. hiv.	San. Coul.	P_{ds}
Hall + cage d'escaliers	35 kW	5 kW	Ch. P	Cl. P	Vent. été	Vent. été	San. Coul.	P_{ds}
Bureau d'administration	7 kW	1.5 kW	Ch. P	Cl. P	Vent. été	Vent. été	Bur. adm.	P_{ds}
Bureau de PDG	4 kW	1.5 kW	Ch. P	Cl. P	Vent. été	Vent. été	Bur PDG	P_{ds}
Salle de surveillance	3 kW	0.3 kW	Ch. P	Cl. P	Vent. été	Vent. été	Bur PDG	P_{ds}
Salle de prière	1.5 kW	2 kW	Ch. P	clim M	Vent. été	Vent. été	Salat	P_{ds}
Cuisine	7 kW	5 kW	Ch. P	Cl. P	Vent. hiv.	Vent. été	Bur. adm.	P_{ds} cui.
Restaurant	20 kW	20 kW	Ch. Resto.	Clim. Resto.	Vent. été	Vent. été	Resto.	P_{ds}

TABLE 2.1 – Paramètres de chauffage et de climatisation de toutes les zones thermiques du bâtiment

-
- Ch. P : Chauffage d'été
 - Cl. P : Climatisation personnalisée
 - Vent. été : Ventilation d'été
 - Bur. : Bureau
 - P_{ds} : Puissance dissipée standard
 - Vent. hiv. : Ventilation d'hiver
 - Bur. : Bureau
 - San. Coul. : Sanitaires + couloirs
 - Bur. adm. : Bureau d'administration
 - Clim. M : Climatisation moussalla
 - P_{ds} cui. : Puissance dissipée cuisine
 - Ch. Resto. : Chauffage restaurant
 - Clim. Resto. : Climatisation restaurant
 - Resto. : Restaurant

2.3 Résultat des simulations

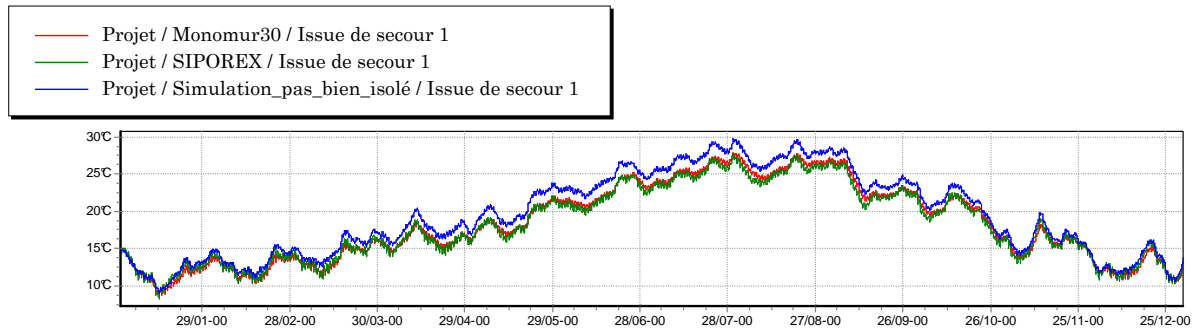


FIGURE 2.3 – Profil de température pour différentes enveloppes

Cette figure nous montre la réponse thermique du bâtiment avec différentes enveloppes (Murs). La première réponse thermique avec des murs externes " Monomur" construit à partir de la terre cuite, des briques à alvéoles et du plâtre+cellulose. La deuxième réponse avec des murs externes de Siporex avec une contre cloison. Le tout d'une épaisseur de 36 cm et la troisième avec des murs de pierre de 45 Cm. La simulation nous montre que le mur en pierre a une réponse thermique qui ne convient absolument pas à un Bâtiment Basse Consommation, il est par conséquent exclu de nos choix. En ce qui concerne le Siporex et le Monomur, ils ont une réponse thermique très proche, on doit passer par conséquent à un autre critère de sélection. Le prix est le premier qui nous vient en tête. Mais la nature du marché algérien en a fait autrement, le Siporex, qui était produit localement il y a quelques années, n'est plus disponible en raison des pertes dues aux ventes insuffisantes de ce matériau qui n'était pourtant pas cher et qui a des caractéristiques thermiques très intéressantes. On se voit donc contraint à utiliser le Monomur qui heureusement contient lui aussi, des caractéristiques aussi intéressantes que le Siporex et une consommation en énergie qui lui est inférieure.

<

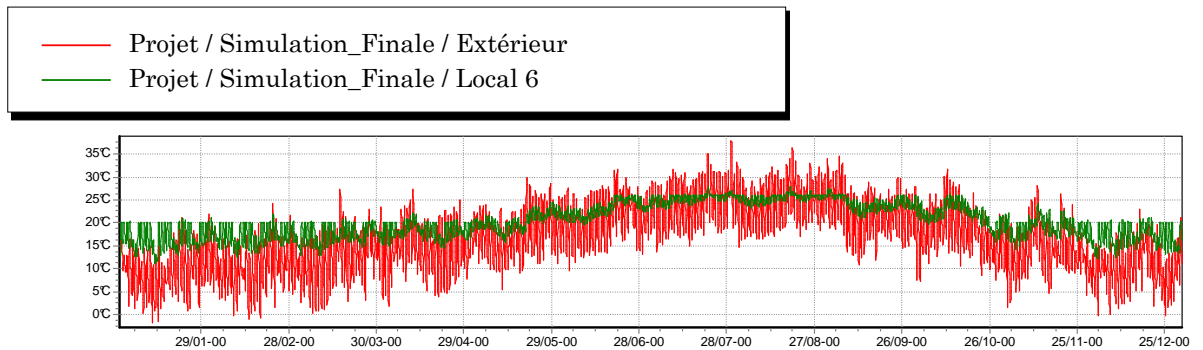


FIGURE 2.4 – Profil de température pendant une année

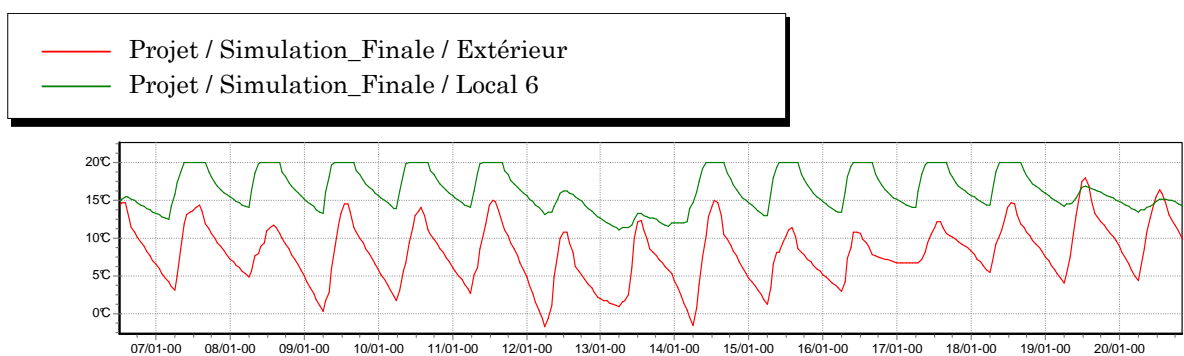


FIGURE 2.5 – Profil de température des locaux pendant la période la plus froide

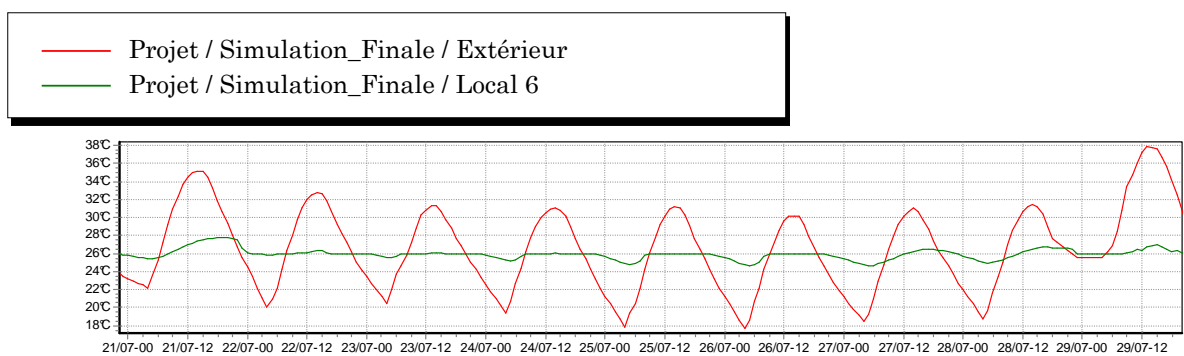


FIGURE 2.6 – Profil de température des locaux pendant la période la plus chaude

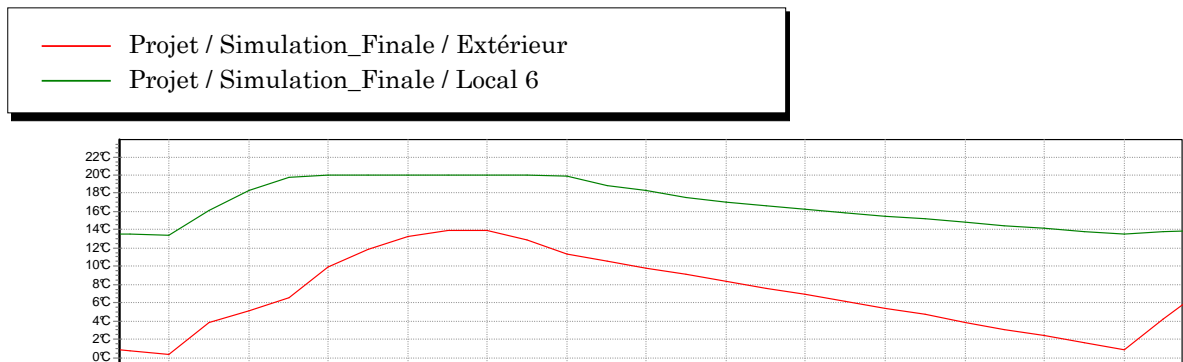


FIGURE 2.7 – Profil de température des locaux pendant une journée d’hiver

Ces figures montrent le comportement thermique du 6^{ème} local. La première durant toute l’année (figure 2.4), la seconde en période hivernale (figure 2.5) et la troisième en période estivale (figure 2.6) et enfin un quatrième qui représente la réponse d’une seule journée d’hiver (figure 2.7).

Dans ces graphes on voit très bien que la température des locaux est dans la plage de confort durant les périodes d’occupation et elle est éventuellement en dehors sinon (la nuit et les week-ends) du faite de l’adaptation des températures de consigne du chauffage et de climatisation avec les scénarios de présence. Prenons par exemple la réponse thermique de la journée la plus froide en hiver. La simulation montre que le chauffage est lancé à 6 H du matin afin de préchauffer le local. A l’heure de l’occupation des lieux (8 H du matin), la température est de 18°C avant d’atteindre la température de consigne de 20°C à 10 H et elle y est maintenue jusqu’à 16 H heure d’évacuation des lieux. En raison de la bonne isolation thermique du bâtiment, la température est maintenue au dessus de 18°C jusqu’à 18 H

Remarque : Nous avons volontairement voulu représenté les réponses thermiques d’un seul local, au lieu des six, du faite de leurs ressemblances.

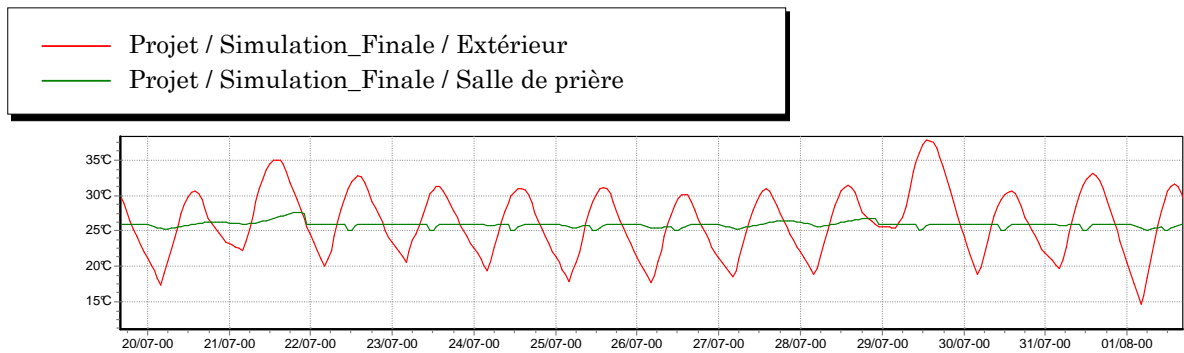


FIGURE 2.8 – Profil de température dans la salle de prière en été

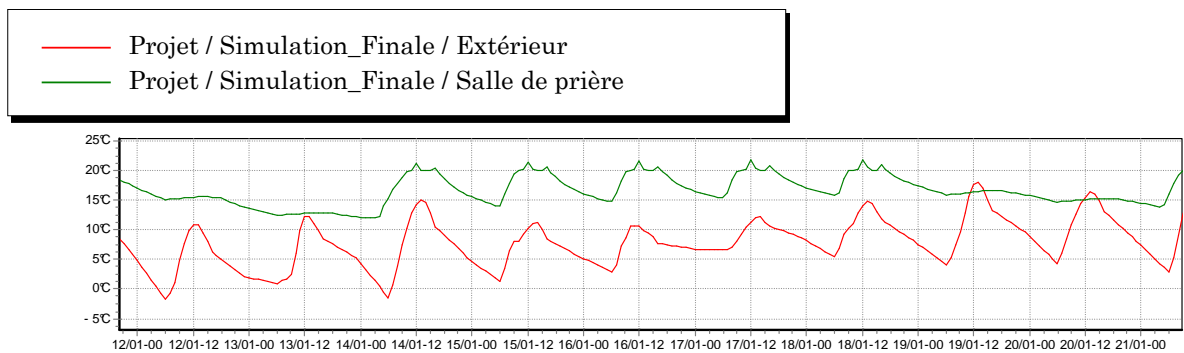


FIGURE 2.9 – Profil de température dans la salle de prière en hiver

On remarque que le profil de température est légèrement différent de celui des autres zones. Il est caractérisé par la présence de deux pics de température. Le premier à midi et le second à 16 H et ceci est dû à la chaleur dégagée par les personnes venues faire la prière du "Dohr" et celle du "Asr".

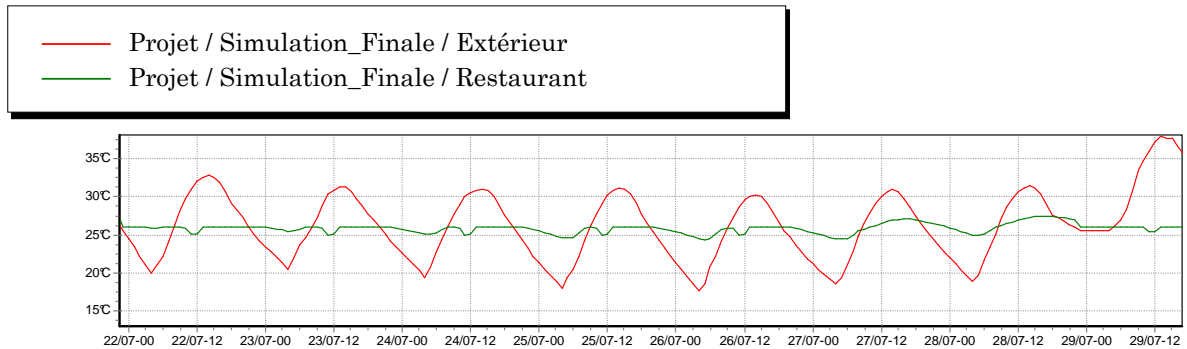


FIGURE 2.10 – Profil de température du restaurant en été

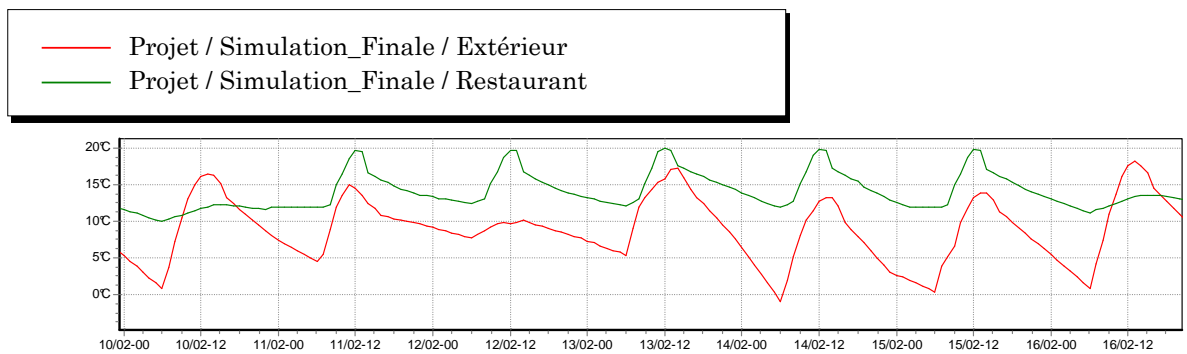


FIGURE 2.11 – Profil de température du restaurant en hiver

La particularité de cette zone est qu'elle n'est occupée que pendant le déjeuner, pour économiser de l'énergie, on doit réguler la température en conséquence. Une autre particularité de cette zone est qu'elle est occupée pendant une courte durée par beaucoup de personnes qui contribuent à sa surchauffe. Pour anticiper ce phénomène, la température de consigne est baissée à 25°C avant les heures d'occupations. La même stratégie a été adaptée pour la salle de prière. On aurait pu aussi augmenter la puissance de climatisation des deux zones mais cette solution se trouve être plus énergétique et donc moins appropriée à notre bâtiment où les performances énergétiques sont un souci majeur.

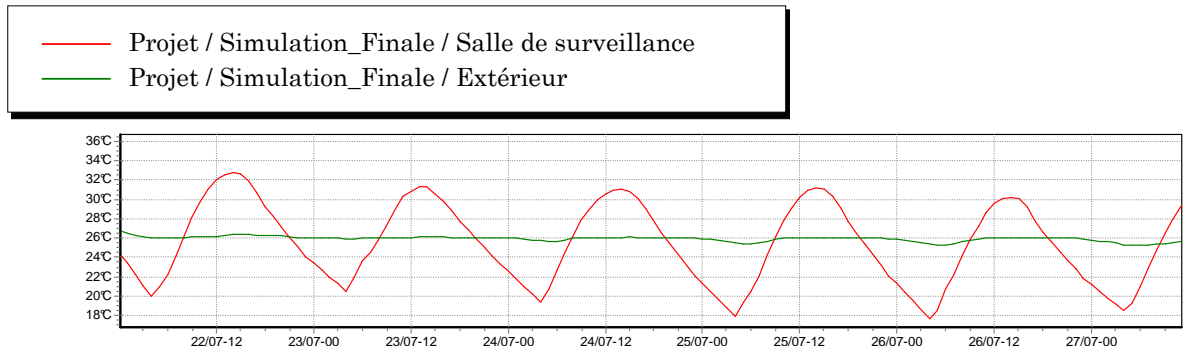


FIGURE 2.12 – Profil de température de la salle de surveillance en été

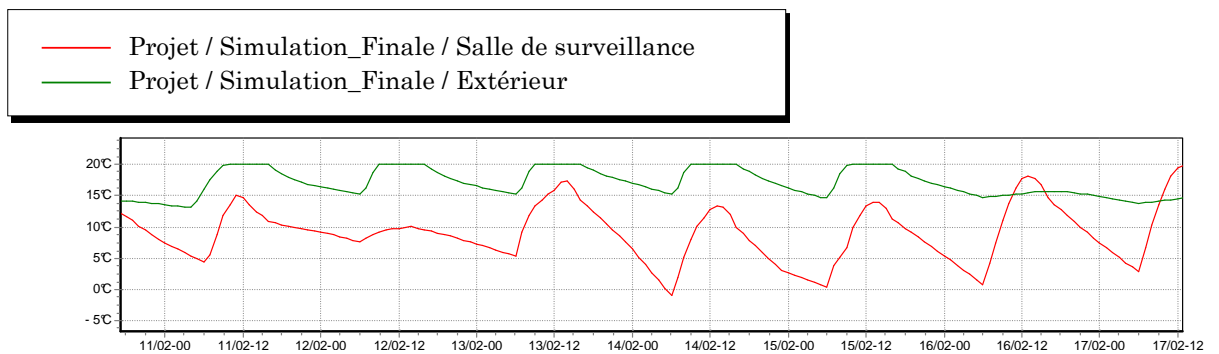


FIGURE 2.13 – Profil de température de la salle de surveillance en hiver

On remarque que le profil de température de la période hivernale est assez similaire à celui des locaux, la température est dans la plage de confort durant les heures d'occupations et en dehors sinon. En période estivale, on remarque une légère augmentation de la température dans la salle par rapport à la température de consigne qui est de 26°C, ceci est due aux perturbations de température créée par l'apport en énergie que dégage les corps humains.

2.4 Dimensionnement des capteurs solaires thermiques et photovoltaïques

Le tableau ci-dessous résume les besoins en énergie de chauffage et de climatisation de chaque zone ainsi que des indication sur les températures minimum, maximum atteintes et le niveau de confort dans chaque zone.

Zones	Besoins Ch.	Besoins Clim.	Puiss. Chauff.	Puiss. Clim.	T° Min	T° Moyenne	T° Max
Année							
Local 1	3553 kWh	773 kWh	5000 W	3000 W	11.05 °C	20.45 °C	27.65 °C
Salle de surveillance	1349 kWh	91 kWh	3000 W	300 W	11.83 °C	20.47 °C	27.38 °C
Local 2	3023 kWh	1010 kWh	5000 W	3000 W	11.84 °C	20.83 °C	27.91 °C
Salle de prière	461 kWh	209 kWh	1500 W	1800 W	12.00 °C	21.09 °C	27.72 °C
Hall+Cage d'escalier	29141 kWh	786 kWh	35000 W	5000 W	10.73 °C	19.81 °C	27.11 °C
Couloir 1	10874 kWh	1010 kWh	20000 W	4000 W	9.83 °C	20.16 °C	28.51 °C
Bureau PDG	2485 kWh	314 kWh	4000 W	1500 W	11.46 °C	20.49 °C	28.07 °C
Local 3	3478 kWh	882 kWh	5000 W	3000 W	10.99 °C	20.50 °C	27.84 °C
Bureaux administration	3507 kWh	299 kWh	7000 W	1500 W	11.37 °C	20.33 °C	27.58 °C
Cuisine	4734 kWh	655 kWh	7000 W	4683 W	10.54 °C	20.47 °C	28.59 °C
Restaurant	8497 kWh	2676 kWh	20000 W	20000 W	8.52 °C	19.47 °C	28.71 °C
ascenceurs	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	9.78 °C	18.10 °C	26.53 °C
Couloir 2	11031 kWh	959 kWh	20000 W	4000 W	9.74 °C	20.11 °C	28.45 °C
Local 4	2919 kWh	933 kWh	5000 W	3000 W	11.10 °C	20.63 °C	27.93 °C
Sanitaires 1	2090 kWh	255 kWh	3000 W	1000 W	11.04 °C	20.51 °C	27.97 °C
Issue de secour 1	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	8.30 °C	18.12 °C	27.67 °C
Local 6	3837 kWh	877 kWh	10000 W	3000 W	11.11 °C	20.60 °C	27.83 °C
Local 5	2853 kWh	967 kWh	5000 W	3000 W	11.04 °C	20.65 °C	27.99 °C
Sanitaires 2	2117 kWh	219 kWh	3000 W	1000 W	10.99 °C	20.45 °C	27.78 °C
Issue de secour 2	0 kWh	0 kWh	0 W	-0 W	8.28 °C	18.11 °C	27.66 °C
Total	95947 kWh	12917 kWh	158500 W	62783 W			

FIGURE 2.14 – Tableau synoptique des besoins de chauffage et de climatisation

Zones	Besoins Chaud+Froid	Moyenne Surchauffe Max	Amplification de T°Ext	Taux d'inconfort	Part de besoin nets
Local 1	6.44 kWh/m3	4.64 (1/10°C)	29.05 %	0.00 %	52.55 %
Salle de surveillance	8.57 kWh/m3	2.19 (1/10°C)	20.33 %	0.00 %	64.53 %
Local 2	6.00 kWh/m3	6.87 (1/10°C)	26.72 %	0.00 %	46.28 %
Salle de prière	7.98 kWh/m3	4.31 (1/10°C)	29.51 %	0.00 %	44.25 %
Hall+Cage d'escalier	8.83 kWh/m3	0.70 (1/10°C)	26.32 %	0.00 %	76.57 %
Couloir 1	12.48 kWh/m3	10.29 (1/10°C)	28.75 %	0.12 %	74.39 %
Bureau PDG	8.33 kWh/m3	8.36 (1/10°C)	25.77 %	0.00 %	56.78 %
Local 3	6.49 kWh/m3	6.18 (1/10°C)	29.93 %	0.00 %	50.69 %
Bureaux administration	8.50 kWh/m3	4.19 (1/10°C)	25.14 %	0.00 %	59.45 %
Cuisine	10.69 kWh/m3	11.49 (1/10°C)	23.76 %	0.00 %	72.98 %
Restaurant	7.39 kWh/m3	12.24 (1/10°C)	35.15 %	0.00 %	64.52 %
ascenceurs	0.00 kWh/m3	0.00 (1/10°C)	4.38 %	0.00 %	0.00 %
Couloir 2	12.60 kWh/m3	10.50 (1/10°C)	28.95 %	0.04 %	75.81 %
Local 4	6.55 kWh/m3	6.95 (1/10°C)	30.72 %	0.00 %	44.57 %
Sanitaires 1	10.47 kWh/m3	7.23 (1/10°C)	21.40 %	0.00 %	69.28 %
Issue de secour 1	0.00 kWh/m3	4.18 (1/10°C)	8.10 %	0.00 %	0.00 %
Local 6	7.01 kWh/m3	6.45 (1/10°C)	29.78 %	0.00 %	44.92 %
Local 5	6.50 kWh/m3	7.47 (1/10°C)	31.34 %	0.00 %	43.78 %
Sanitaires 2	10.43 kWh/m3	5.99 (1/10°C)	21.53 %	0.00 %	70.98 %
Issue de secour 2	0.00 kWh/m3	4.08 (1/10°C)	8.11 %	0.00 %	0.00 %

FIGURE 2.15 – Tableau synoptique des indices de besoin en énergie, de confort et de température

Les grandeurs prises en considération lors du dimensionnement des capteurs sont le besoin en énergie de chauffage, en énergie de climatisation, en énergie d'éclairage et en énergie consommée par les appareils et les machines (micro-ordinateur, pompe de ventilation, ascenseur...).

La consommation totale du bâtiment est à hauteur de 128000 kWh distribuée comme suit : 72 % consommée par le chauffage 10 % consommée par la climatisation 11 % consommée par l'éclairage 7 % consommée par l'appareillage

Surface des capteurs solaires photovoltaïques D'après les résultats de simulation, 28 % de l'énergie consommée par le bâtiment sera assurée par l'installation solaire photovoltaïque. La consommation correspond à 37 000 kWh. Pour assurer le

label énergie positive, l'énergie produite doit être égale ou supérieur à une fois et demi la consommation du bâtiment. Par conséquent, l'énergie que doit produire les panneaux photovoltaïques est 55 500 kWh. Sachant que l'ensoleillement à Alger est de l'ordre de 1700 kWh/an/m², la surface des panneaux photovoltaïques à installer est supérieure ou égale à 273 m².

Surface des capteurs solaires thermique A Alger, l'ensoleillement est de 1700 kWh. En utilisant la formule du rendement (paragraphe 1.7.2) l'énergie produite par un capteur solaire thermique est de 1300kWh. Par conséquent pour couvrir les besoins en chauffage et celle de la production de l'eau chaude sanitaire du bâtiment, la surface des panneaux solaires thermiques installés sera de 75m².

En période d'hiver, les capteurs thermiques ne peuvent satisfaire l'intégralité des besoins de chauffage. Par conséquent, une chaudière d'appoint à gaz est installée pour pallier à ce déficit.

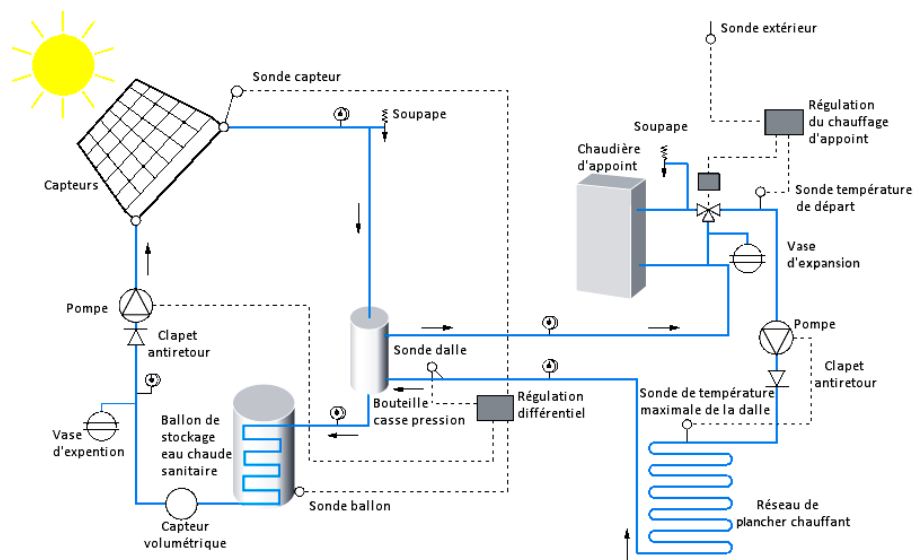


FIGURE 2.16 – Schéma de principe d'une installation Plancher Solaire Directe

2.5 Conclusion

Le but de ce chapitre était de dimensionner les éléments de production d'énergie de divers technologie qui assureront la consommation du bâtiment et permettront de lui attribuer le label "énergie positive". Pour atteindre cet objectif nous avons emprunté les étapes suivantes :

- Simuler le bâtiment ECOVER.
- Relever ses besoins énergétiques.
- Combler ces besoins énergétique en se basant sur l'énergie solaire photovoltaïque et thermique.
- Evaluer la production et l'énergie reçue en fonction du site de construction.
- Optimiser le dimensionnement des capteurs solaires photovoltaïques et thermiques.

Chapitre 3

Commande de la chaîne de production d'énergie photovoltaïque

*'L'idée du soleil comme source d'énergie de l'avenir n'est pas neuve,
mais certains disent qu'on est déjà dans l'avenir.'*

Huges MARTEL : Narrateur Superstructures

Le projet 'NEVADA Solar1'

3.1 Caractéristiques de la puissance photovoltaïque

Nous avons évoqué à maintes reprises la nécessité de promouvoir le développement durable vue le contexte énergétique mondial actuel. Dans cette optique, les gouvernements sont de plus en plus impliqués dans cet élan de prise de conscience et favorisent le développement des énergies renouvelables. L'une des ressources qui détient la part du lion dans ces stratégies est l'énergie solaire photovoltaïque. Cependant, et malgré le développement des technologies, les panneaux photovoltaïques restent à rendement très faible (silicium monocristallin et poly-cristallin atteignent par exemple des rendements de 12% à 18%). Les panneaux à concentration ont un rendement relativement élevé (de l'ordre de 21%) mais ils sont excessivement chers. Afin de collecter le maximum d'énergie des cellules photovoltaïques, des algorithmes ont été développés donnant naissance à une nouvelle discipline nommée Maximum Power Point Tracking ou MPPT. Nous nous sommes intéressés dans cette section à un algorithme particulier : le MPPT basé sur la logique floue.

Comme la puissance extractible est en fonction de la tension à la sortie des panneaux photovoltaïque et en fonction de la température et de l'ensoleillement (comme le montre la figure 3.1), un système de commande est nécessaire [6].

3.2 Poursuite du point de puissance maximale

Plusieurs techniques traitant la MPPT ont été développées :

- Méthodes à contre réaction de tension : Ces méthodes se basent sur l'asservissement de la tension du générateur à une tension de référence. La tension de référence peut être fixe, en fonction de V_{oc} ou externe (cellule pilote).
- Méthodes à contre réaction de courant : Par analogie avec les méthodes de contre réaction de tension, le courant de court circuit du générateur permet

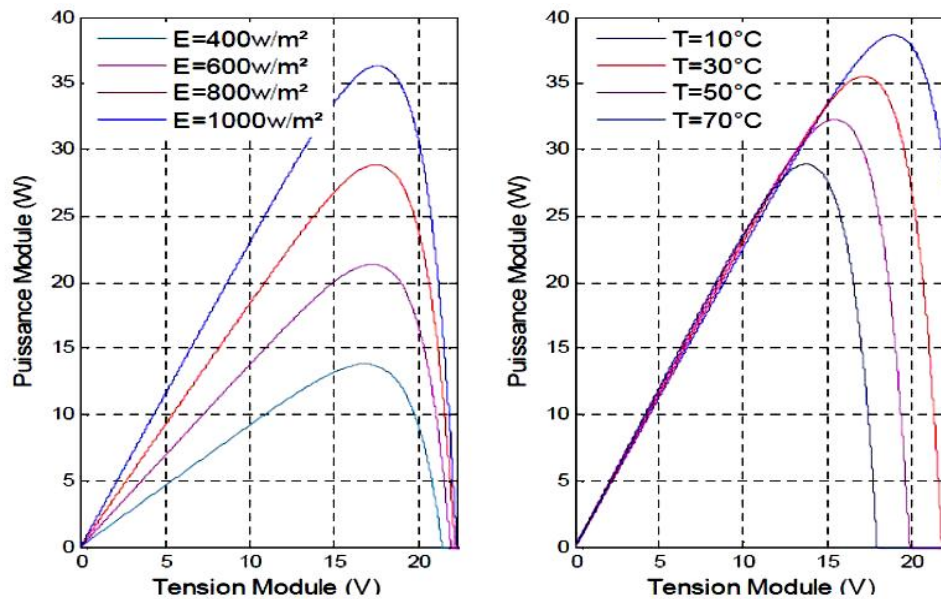


FIGURE 3.1 – (a) variation de la puissance en fonction de l'éclairement (b) Variation de la puissance en fonction de la température [16]

de connaître la valeur du courant optimal qui correspond au fonctionnement à puissance maximale du générateur. Le courant optimal est proportionnel au courant de court circuit.

$$I_{mpp} = K I_{sc}.$$

Où K est un coefficient généralement entre 0.78 et 0.92.

- Méthodes à contre réaction de puissance : Ces méthodes se basent sur des algorithmes de recherche itérative qui permettent de trouver le point de fonctionnement maximal du générateur sans interruption du système. La puissance extraite du générateur est calculée en multipliant les valeurs du courant et de la tension mesurées. Le sens de sa variation est connu par le calcul approximatif de la dérivée $dP = P(k) - P(k - 1)$ sur un temps d'échantillonnage.
- Méthodes intelligentes : elles se basent sur les techniques intelligentes nouvelle-

ment introduites dans le domaine des MPPT. Il s'agit des réseaux de neurones et de la logique floue, qui fera l'objet de cette étude.

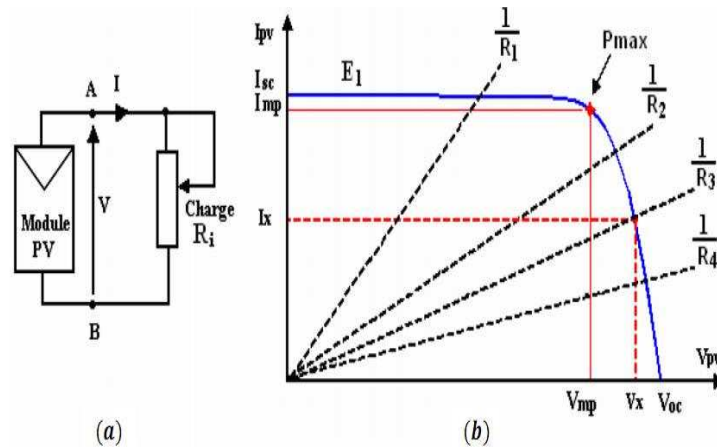


FIGURE 3.2 – (a) Connexion électrique directe entre un générateur PV et une charge (b) Points de fonctionnement résultant de l'association des générateurs PV sous un niveau d'éclairement E_1 avec une charge résistive variable (R_1, R_2, R_3, R_4) [16]

3.3 Régulation MPPT type floue

3.3.1 Principe de la commande MPPT floue du hacheur

Il est connu que la commande par logique floue comporte trois étapes : la fuzzification, l'inférence floue et la defuzzification. Nous allons suivre cette même démarche dans la commande MPPT. Les grandeurs d'entrée du régulateur sont l'erreur E et l'écart de l'erreur ΔE . Le rapport cyclique est la grandeur de sortie.

Le système de commande MPPT agit sur le hacheur en adaptant son rapport cyclique afin d'arriver au point de puissance maximale. Dans cette optique, nous allons utiliser un hacheur de type buck-boost (hacheur survolteur-dévolteur).

On ferme le commutateur avec un temps de fermeture égal à $d.T_s$, et on l'ouvre

pendant un temps d'ouverture égal à $(1 - d)T_s$, où T_s est la période de commutation et d est le rapport cyclique du commutateur ($d \in [0, 1]$) [6].

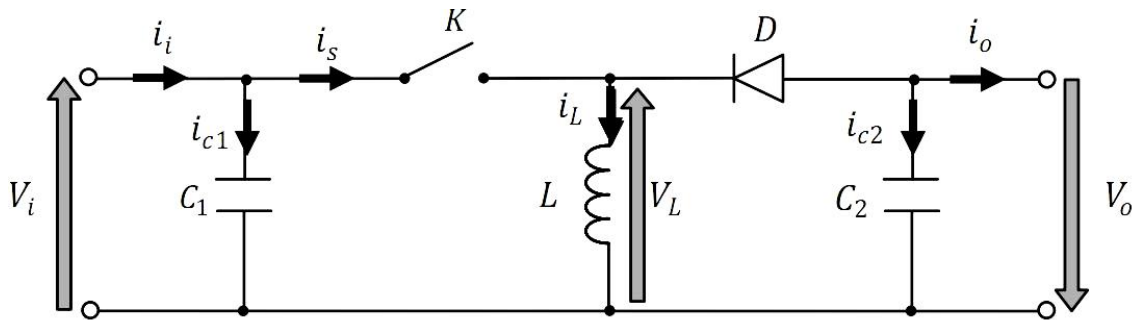


FIGURE 3.3 – Schéma du hacheur buck-boost [16]

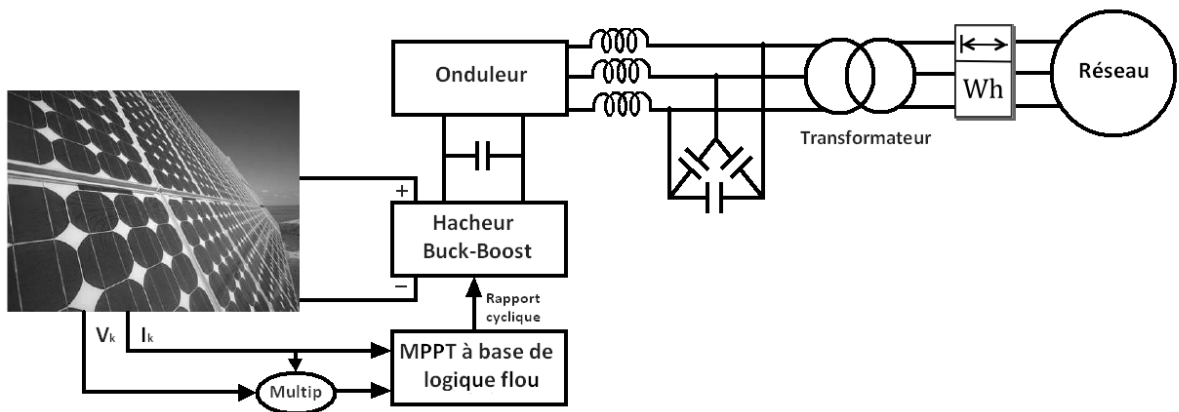


FIGURE 3.4 – Schéma de principe d'un panneau photovoltaïque raccordé au réseau commandé par MPPT

3.3.2 Régulation en courant type Mamdani

Pour synthétiser ce type de régulateur qui va optimiser la puissance du signal à la sortie du panneau photovoltaïque, ces étapes sont nécessaires :

La fuzzification Après avoir mesuré la tension et le courant du générateur photovoltaïque, la puissance sera calculée à partir de la relation $P_{ph} = I_{ph}V_{ph}$. A partir de cette formule, on pourra calculer l'erreur ainsi que son écart définis comme suit :

$$E(k) = \frac{dP(k)}{dI(k)} - \frac{dP_{max}}{dI} = \frac{dP(k)}{dI(k)} = \frac{(P(k) - P(k-1))}{(I(k) - I(k-1))}$$

$$\Delta E = E(k) - E(k-1)$$

Moins E est positive, plus la valeur de P croît. Et inversement, plus E est négative, plus la valeur de P décroît. Enfin, quand E tend vers 0, la valeur de P tend vers son maximum 'le MPP'. Cette méthode nous permet de calculer le dU qu'on doit ajouter à la commande en fonction de la valeur de l'erreur et celle de sa dérivée. Ainsi, lorsque dE tend vers 0, le système se stabilise alors à un MPP local (mais pas forcément le MPP global).

L'incrément d_i correspond à la valeur d'ajustement additionnée au courant I à chaque itération de l'algorithme ($I(k) = I(k-1) + d_i$). Nous avons défini cinq classes d'incrément allant du grand incrément négatif au grand incrément positif. Ces cinq classes de sorties correspondent aux cinq règles du régulateur flou.

Pour les deux variables E et d_i , nous avons défini Les variables linguistiques suivantes :

- NB : negative big
- NS : negative small
- Z : zero

- PS : positive small
- PB : positive big

Pour la variable ΔE , nous avons défini les variables linguistiques suivantes :

- DR : décroît rapidement
- D : décroît
- S : stable
- C : croît
- CR : croît rapidement

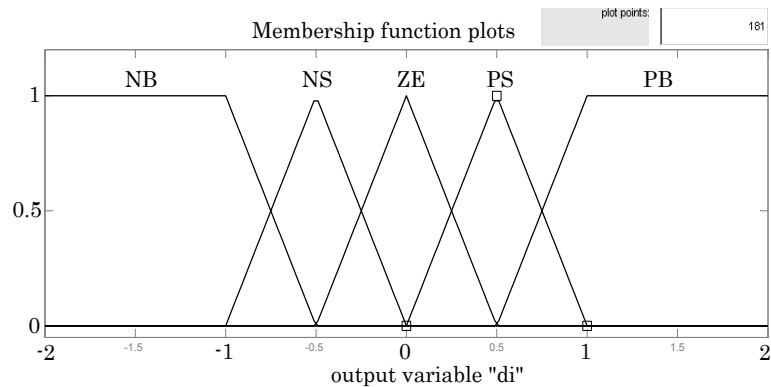


FIGURE 3.5 – Plage de variation des variables linguistiques

Système d'inférence On calcule le degré d'activation v_i de chacune des règles R_i . La conséquence finale est obtenue par max-union de toutes les conséquences partielles.

Défuzzification Cette partie nous permet de calculer la sortie du régulateur à partir des fonctions d'appartenance et des règles d'inférence. Il existe plusieurs méthodes de défuzzification dont la moyenne des maxima, la bissectrice et la méthode du centre de gravité que nous avons utilisé dans notre régulateur.

E	ΔE	DR	D	S	C	CR
	NB		ZE	ZE	NB	NB
NS		ZE	ZE	NS	NS	NS
Z		NS	ZE	ZE	ZE	PS
PS		PS	PS	PS	ZE	ZE
PB		PB	PB	PB	ZE	ZE

TABLE 3.1 – Table d'inférence floue pour la méthode de Mamdani

3.3.3 Régulation en courant type Takagi-Sugeno

La partie fuzzification est la même que celle de la méthode de Mamdani. Cependant, nous avons adapté les plages de variation des variables linguistiques. Dans ce qui suit, nous allons exposer les plages des variables linguistiques et les règles d'inférence adoptées dans cette méthode.

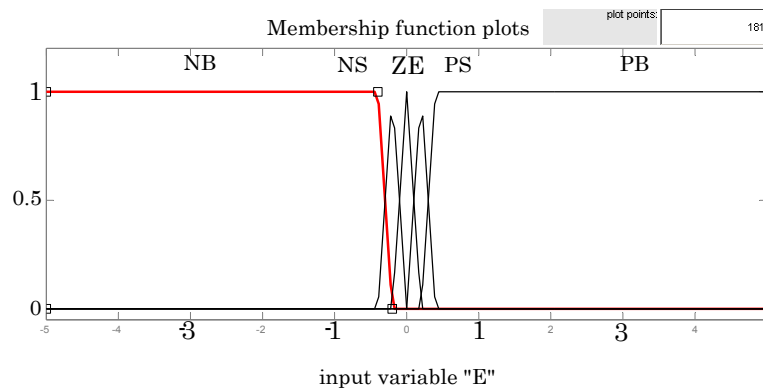


FIGURE 3.6 – Plage de variation des variables linguistiques de la méthode Takagi-Sugeno

Nous avons défini la variable d_i comme suit :

- $d_{NG} = -1$ (rapport cyclique négatif grand)

- $dN = -0.5$ (rapport cyclique négatif)
- $dZ = 0$ (rapport cyclique zéro)
- $dP = 0.5$ (rapport cyclique positif)
- $dPG = 1$ (rapport cyclique positif grand)

E \ ΔE	DR	D	S	C	CR
NB	dNG	dNG	dN	dZ	dN
NS	dNG	dN	dZ	dP	dN
Z	dN	dN	dP	dP	dZ
PS	dN	dZ	dP	dPG	dP
PB	dZ	dP	dPG	dPG	dP

TABLE 3.2 – Table d'inférence floue pour la méthode Takagi-Sugeno

3.4 Résultat des simulations

Les figures suivantes montrent le résultat de simulation obtenu après avoir synthétisé des régulateurs flous type Mamdani (figures 3.9 3.10) et la puissance sans régulateur MPPT (figure 3.7).

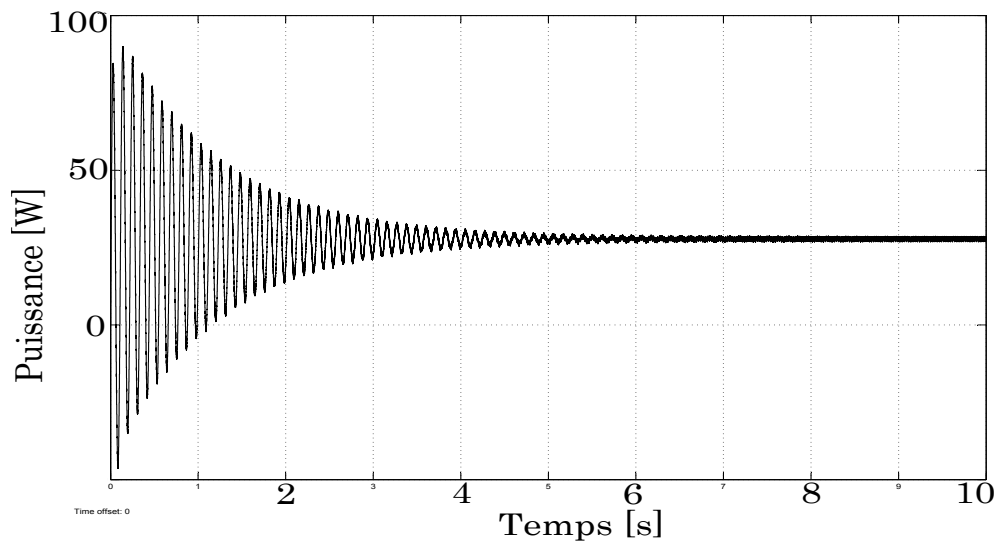


FIGURE 3.7 – Puissance PPV sans MPPT

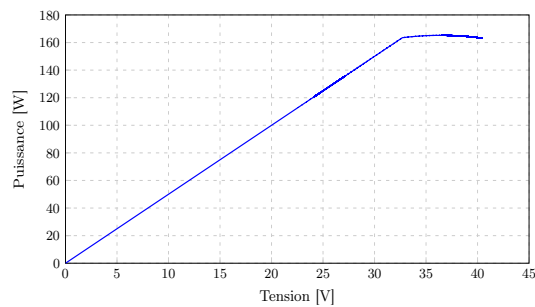


FIGURE 3.8 – Courbe de la puissance en fonction de la tension montrant le point de puissance maximale

La simulation montre que le régulateur type Mamdani (figures 3.9 3.10) fait osciller le système autour de son point de fonctionnement maximal avec un temps

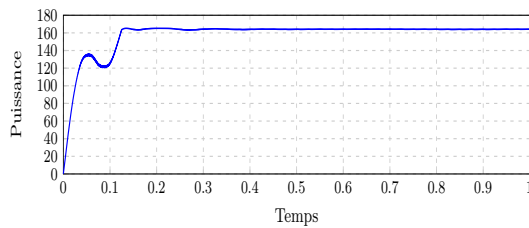


FIGURE 3.9 – Réponse du système photovoltaïque à la régulation floue type Mamdani du courant

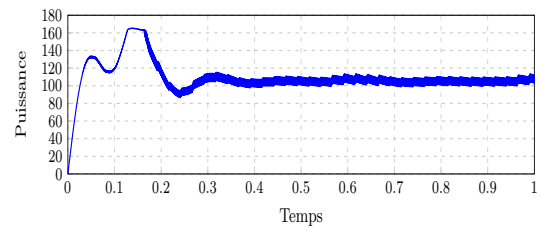


FIGURE 3.10 – Réponse du système photovoltaïque à la régulation floue type Mamdani de la tension

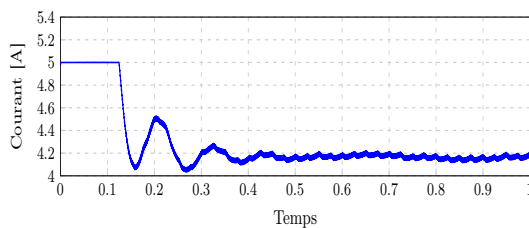


FIGURE 3.11 – Courant de sortie du panneau photovoltaïque avec une régulation floue type Mamdani

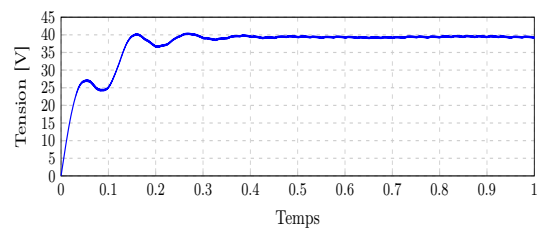


FIGURE 3.12 – Tension de sortie du panneau photovoltaïque avec une régulation floue type Mamdani

de réponse très petit (0.2 sec). Les deux extrema sont dues à la nature du hacheur (buck-boost) et à la valeur de la capacité d'entrée du hacheur. La figure 3.8 montre bien que le point de puissance maximale qui est de l'ordre de 165 W est atteint par réglage flou.

On remarque que le régulateur type Sugeno (figure 3.13) donne un meilleur résultat niveau oscillation autour du MPP et avec un temps de calcul largement inférieur à celui du régulateur flou type Mamdani du fait de l'absence de la partie défuzzification qui demande beaucoup de temps de calcul.

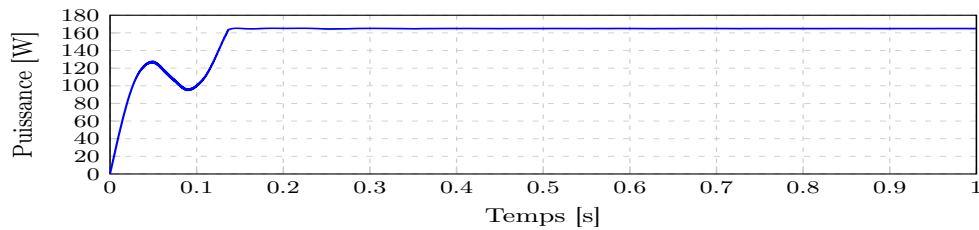


FIGURE 3.13 – Réponse du système photovoltaïque à la régulation floue type Takagi-Sugeno

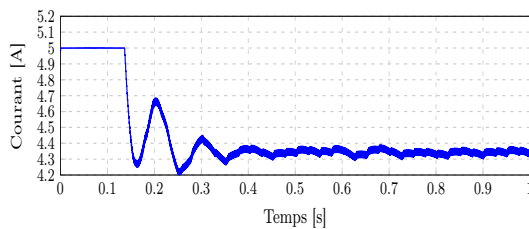


FIGURE 3.14 – Courant de sortie du panneau photovoltaïque avec une régulation floue type Sugeno

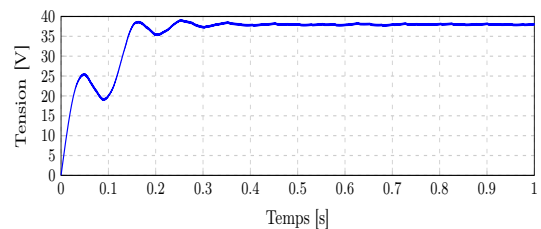


FIGURE 3.15 – Tension de sortie du panneau photovoltaïque avec une régulation floue type Sugeno

3.5 Les onduleurs photovoltaïques

Au niveau mondial, le marché des systèmes photovoltaïques connaît, depuis maintenant plus de 10 ans, un taux de croissance très élevé (de l'ordre de 30 à 40% par an). Cette croissance exceptionnelle, due principalement aux systèmes photovoltaïques raccordés au réseau de distribution d'électricité, se traduit bien évidemment par des innovations technologiques et une baisse de coûts des modules photovoltaïques mais aussi à des efforts importants de recherche et développement dans le domaine de l'électronique de puissance. En effet, les performances des techniques et la fiabilité des onduleurs utilisés pour le raccordement des modules photovoltaïques au réseau sont des paramètres pouvant varier très fortement la production d'énergie électrique annuelle et par conséquent, les gains dus à la vente de l'élec-

tricité. Dans ce paragraphe, nous allons exposer les différents types d'onduleurs photovoltaïques, quelques détails technologiques et synthétiser une commande qui nous permet d'exploiter l'énergie photovoltaïque, et enfin, raccorder l'installation au réseau.

Les onduleurs destinés aux systèmes photovoltaïques sont quelques peu différents des onduleurs classiques utilisés en électrotechnique. Toujours est-il que l'objectif de conversion AC/DC reste le même. Pour un éclairement et une température donnés, la tension en circuit ouvert ou à forte charge est à peu près constante (assimilable à une source de tension), tandis qu'en court-circuit ou à faible charge le courant est pratiquement constant (source de courant). Le générateur n'est alors, ni vraiment une source de tension, ni vraiment une source de courant non plus. La tension du circuit ouvert est sensible à la température et diminue quand la température augmente. Le courant de court-circuit est quant à lui proportionnel à l'éclairement. En régime permanent établi, la tension et le courant du capteur sont considérés comme constants. L'utilisation d'un onduleur de tension plutôt qu'un onduleur de courant est alors essentiellement due à des raisons technologiques.

3.5.1 Choix de l'onduleur

Le bâtiment à énergie positive est un site de production locale d'énergie injectant son surplus de production dans le réseau local. Ce dernier exige une bonne qualité du signal. Pour ce faire, un choix approprié de la structure de l'onduleur ainsi que sa commande est primordial.

On a trouvé dans l'onduleur à trois niveaux à structure N.P.C un choix adapté aux exigences énergétique ainsi que celles du raccordement au réseau. En effet, il nous permet d'obtenir des tensions de sorties plus élevées avec un meilleur taux d'harmonique que celui de l'onduleur triphasé commandé par MLI [13].

Structure de l'onduleur

L'onduleur triphasé à trois niveaux à structure N.P.C comporte deux sources de tension continue et trois bras symétriques. Chaque bras est constitué de quatre paires (diodes-transistor), représentant chacune un interrupteur bidirectionnel. Aussi on a deux diodes médianes (DD_{k0} et DD_{k1}) permettant d'avoir le niveau zéro de la tension de sortie de l'onduleur. Cette structure impose l'utilisation d'interrupteurs commandables à l'amorçage et au blocage. La structure N.P.C utilise deux tensions d'entrées : U_{C1} et U_{C2} . Elle consiste à créer un point milieu sur l'étage de tension continue de valeur E égale à leur somme. Ceci nous permet d'avoir une onde plus proche de la sinusoïde qu'avec les structures classiques (figure 3.16) [13].

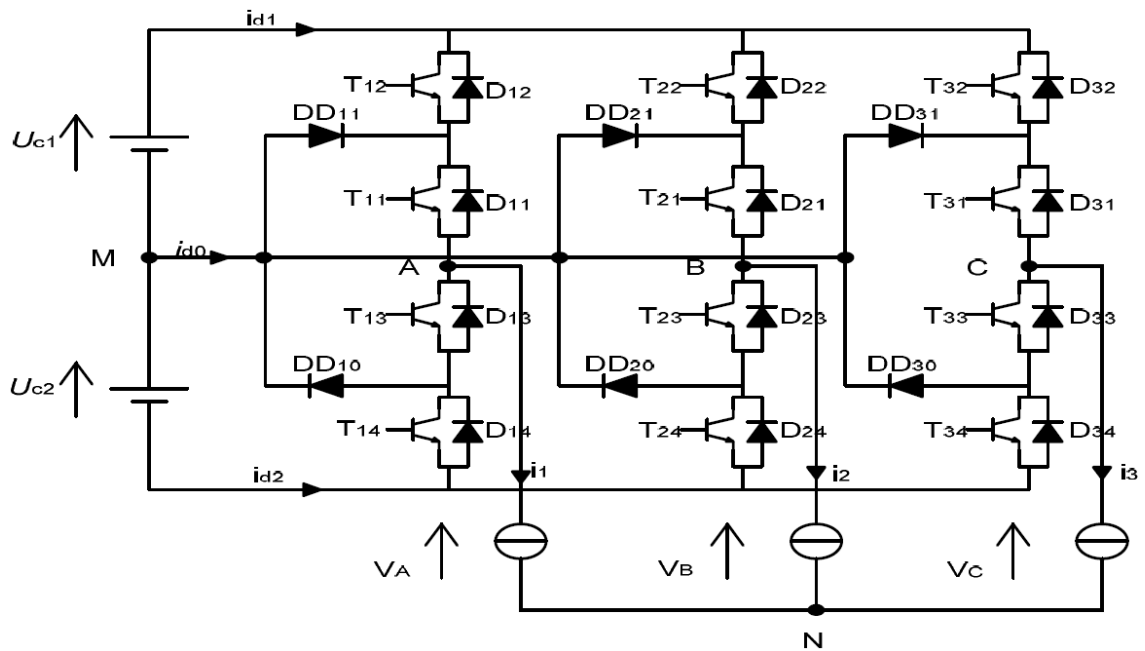


FIGURE 3.16 – Onduleur trois niveaux à structure N.P.C [13]

L'onduleur de tension impose à sa sortie un système de tensions sous forme de créneaux modulés en largeur d'impulsions (MLI ou PWM en anglais)(figure 3.18). Ces créneaux ne posent aucun problème pour l'alimentation d'un moteur, mais sont incompatibles avec les tensions sinusoïdales du réseau.

On place alors entre chaque sortie de l'onduleur et chaque phase du réseau (onduleur monophasé ou triphasé) un filtre RLC qui permet à l'onduleur de fournir au réseau des courants quasi-sinusoïdaux : d'un point de vue formel, elle transforme l'onduleur de tension en onduleur de courant.

Gamme de tension d'entrée

Une large gamme de tension d'entrée facilite le choix de l'onduleur lors du dimensionnement du système. Un module photovoltaïque de plus ou de moins dans le système ne remet plus forcément en cause le choix de l'onduleur. En revanche, il n'est pas suffisant d'avoir une tension de sortie du générateur comprise dans la gamme de tensions d'entrée de l'onduleur pour avoir un rendement maximal. Cependant il n'est pas possible d'affirmer qu'une grande tension est plus adaptée qu'une tension plus faible.

Des convertisseurs élévateurs (boost) sont utilisés pour élargir cette gamme d'entrée. Ils permettent de convertir de petites tensions d'entrée avec des courants importants en grandes tensions et faibles courants. L'onduleur ne nécessite alors pas un puissant transformateur. Il est plus aisé d'améliorer le rendement en travaillant avec des courants faibles car les pertes sont moins importantes, même si le convertisseur lui-même provoque quelques pertes $\{ \text{ondul}_P V_H \text{ESPUL} \}$.

3.5.2 Technique de commande des onduleurs

Pour obtenir les tensions de sorties triphasées, il faut disposer des tensions de références des trois phases de l'onduleur lesquelles forment un système triphasé (figure 3.17). La comparaison de chacune de ces références aux porteuses triangulaires donne les signaux de commande des interrupteurs. Nous avons volontairement choisi un indice de modulation impair et grand afin d'avoir un calage optimal éliminant ainsi les harmoniques d'ordres pairs.

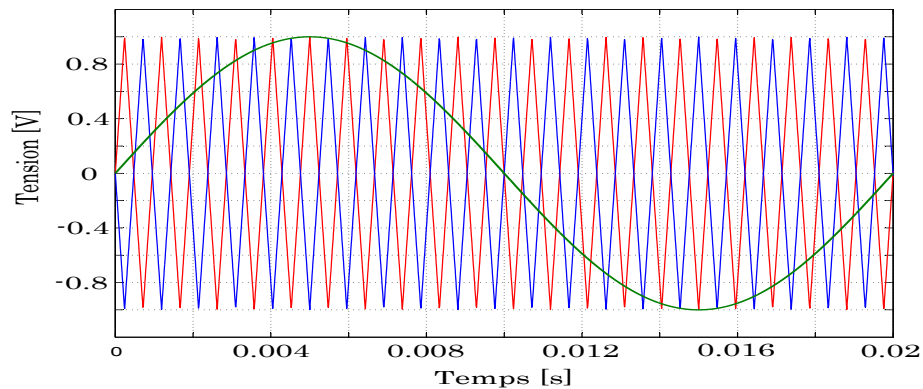


FIGURE 3.17 – Pont triphasé commandé par MLI triangulo-sinusoïdale

3.5.3 Résultat des simulations

L'implémentation dans un script MATLAB de la PWM d'un système triphasé, avec trois niveaux et deux porteuses, a donné la tension de sortie suivante :

La tension obtenue est un signal en créneaux à quatre étages bien adapté au réseau local mais pose des problèmes lors du raccordement au réseau. Afin de pallier à ce problème, un filtre RLC est monté en série avec l'onduleur (figure 3.4). La figure suivante donne le courant à la sortie du filtre.

La valeur efficace de la tension simple de phase est $\hat{V}_{na}=15.43$ V et la valeur efficace du fondamental est $\hat{V}_1=14.15$. Avec un THD égal à :

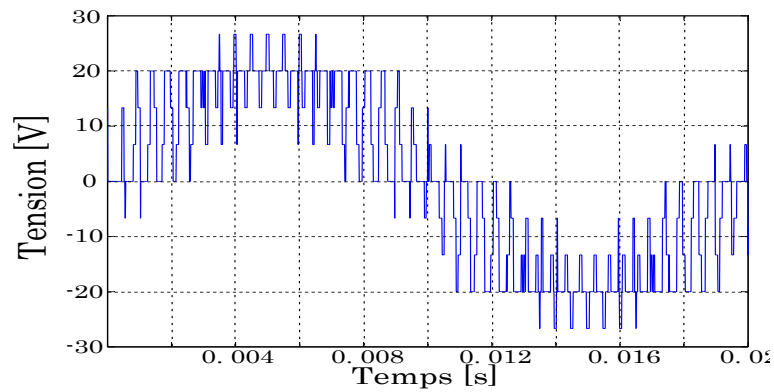


FIGURE 3.18 – La tension simple à la sortie de l'onduleur

$$THD = \frac{\hat{V}_{na}}{\hat{V}_1} = 1.09$$

Soit près de 92% du fondamental. Ceci nous conforte sur le choix de la technique qui théoriquement donnait de meilleurs résultats que la MLI.

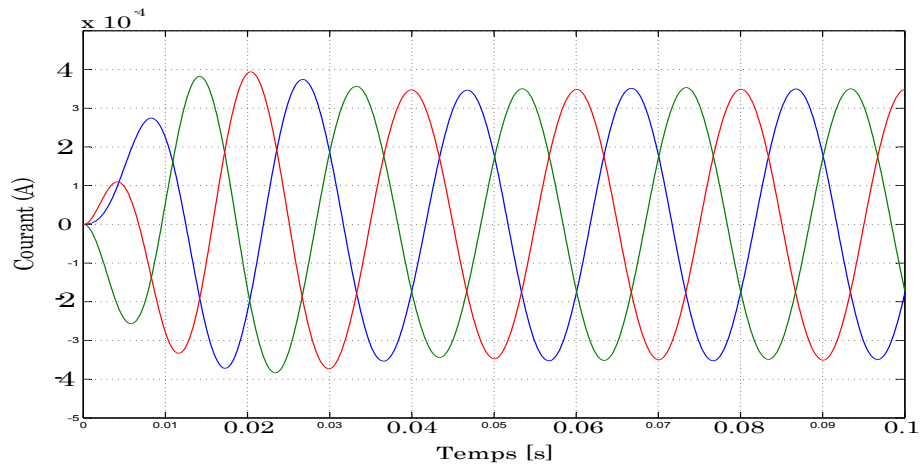


FIGURE 3.19 – Courant à la sortie du filtre RLC

La figure 3.19 montre le courant à la sortie du filtre RLC qui est, après le régime transitoire, sous une forme sinusoïdale quasi parfaite et qui montre encore une fois que le choix de la NPC est approprié à ce type de bâtiment.

3.6 Conclusion

Après avoir dimensionné les capteurs solaires photovoltaïques et thermiques dans le chapitre 2, nous avons, dans ce chapitre, utilisé des algorithmes qui permettent d'optimiser la puissance extraite des panneaux photovoltaïques et ensuite de les raccorder au réseau. Pour ce faire, nous avons commandé deux sous-systèmes :

- Commande MPPT du hacheur par logique floue.
- Commande PWM de l'onduleur triphasé.
- Filtrage du signal triphasé permettant un raccordement au réseau de meilleure qualité.

Chapitre 4

Application de la GTB dans la régulation thermique du bâtiment

*‘Le secteur du bâtiment se positionne dorénavant comme un acteur
clé pour parvenir à résoudre les inquiétants défis environnementaux
auxquels nous devons faire face.’*

Agence de l’Environnement et de la Maîtrise de l’Energie

Après avoir simulation du comportement énergétique et thermique du bâtiment à énergie positive au chapitre 2, une étude sur la stratégie de régulation de la température dans différentes zones sera proposée dans ce chapitre. La technique de régulation par hystérésis sera détaillée dans ce qui suit. Ensuite, dans le but d'optimiser l'énergie de chauffage et de climatisation une régulation par logique floue est proposée.

4.1 La régulation des bâtiments à occupation intermittente

Dans les bâtiments tertiaires, comme étudié dans ce travail, l'occupation des lieux suit exactement les heures de travail et par conséquent ne sont occupés que'une dizaine d'heures par jours. D'autre part, si on prend en considération les week-end, on peut facilement constaté que d'importantes économies en énergie peuvent être réalisées grâce la programmation d'intermittence du bâtiment.

Un scénario d'occupation est caractérisé par une heure de relance de la régulation H_1 , une heure d'arrêt de régulation H_2 et une température de consigne. Les heures de relance, d'arrêt de régulation et la consigne de température varient suivant les zones. Pour cela, la gestion technique des bâtiments s'avère indispensable afin de gérer la régulation des différentes zones et de réduire la consommation énergétique.

4.2 Equipements utilisés dans la régulation de température en GTB

La régulation de température dans les bâtiments nécessite l'utilisation de deux équipements : les capteurs de température et les automates programmables munis d'une interface homme-machine (HMI) nécessaire à la supervision et le contrôle de l'installation.

4.2.1 Les capteurs de température

Le capteur de température constitue un organe fondamental dans la boucle de régulation thermique. Il permet de traduire la grandeur de température en une grandeur électrique exploitable par les organes de contrôle. Il peut être un capteur analogique fournissant un signal 0-10V, 0-20mA ou 4-20mA comme il peut être numérique fournissant une sortie TOR (tout ou rien) vers l'organe de commande. Dans le cas de la présente étude, un capteur analogique est utilisé. Il doit être placé dans un endroit donnant une moyenne de la température de la zone.

4.2.2 Les contrôleurs

Dans les boucles de régulation, le contrôleur est l'organe qui se charge la régulation du système. Il procède par la lecture des entrées provenant des capteurs, puis, exécute l'algorithme de régulation et génère des sorties pour la commande des actionneurs ([1]).

Dans le cas de cette étude nous proposons une commande d'optimisation de la régulation thermique réalisé par STEP-7 en utilisant l'automate Siemens.

4.3 Principe de la régulation thermique proposée

4.3.1 Commande par hystérésis d'une zone

Cahier de charge

- La régulation de température ne se déclenche que pendant les heures d'occupation spécifiées dans le scénario.
- La température de consigne de chauffage est de 20°C et celle de climatisation est de 26°C
- L'hystérésis de chauffage et de climatisation est de ± 1 .

Cette méthode est illustrée dans le Grafcet de la figure 4.1

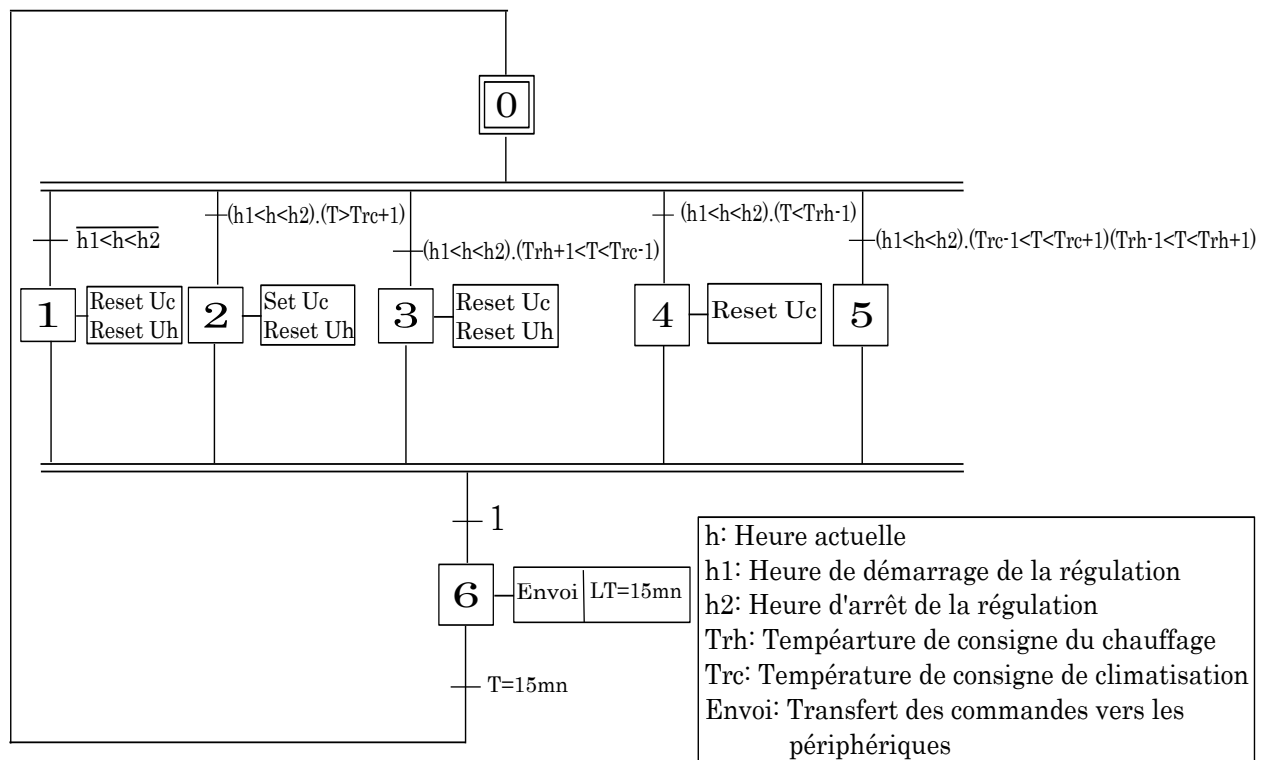


FIGURE 4.1 – Grafcet du système de régulation thermique du bâtiment par hystérésis

4.3.2 Commande par logique floue d'une zone

Cette approche nous permet de générer une commande en vue de la régulation thermique du bâtiment. Cette commande est continue et douce, par conséquent, elle est moins énergétiquement que la précédente et convient mieux au bâtiment.

Dans ce qui suit, nous allons présenter le grafctet de cette régulation. Pour clarifier au mieux cette approche, nous allons l'exposer dans un grafctet qui fera appel à un autre sous programme de régulation appelé SPF ayant comme arguments la température de la zone et celle de la consigne [SPF(T,Tref)] (figure 4.2)

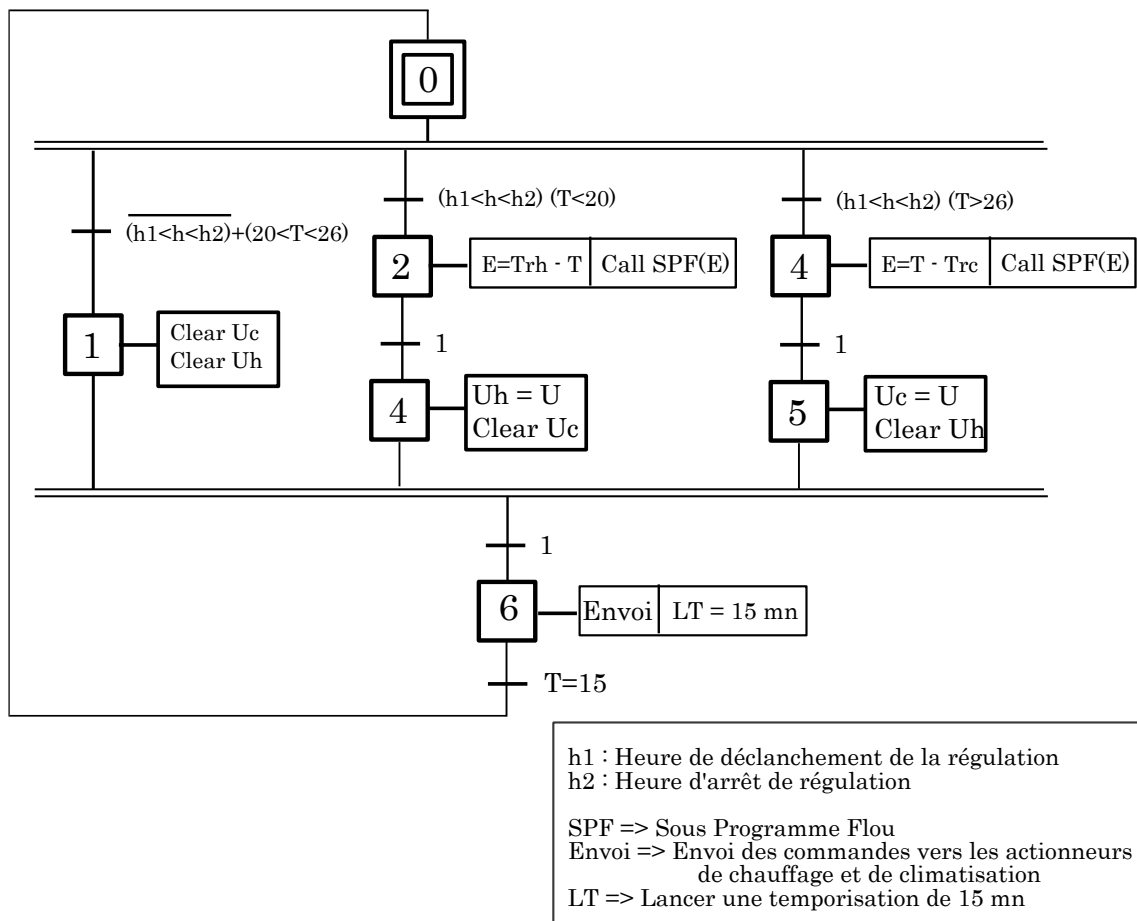


FIGURE 4.2 – Grafctet de la régulation thermique par logique floue

4.3.3 Commande par logique floue de toutes les zones

Cette approche donne une vision très pratique de la régulation thermique. En effet, une régulation thermique optimisée de toutes les zones du bâtiment est proposée. Vu la particularité de ce système, une combinaison de la logique câblée et programmable est nécessaire dans sa conception. Ceci permet une optimisation dans le nombre d'automates nécessaires dans une telle régulation. En effet, au lieu de mettre comme entrée dans l'automate les températures de chaque zone ainsi que leurs plages horaires de régulation (60 inputs, 40 outputs), on propose un circuit annexe permettant un multiplexage de la température à l'entrée de l'automate en plus de l'introduction des scénarios d'occupation dans des blocs de données à l'intérieur même du régulateur permettant de réduire le nombre d'input à 6 inputs et celui des outputs à 3 comme illustré dans les figures suivantes (figures 4.4 4.3).

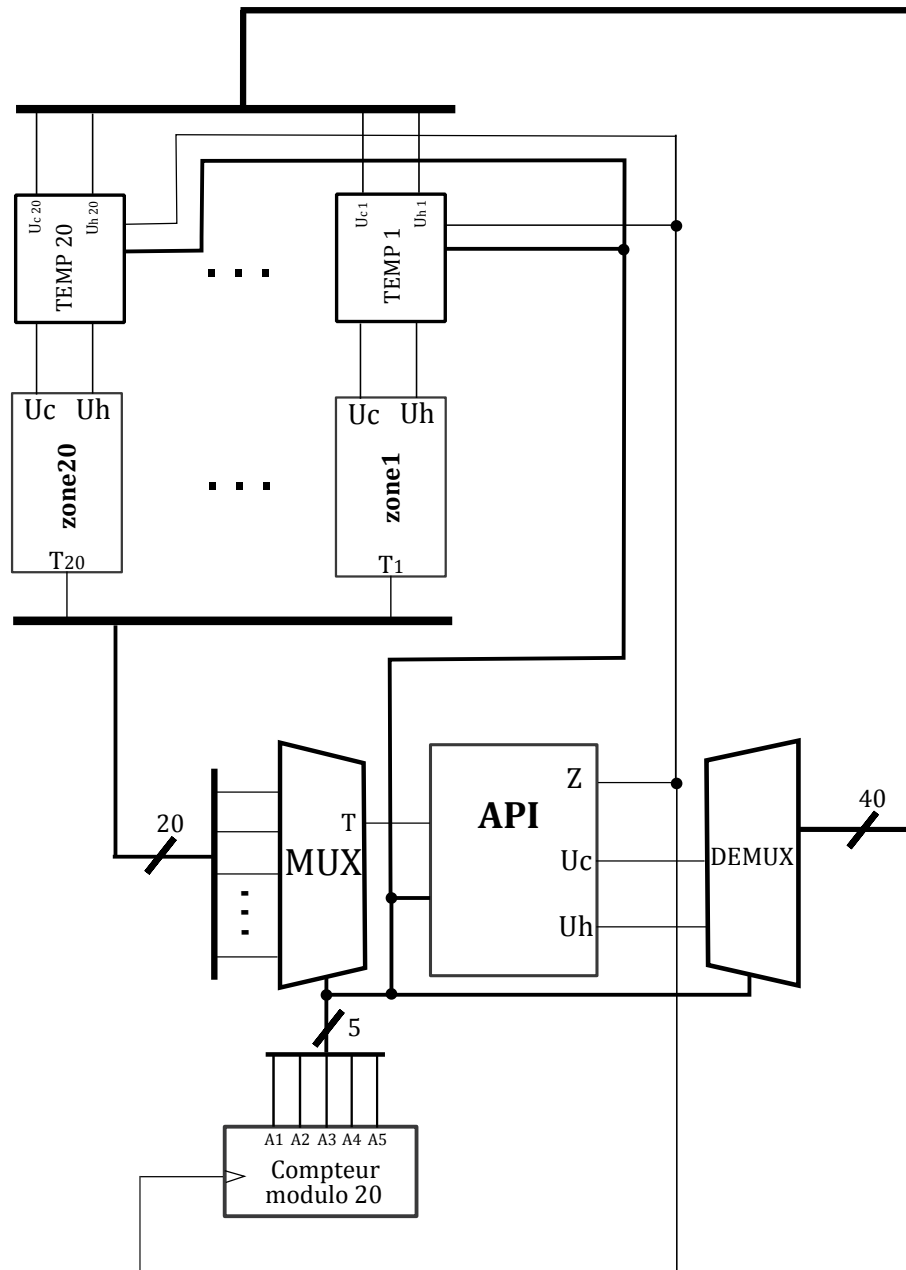


FIGURE 4.3 – Schéma de principe de la régulation thermique de toutes les zones du bâtiment

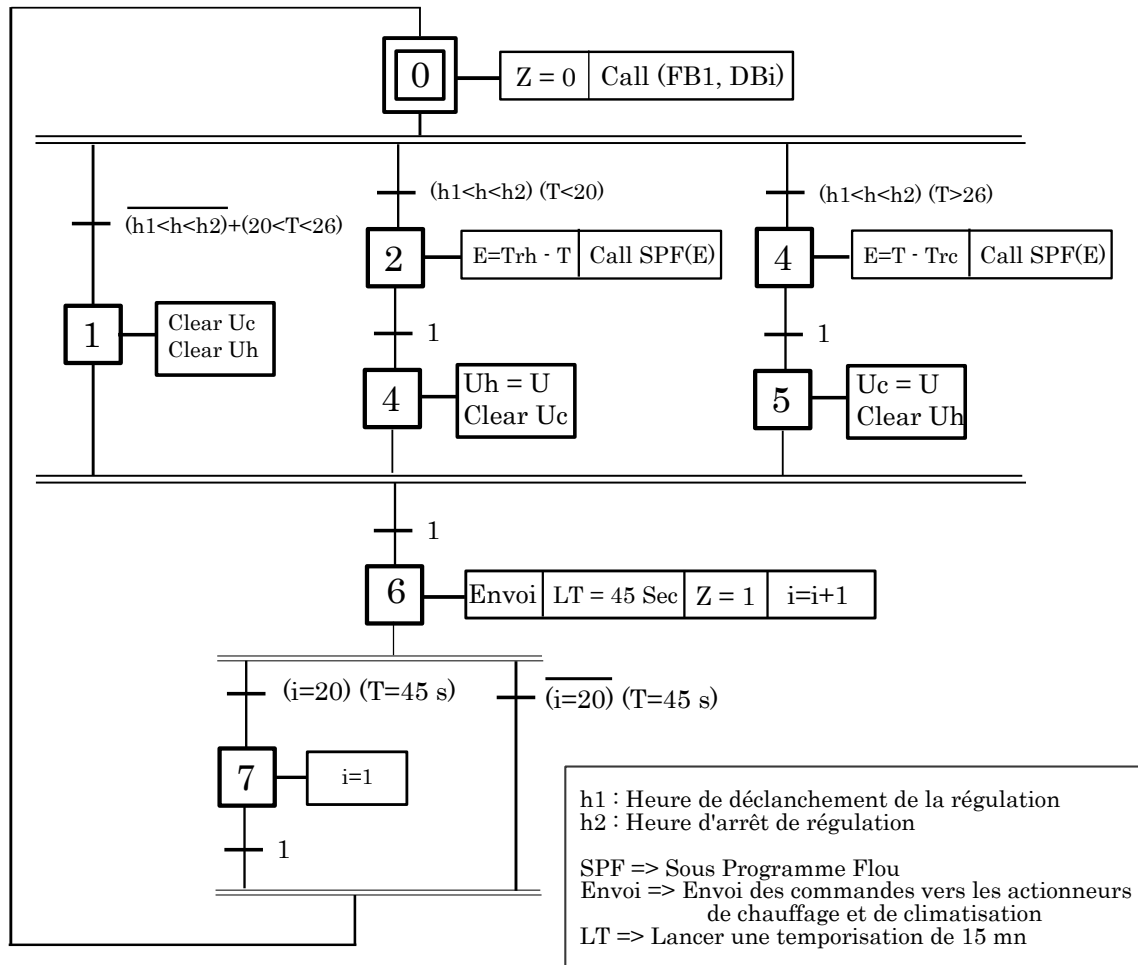


FIGURE 4.4 – Grafcet de la régulation thermique par logique floue de toutes les zones

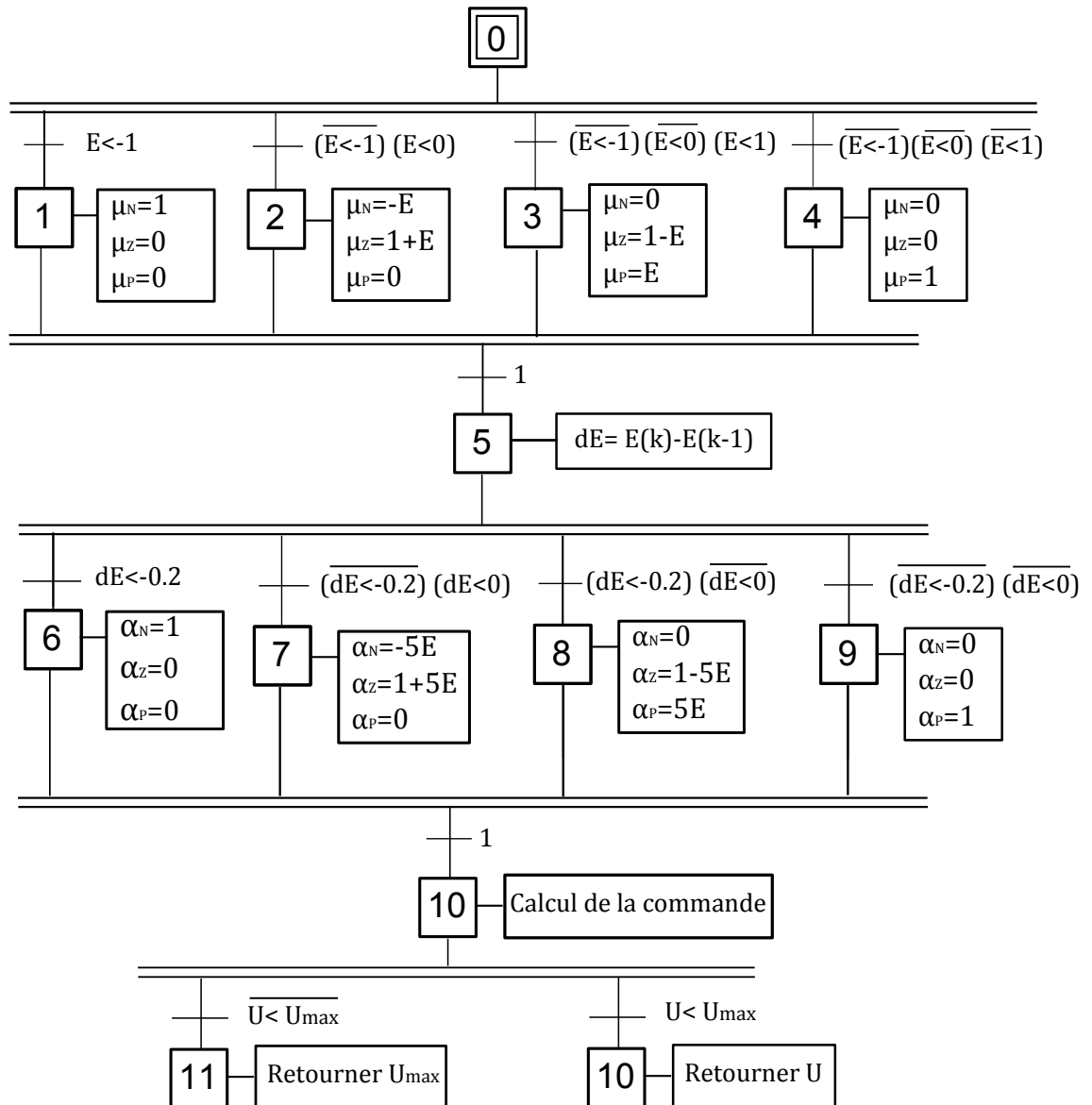


FIGURE 4.5 – Grafset du sous-programme de régulation par logique floue

Retourner la commande Le sous programme ci-dessus (figure 4.5) permet de retourner lorsqu'il est appelé la valeur de la commande en utilisant l'algorithme suivant :

$$\lambda_1 = \min(\mu_N, \alpha_N)$$

$$\lambda_2 = \min(\mu_Z, \alpha_N)$$

$$\lambda_4 = \min(\mu_N, \alpha_Z)$$

$$\lambda_6 = \min(\mu_P, \alpha_Z)$$

$$\lambda_8 = \min(\mu_Z, \alpha_P)$$

$$\lambda_1 = \min(\mu_P, \alpha_P)$$

$$dU = \frac{-0.5\lambda_1 - 0.2(\lambda_2 + \lambda_4) + 0.2(\lambda_6 + \lambda_8) + 0.5\lambda_9}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_4 + \lambda_6 + \lambda_8 + \lambda_9}$$

$$U = U(1 + dU)$$

Le régulateur proposé est un régulateur Takagi-Sugeno donné par les fonctions d'appartenance suivantes :

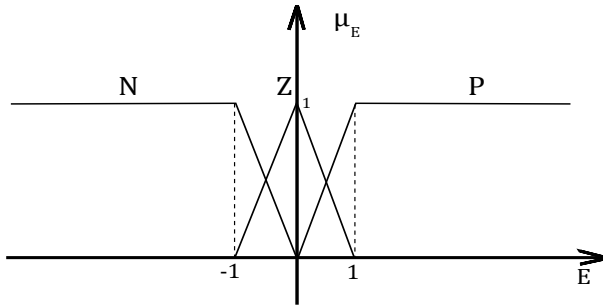


FIGURE 4.6 – Fonction d'appartenance de l'erreur E

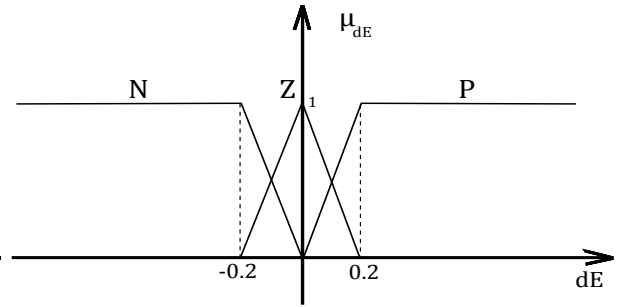


FIGURE 4.7 – Fonction d'appartenance de dE

La sortie dU est générée suivant la table d'inférence suivante :

ΔE	N	Z	P
E	NG	N	Z
N	NG	N	Z
Z	N	Z	P
P	Z	P	PG

TABLE 4.1 – Table d'inférence du régulateur flou

avec :

$$NG = -0.5$$

$$N = -0.2$$

$$Z = 0$$

$$P = 0.2$$

$$PG = 0.5$$

4.4 Conclusion

Dans ce chapitre, on a exposé différents grafjets qui permettent une régulation plus ou moins optimisée de la température d'une zone thermique. Comme l'approche de régulation floue est moins énergétique que celle de l'hystérésis, on a choisi d'étendre cette stratégie sur toutes les zones et on a proposé une technique d'implémentation hybride (logique câblée, logique programmée) permettant une réduction considérable du nombre d'entrées/sorties de l'automate.

Conclusion générale

Ce travail contribue modestement à l'établissement d'une approche méthodologique en vue de l'étude et la réalisation d'un bâtiment à énergie positive dans ses divers aspects. Après avoir pris comme exemple d'étude l'architecture du bâtiment de l'incubateur de Sidi-Abdellah, nous lui avons appliqué la démarche suivante :

- Sur le plan architecturale, génie civil et énergétique : construire en respectant les critères ECOVER
- Sur le plan de production d'énergie : dimensionner les éléments de production d'énergie suivant les besoins en énergie obtenus après la simulation du bâtiment.
- Sur le plan de gestion de l'énergie : optimiser la puissance extraite du système photovoltaïque et conditionner le signal électrique pour un usage local et pour un raccordement au réseau.

En résumé : le bâtiment du 21^{ème} siècle doit être performant mais avant cela il se doit d'être : à Basse Consommation (pour diminuer ces besoins en énergie) → à Energie positive (constituant un site de production local) → intelligent (pour l'optimisation de sa gestion)

Ce travail ne fait pas exception aux autres projets de fin d'étude et représente un maillon dans la chaîne de recherche scientifique dans le domaine des bâtiments à énergie positive. Il nous a permis d'avoir une vision globale de ce thème contribuant à notre spécialisation dans le domaine. A l'issue de notre travail, nous proposons les

perspectives suivantes :

- Jumeler deux approches du bâtiment que nous jugeons indissociables : le bâtiment intelligent et le bâtiment à énergie positive.
- Pour mieux cerner le sujet, un tel travail doit être attribué à une équipe pluridisciplinaire composée d'ingénieurs en automatique, électrotechnique, énergétique et en génie civil.
- Implémentation des différents régulateurs synthétisés dans ce travail et dans des travaux antérieurs, dans des automates qui se chargeront aussi de la partie domotique.
- Collecter des données sur l'énergétique du bâtiment (besoins en électricité, quantifier les apports gratuits, intégrer des scénarios spécifiques à chaque bâtiment) afin d'optimiser le dimensionnement des éléments de production d'énergie.
- Faire une étude économique sur les BEP en Algérie et étudier leur rentabilité.

Bibliographie

- [1] Abdenmour DADDI HAMMOU, Mustapha Amine RAHMANI. Conception d'un système de supervision pour un bâtiment intelligent : Gestion de la distribution électrique, de l'éclairage et de la climatisation. Projet de fin d'étude, Ecole Nationale Polytechnique, Alger. Juin 2010.
- [2] Agence de Promotion et de Rationalisation de l'Utilisation de l'énergie (APRUE). Consommation énergétique finale en Algérie : Chiffres clés de l'année 2005. Edition 2007.
- [3] Alexandre GOUDINEAU, Claude MASEGOSA. Les énergies renouvelables en Algérie. Mission Economique Ubifrance D'Alger. Hydra, Alger. Version N° 2, 14 juillet 2010.
- [4] Anne LABOURET, Michel VILOZ. *"Energie solaire photovoltaïque"*. Editions LE MONITEUR. 2^{ème} édition. 17 Octobre 2010.
- [5] Boudghene Stambouli,A., Algerian renewable energy assessment : The challenge of sustainability. Energy Policy. 2010.
- [6] Céline BERNARD, Carolina SEBRAO-LIVEIRA, Bernard LAVAL, Clément VAUDOUEUR. Panneau photovoltaïque et algorithme MPPT à base de logique floue. Rapport dirigé dans le cadre de l'UV BA04-Energie renouvelables. Université de Technologie de Compiègne. Automne 2009.

- [7] François LAGARDE. Quelle définition pour les bâtiments à énergie positive ?. Laboratoire de Physique du Bâtiment et des Systèmes. Professeur à l'université de La Réunion.
- [8] Jean-Christian LHOMME. *La maison économe , Dépenser moins d'énergie pour mieux vivre*. Editions Delachaux et Niestlé. 14 octobre 2005.
- [9] Loi n° 04-09 du Jomada Ethania 1425 correspondant au 14 août 2004 relative à la promotion des Energies Renouvelables dans le cadre du développement durable. Journal officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire.
- [10] Lotfi DERRADJI, Mohammed AMARA, Farid BOUDALI ERREBAI. "*Etude de l'efficacité énergétique d'une maison rurale à faible consommation énergétique*". Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiments (CNERIB). Janvier 2010.
- [11] Matthias Loster. Total Primary Energy Supply-From Sunlight. [http ://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/index.html](http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/index.html). 2010.
- [12] Pascal REYSSET. *Aménager la ville*. Collection Ecologie Urbaine : Coéditée par Foncier Conseil et les Paris : éditions Sang de la terre, 1997, p121.
- [13] Rachid AZAIZIA. Etude et commande d'une machine asynchrone double alimentation alimentée par un convertisseur multiniveaux. Thèse de magister, université M'hamed Bougara, faculté des hydrocarbures et de la chimie. Boumerdes 2008.
- [14] Stéphane THIERS. Bilans énergétiques et environnementaux de bâtiments à énergie positive. Mémoire de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Des Mines De Paris. Novembre 2008.

-
- [15] Violaine DIDIER, Bruno GAIDDON. Les Onduleurs pour Systèmes Photovoltaïques : Fonctionnement, Etat de l'Art et Etude des Performances. Association HESPUL. Août 2007.
- [16] Zakaria ZIADI. Commande Hybride d'une Maison à Energie Positive. Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger. 17 Octobre 2010.
- [17] <http://docs.izuba.fr/fr/> Le site officiel du logiciel PLEIADES+COMFIE.
- [18] <http://www.energiepropre.net/solaire.htm>. Source : RETscreen International.
- [19] <http://www.mon-projet-immo.net/> *Les ponts thermiques*. Septembre 2010.
- [20] <http://www.solaire-panneau-thermique.com/> HelioFrance, Fabricant français de solutions solaires thermiques.
- [21] <http://xınca.com/> XINCA Tech Services Limited, *Keys elements in intelligent buildings*. 2009.

Annexe

Modélisation et simulation sur COMFIE+PLEIADES

Les scénarios de fonctionnement du bâtiment sont définis comme suit :

°C	Lundi	Mardi	Mercr	Jeudi	Vendr	Same	Dimar
0 H	12	12	12	12	0	0	12
1 H	12	12	12	12	0	0	12
2 H	12	12	12	12	0	0	12
3 H	12	12	12	12	0	0	12
4 H	12	12	12	12	0	0	12
5 H	12	12	12	12	0	0	12
6 H	12	12	12	12	0	0	14
7 H	12	12	12	12	0	0	16
8 H	16	16	16	16	0	0	18
9 H	20	20	20	20	0	0	20
10 H	20	20	20	20	0	0	20
11 H	20	20	20	20	0	0	20
12 H	20	20	20	20	0	0	20
13 H	20	20	20	20	0	0	20
14 H	20	20	20	20	0	0	20
15 H	20	20	20	20	0	0	20
16 H	20	20	20	20	0	0	20
17 H	20	20	20	20	0	0	20
18 H	20	20	20	20	0	0	20
19 H	12	12	12	12	0	0	12
20 H	12	12	12	12	0	0	12
21 H	12	12	12	12	0	0	12
22 H	12	12	12	12	0	0	12
23 H	12	12	12	12	0	0	12
24 H	12	12	12	12	0	0	12

FIGURE 4.8 – Scénario de chauffage locaux et bureaux

°C	Lundi	Mardi	Mercr	Jeudi	Vendr	Same	Dimar
0 H	12	12	12	12	0	0	12
1 H	12	12	12	12	0	0	12
2 H	12	12	12	12	0	0	12
3 H	12	12	12	12	0	0	12
4 H	12	12	12	12	0	0	12
5 H	12	12	12	12	0	0	12
6 H	12	12	12	12	0	0	12
7 H	12	12	12	12	0	0	12
8 H	12	12	12	12	0	0	12
9 H	15	15	15	15	0	0	15
10 H	20	20	20	20	0	0	20
11 H	20	20	20	20	0	0	20
12 H	20	20	20	20	0	0	20
13 H	20	20	20	20	0	0	20
14 H	20	20	20	20	0	0	20
15 H	12	12	12	12	0	0	12
16 H	12	12	12	12	0	0	12
17 H	12	12	12	12	0	0	12
18 H	12	12	12	12	0	0	12
19 H	12	12	12	12	0	0	12
20 H	12	12	12	12	0	0	12
21 H	12	12	12	12	0	0	12
22 H	12	12	12	12	0	0	12
23 H	12	12	12	12	0	0	12
24 H	12	12	12	12	0	0	12

FIGURE 4.9 – Scénario de chauffage du restaurant

°C	Lundi	Mardi	Mercre	Jeudi	Vendr	Same	Dimar
0 H	26	26	26	26	50	50	26
1 H	26	26	26	26	50	50	26
2 H	26	26	26	26	50	55	26
3 H	26	26	26	26	55	55	26
4 H	26	26	26	26	55	55	26
5 H	26	26	26	26	55	55	26
6 H	26	26	26	26	55	55	26
7 H	26	26	26	26	55	55	26
8 H	26	26	26	26	55	55	26
9 H	26	26	26	26	55	55	26
10 H	26	26	26	26	55	55	26
11 H	26	26	26	26	55	55	26
12 H	25	25	25	25	55	55	25
13 H	25	25	25	25	55	55	25
14 H	26	26	26	26	55	55	26
15 H	26	26	26	26	55	55	26
16 H	26	26	26	26	55	55	26
17 H	26	26	26	26	55	55	26
18 H	26	26	26	26	55	55	26
19 H	26	26	26	26	55	55	26
20 H	26	26	26	26	55	55	26
21 H	26	26	26	26	55	55	26
22 H	26	26	26	26	55	55	26
23 H	26	26	26	26	55	55	26
24 H	26	26	26	26	55	55	26

FIGURE 4.10 – Scénario de climatisation de la salle de prière

°C	Lundi	Mardi	Mercre	Jeudi	Vendr	Same	Dimar
0 H	26	26	26	26	50	50	26
1 H	26	26	26	26	50	50	26
2 H	26	26	26	26	50	55	26
3 H	26	26	26	26	55	55	26
4 H	26	26	26	26	55	55	26
5 H	26	26	26	26	55	55	26
6 H	26	26	26	26	55	55	26
7 H	26	26	26	26	55	55	26
8 H	26	26	26	26	55	55	26
9 H	26	26	26	26	55	55	26
10 H	26	26	26	26	55	55	26
11 H	26	26	26	26	55	55	26
12 H	26	26	26	26	55	55	26
13 H	26	26	26	26	55	55	26
14 H	26	26	26	26	55	55	26
15 H	26	26	26	26	55	55	26
16 H	26	26	26	26	55	55	26
17 H	26	26	26	26	55	55	26
18 H	26	26	26	26	55	55	26
19 H	26	26	26	26	55	55	26
20 H	26	26	26	26	55	55	26
21 H	26	26	26	26	55	55	26
22 H	26	26	26	26	55	55	26
23 H	26	26	26	26	55	55	26
24 H	26	26	26	26	55	55	26

FIGURE 4.11 – Scénario de climatisation standard

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	25	25	25	25	0	0	25
8 H	100	100	100	100	0	0	100
9 H	100	100	100	100	0	0	100
10 H	100	100	100	100	0	0	100
11 H	100	100	100	100	0	0	100
12 H	50	50	50	50	0	0	50
13 H	100	100	100	100	0	0	100
14 H	100	100	100	100	0	0	100
15 H	100	100	100	100	0	0	100
16 H	25	25	25	25	0	0	25
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	0	0	0	0	0	0	0
20 H	0	0	0	0	0	0	0
21 H	0	0	0	0	0	0	0
22 H	0	0	0	0	0	0	0
23 H	0	0	0	0	0	0	0
24 H	0	0	0	0	0	0	0

FIGURE 4.12 – Scénario d’occupation des bureaux et locaux

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	10	10	10	10	0	0	10
8 H	10	10	10	10	0	0	10
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	100	100	100	100	0	0	100
12 H	100	100	100	100	0	0	100
13 H	50	50	50	50	0	0	50
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	0	0	0	0	0	0	0
20 H	0	0	0	0	0	0	0
21 H	0	0	0	0	0	0	0
22 H	0	0	0	0	0	0	0
23 H	0	0	0	0	0	0	0
24 H	0	0	0	0	0	0	0

FIGURE 4.13 – Scénario d’occupation du restaurant

%	Lundi	Mardi	Mercr	Jeudi	Vendr	Same	Dimar
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	0	0	0	0	0	0	0
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	100	100	100	100	0	0	100
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	50	50	50	50	0	0	50
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	0	0	0	0	0	0	0
20 H	0	0	0	0	0	0	0
21 H	0	0	0	0	0	0	0
22 H	0	0	0	0	0	0	0
23 H	0	0	0	0	0	0	0
24 H	0	0	0	0	0	0	0

FIGURE 4.14 – Scénario d’occupation de la salle de prière

%	Lundi	Mardi	Mercr	Jeudi	Vendr	Same	Dimar
0 H	0	0	0	0	0	0	0
1 H	0	0	0	0	0	0	0
2 H	0	0	0	0	0	0	0
3 H	0	0	0	0	0	0	0
4 H	0	0	0	0	0	0	0
5 H	0	0	0	0	0	0	0
6 H	0	0	0	0	0	0	0
7 H	25	25	25	25	0	0	25
8 H	100	100	100	100	0	0	100
9 H	100	100	100	100	0	0	100
10 H	100	100	100	100	0	0	100
11 H	100	100	100	100	0	0	100
12 H	100	100	100	100	0	0	100
13 H	100	100	100	100	0	0	100
14 H	100	100	100	100	0	0	100
15 H	100	100	100	100	0	0	100
16 H	25	25	25	25	0	0	25
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	0	0	0	0	0	0	0
20 H	0	0	0	0	0	0	0
21 H	0	0	0	0	0	0	0
22 H	0	0	0	0	0	0	0
23 H	0	0	0	0	0	0	0
24 H	0	0	0	0	0	0	0

FIGURE 4.15 – Scénario d’occupation des sanitaires + couloir et hall

Effet du masque

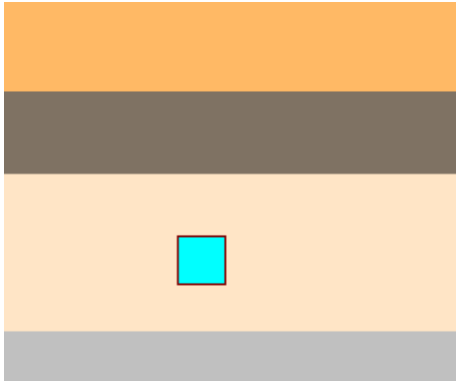


FIGURE 4.16 – Effet du masque sur une ouverture en hiver

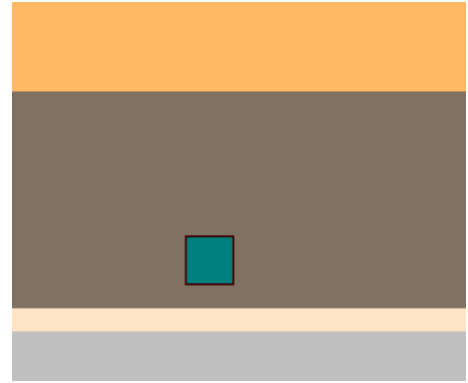


FIGURE 4.17 – Effet du masque sur une ouverture en été

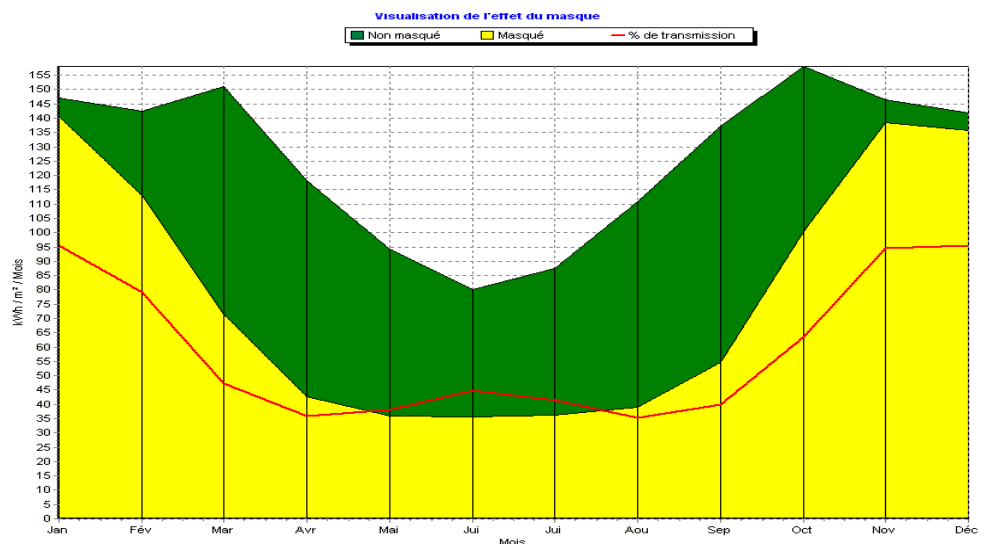


FIGURE 4.18 – Visualisation de l'effet du masque sur une année