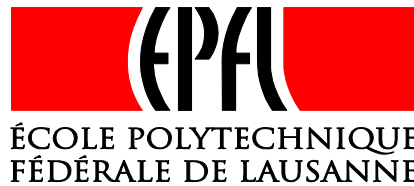


STANDARDS MINERGIE DANS LES PAYS A CLIMAT TROPICAL - HUMIDE

Submitted by
AABID FOUAD

Dans le cadre du projet de
MASTER EN INGENIERIE MECANIQUE

Sous la supervision du
Prof. J.L. Scartezzini (EPFL)



**LABORATOIRE DES ENERGIES SOLAIRES – PHYSIQUE DU BATIMENT
ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE**

JANVIER 2011

Table des matières

Abstract.....	page 5
Chapitre I : Revues littéraires et définitions des objectifs.....	page 6
1.1 Les solutions de construction du passé.....	page 6
1.2 Immeubles de bureaux - bâtiments commerciaux de nos jours....	page 7
1.3 La nécessité d'évaluer les performances des bâtiments.....	page 8
1.4 Les objectifs du projet.....	page 8
Chapitre II : Consommation énergétique et influence du climat.....	page 10
2.1 Label MINERGIE®.....	page 10
2.2 Les spécificités météorologiques du projet.....	page 11
2.3 Facteurs affectant la consommation d'énergie.....	page 12
a. Enveloppe du bâtiment.....	page 13
b. Système d'éclairage.....	page 13
c. Systèmes de distribution d'énergie.....	page 14
2.4 Outil d'évaluation pour les simulations dynamiques.....	page 15
Chapitre III : Description du bâtiment et de ses composantes.....	page 16
3.1 Villa Type-C.....	page 16
3.2 Description du bâtiment.....	page 16
3.3 Système HVAC.....	page 18
3.3.1 Ventilation.....	page 18
3.3.2 Infiltrations d'air extérieur.....	page 19
3.3.3 Système de refroidissement.....	page 20
Chapitre IV : Résultats de la simulation dynamique – Villa Type C.....	page 21
4.1 Valeurs brutes et discussions des résultats.....	page 21
4.2 Consommation d'énergie : Analyse mensuelle et qualitative...	page 24
4.3 Signature énergétique de la Villa.....	page 25
4.4 Comparaison des modèles réel et simulé pour validation.....	page 26
Conclusion.....	page 27
Références.....	page 28
Websites.....	page 29

Annexes.....page 30

Annexe A : Plans de construction et composantes de la Villa.....page 31

Annexe B : Fichiers météorologiques complets Du site RAK.....page 3.

Annexe C : Théorie de la méthode de calculs simplifiés C.A.Roulet.....page 3.

Table des figures

Figure 1.1 : Temple Ammon, Karak.....	page 6
Figure 2.1 : Différences entre MINERGIE® et MINERGIE-P®.....	page 11
Figure 2.2 : Conditions météorologiques du site de Ras Al Khaimah.....	page 12
Figure 2.3 : Energie consommée par un bâtiment - cycle de vie.....	page 13
Figure 2.4 : Contribution relative sur la consommation d'énergie.....	page 14
Figure 2.5 : Statut des standards dans le domaine du bâtiment.....	page 14
Figure 3.1 : Photos des façades Nord et Sud de la Villa.....	page 16
Figure 3.2 : Description des surfaces et partitions de la Villa.....	page 17
Figure 3.3 : Schéma de coupe de l'enveloppe du bâtiment.....	page 17
Figure 3.4 : Description des surfaces vitrées sur l'ensemble des façades..	page 18
Figure 3.5 : Schéma représentant les infiltrations d'air extérieur.....	page 20
Figure 4.1 : Représentation 3D de la Villa après modélisation.....	page 21
Figure 4.2 : Représentation graphique des températures et taux d'humidité au cours de l'année simulée.....	page 21
Figure 4.3 : Représentation graphique des gains internes dans la Villa sur une période annuelle.....	page 22
Figure 4.4 : Ventilations et infiltrations extérieures.....	page 22
Figure 4.5 : Pertes de chaleur à travers les éléments de construction.....	page 22
Figure 4.6 : Pertes de chaleur dans une maison typique mal-non isolée...	page 23
Figure 4.7 : Consommations énergétiques mensuelles simulées, comparaison avec le modèle réel.....	page 24
Figure 4.8 : Détail de la consommation énergétique annuelle.....	page 24
Figure 4.9 : Comparaison graphique des données de consommations.....	page 26
Figure 4.10 : Comparaison quantitative des valeurs mensuelles.....	page 26

Abstract

Les bâtiments sont généralement conçus pour abriter des occupants et assurer le confort thermique dans l'espace occupé soutenu par un mécanisme de refroidissement et/ou de chauffage si nécessaire. Cette charge induite, de chauffage et de climatisation, peut être réduite par de nombreux moyens; notamment l'un d'entre eux étant la conception et la sélection des composants de l'enveloppe du bâtiment. Dans un premier temps l'étude de ce projet est axée sur la validation d'un modèle de simulation dynamique d'un bâtiment choisi, ici une villa de type C, en démontrant une fine corrélation entre les consommations énergétiques simulées et réelles.

L'obtention de ces résultats sera rendu possible à l'aide d'un logiciel de simulation des bâtiments, Energy-Plus, à travers lequel les données simulées seront finalement validées avec une divergence de 7% (corrigée à 5%) par rapport aux données réelles mesurées. La signature énergétique de la villa sera alors déduite et réutilisée lors de la seconde phase du projet.

L'effet sur la réduction de la consommation d'énergie en utilisant des matériaux d'isolation est l'une des idées maîtresses de ce projet. Le coût d'un bâtiment durant son cycle de vie comprend principalement le coût initial lié aux matériaux de construction et autres diverses composantes, le coût de l'énergie nécessaire à la construction de l'édifice, ainsi que celui lié à l'exploitation et autres coûts de maintenance. Des études paramétriques seront réalisées avec différents matériaux isolants à différentes conditions climatiques dans le contexte des Emirats Arabes Unis. Des méthodes passives seront mises en évidence et implémenter dans la structure du bâtiment et dans son intérieur afin de parvenir à une réduction optimale de sa consommation énergétique, nous permettant ainsi de déduire de nouveaux standards pour le label MINERGIE dans des zones climatiques similaires.

CHAPITRE I : REVUES LITTERAIRES ET DEFINITION DES OBJECTIFS

1.1 LES SOLUTIONS DE CONSTRUCTION DU PASSE

L'architecture vernaculaire, qui peut être vue comme une connexion durable et naturelle entre l'homme et la Nature, est le fruit de l'imagination, de nombreuses années d'évolution et de contraintes climatiques. Le terme « vernaculaire » désigne la construction qui fait appel aux ressources et aux méthodes disponibles localement, à une époque donnée, pour répondre aux besoins locaux. Ont évolués jusqu'à notre ère des concepts de construction ne prenant pas seulement en considération le confort de l'occupant mais également les ressources locales ainsi que l'impact généré par la construction même. L'architecture vernaculaire a ainsi apporté une multitude de concepts capable d'assurer un grand confort tout en demeurant neutre vis à vis de l'environnement comme l'illustrent les différents exemples de ce chapitre.

Une des difficultés majeures de l'époque résidait dans la capacité de ventiler et d'éclairer naturellement un espace de manière simultanée. Durant l'Ancien Empire Egyptien (environ -2686 à -2181 BC), il était purement inconcevable de percer à travers la large épaisseur des murs et des plafonds d'un temple. Dans le but de palier à ce problème, des fentes furent percées à la jonction des plafonds plats et des murs du temple (le temple Sphinx). De part leur taille (très mince) et leur emplacement, celles-ci permettaient ainsi d'éclairer légèrement la partie supérieure des murs. Dans les temples plus petits ou dans les habitations, où le plafond était de toute évidence moins épais, on creusait de légers orifices au travers de la terrasse ou du plafond de manière à optimiser l'éclairage et améliorer dans le même temps la ventilation.

C'est durant le Nouvel Empire Egyptien (1550-1880 BC) que se développe une méthode originale censée accroître l'efficacité de ces orifices, en prenant avantage de la différence de hauteur qui existe entre terrasse et plafond. Le temple d'Ammon à Karnak illustre bien cette technique ; des grilles cisaillées furent percées à travers les dalles (murs) pour assurer une meilleure ventilation et permettre à la lumière de pénétrer de manière oblique, ce qui évitait ainsi aux occupants d'être éblouis comme indiqué sur la figure 1.1.

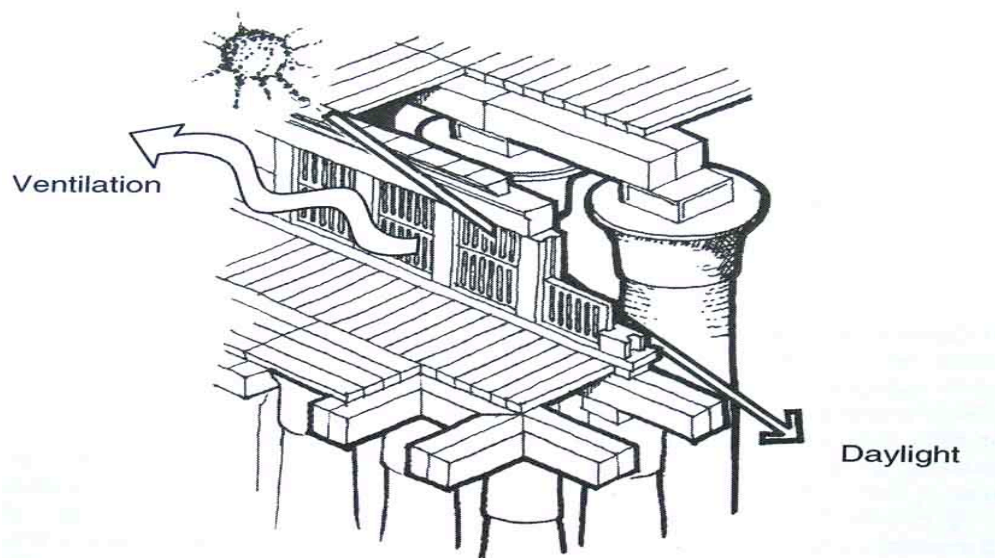


Figure 1.1: Temple AMMON, Karnak (source: Moore F)

Les Sumériens (Mésopotamie, 3000-2000 BC) sont à l'origine d'un grand nombre des inventions les plus remarquables de l'Homme, tels que la roue, l'écriture cunéiforme ou encore certains concepts d'architecture comme la voûte pour ne citer que cet exemple. Ils développèrent par ailleurs une méthode de construction consistant à couvrir les toits avec un mètre de terre afin d'éviter les éventuels problèmes de surchauffe. Cependant la charge induite par la masse de terre ajoutée sur le toit réduisait nettement son envergure. De ce fait, les habitats étaient étroits et longs, ce qui compliquait d'autant plus leur ventilation naturelle. Le confort des personnes à l'intérieur de ces constructions était alors directement relié à la structure. L'évolution du concept de ces toits-terrasses a conduit aux fameux jardins suspendus de Babylon. L'évaporation de l'eau provenant du système d'irrigation installé pour les jardins avait pour effet de réduire la température ambiante tandis que la couverture du toit limitait la surchauffe des maisons.

Dans la progression du temps, les constructions ont évoluées de manière spécifique en fonction des différents besoins des occupants. Parmi ceux-là, les bureaux et les bâtiments commerciaux ont aujourd'hui une importance primordiale.

1.2 IMMEUBLES DE BUREAUX ET BATIMENTS COMMERCIAUX DE NOS JOURS

Les immeubles de bureaux fournissent aujourd'hui l'environnement de travail principal d'une proportion importante et croissante de la main-d'œuvre des Emirats Arabes Unis. Il existe une diversité considérable de types et d'emplacements des bâtiments servant de bureaux sur tout le territoire. La principale exigence des immeubles de bureaux consiste à fournir des conditions confortables, saines et productives pour les travailleurs. Toutefois, les coûts d'immobilisations et de fonctionnement jouent un rôle de plus en plus important dans la prise de décision pour la conception, l'aménagement, etc. Avec l'augmentation des préoccupations internationales au sujet de la consommation d'énergie et de ses conséquences sur l'environnement, les performances énergétiques des immeubles de bureaux et la production croissante de dioxyde de carbone qui s'y associe, ainsi que les différentes façons dont les bureaux peuvent affecter l'environnement local et mondial deviennent progressivement des sujets d'importance capitale.

Apparaissent fréquemment de nouvelles structures comprenant des bureaux plus prestigieux et efficaces que les anciens bâtiments. Il existe essentiellement deux différentes approches exploitables permettant de satisfaire les conditions intérieures désirées dans un bureau en employant notamment des techniques 'naturelles' dans la limite du possible, ou en s'appuyant sur des équipements mécaniques. Les méthodes naturelles comprennent la lumière du jour, l'isolation thermique, le gain d'énergie solaire, l'ouverture des fenêtres, l'énergie solaire, et le refroidissement libre utilisant la masse thermique. D'autre part, de nombreux pays voient aujourd'hui émerger un nombre toujours croissant de bureaux conçus de manière à reposer essentiellement sur l'éclairage artificiel, le chauffage et la climatisation ainsi que la ventilation en utilisant des équipements mécaniques et des systèmes sophistiqués contrôlés automatiquement, et cette tendance affecte également les travaux de rénovation. La consommation énergétique des bureaux employant ces systèmes mécaniques sophistiqués est cependant toujours beaucoup plus élevée que celle des bâtiments dits 'climate-respecting buildings' qui eux minimisent ces équipements par l'utilisation des forces naturelles.

Cependant, il faut se rappeler que le «confort» est une notion subjective qui peut être définie de bien différentes manières et dont la signification est spécifique à une personne donnée. Si un bureau climatisé peut fournir des températures dans une gamme étroite définie (en général

19 à 23 degrés Celsius (66.2°F à 73.4°F), un bureau ventilé naturellement présentera un profil de températures beaucoup plus élevées en été, malgré les effets non négligeables d'une fenêtre ouverte et/ou du déplacement d'air frais à l'intérieur du bâtiment. De la même manière, un bureau éclairé artificiellement dont les vitres sont teintées (pour réduire l'éblouissement et le gain d'énergie solaire) fournira un éclairage constant, mais les changements d'éclairage associés à la vue extérieure d'un bureau éclairé naturellement fourniront un environnement de travail plus agréable et plus stimulant. Certaines recherches ont par ailleurs démontré que le contrôle qu'un individu donné peut avoir au niveau de l'environnement local avait une importance notable sur le confort perçu par cette personne, un concept émergeant qualifié comme « possibilités d'adaptation ».

Le maintien des niveaux de confort visuel et externe nécessite une grande quantité d'énergie dans les bureaux équipés de systèmes mécaniques sophistiqués. En outre, ces bâtiments requièrent une certaine quantité d'énergie durant leur cycle de vie, à la fois directement et indirectement. Directement, pour leur construction, l'exploitation (énergie de fonctionnement), la réhabilitation et, éventuellement de démolition. Indirectement, par la production des matériaux utilisés pour la construction des bâtiments ainsi que des installations techniques (énergie grise). Il a toujours été primordial de connaître la performance du bâtiment dans de tels cas au cours de sa durée de vie, durant sa phase de construction et celle d'exploitation.

1.3 LA NECESSITE D'EVALUER LES PERFORMANCES DES BATIMENTS

Le secteur du bâtiment est responsable d'une large part de la consommation totale d'énergie au niveau mondial. L'Agence internationale de l'énergie (IEA 2005) estime que les bâtiments représentent 30-40% de la consommation d'énergie dans le monde entier, ce qui équivaut à 2500 millions de tep (tonnes équivalent pétrole) d'énergie chaque année. Les bâtiments sont de grands consommateurs de matériaux avec une teneur élevée en énergie grise.

L'énergie est aussi utilisée pour le chauffage, le refroidissement, l'éclairage, la cuisson, la ventilation et ainsi de suite pendant la période durant laquelle le bâtiment est opérationnel. Au fil des ans, la consommation énergétique cumulée devient bien plus importante que l'énergie requise pour la fabrication des matériaux de construction et pour la construction du bâtiment lui-même. Cependant, réduire la consommation globale d'énergie a un impact positif direct sur les coûts du cycle de vie. Pour cette raison, il est nécessaire d'évaluer la performance du bâtiment au cours de ses phases d'exploitation et de construction.

1.4 LES OBJECTIFS DU PROJET

Les bâtiments sont généralement conçus pour abriter les occupants et assurer le confort thermique dans l'espace occupé avec le soutien d'un refroidissement mécanique et d'un éventuel système de chauffage, si nécessaire. D'importantes économies d'énergie pourraient être réalisées dans les bâtiments si ceux-là étaient correctement conçus et exploités. L'énergie consommée peut être réduite de différentes manières: notamment à travers la conception et la sélection de l'enveloppe du bâtiment et de ses composantes. Des études ont été réalisées sur l'enveloppe du bâtiment et ses composantes. L'impact de la température de fonctionnement sur la performance thermique des matériaux isolants a également fait l'objet de certaines études.

Différentes études indiquent que de nombreux autres moyens permettent d'évaluer les opportunités liées à l'efficacité énergétique. La diversité des bâtiments et leur utilisation distinctes impliquent de grandes différences dans les modèles d'économie d'énergie qui leur sont associés. Les sources d'énergie utilisées, les méthodes appliquées ainsi que les équipements complémentaires doivent être adaptés selon les besoins individuels. Cela s'applique également aux codes du bâtiment, ainsi qu'aux directives de fonctionnement et du suivi de leur mise en œuvre.

En résumé, ce chapitre a montré le développement de l'architecture dans le temps avec l'invention de solutions constructives ingénieuses capables d'assumer simultanément différentes fonctions. La disponibilité limitée des matériaux et processus de construction furent compensés par une longue expérience conduisant à un équilibre constructif entre les exigences de l'occupant et l'impact environnemental. L'importance de réduire la consommation globale d'énergie d'un bâtiment nécessite l'évaluation des performances de ces constructions et l'analyse des facteurs influant sur la consommation d'énergie. Cette complexité appelle à se concentrer sur les objectifs du projet.

Il n'existe pas d'étude portant sur l'importance relative des énergies d'exploitation liées aux bâtiments, spécifique au contexte climatique des Emirats Arabes Unis - dans les bâtiments de bureaux et commerciaux notamment - prenant en compte les codes du bâtiment, d'où les axes d'étude de ce projet:

1. Valider un premier modèle de simulation dynamique d'un bâtiment à l'aide des mesures réelles de consommations énergétiques.
2. Evaluer et quantifier l'influence des méthodes "passives" et des techniques simplifiées sur la consommation énergétique des bâtiments.
3. Etablir une stratégie visant à minimiser la somme totale des énergies consommées durant les phases d'occupation et pré-occupation du bâtiment.
4. Valider et mettre en vigueur de nouveaux standards MINERGIE® dans les zones de climat tropical-humide (en prenant pour modèle le climat des Emirats Arabes Unis).

CHAPITRE II: CONSOMMATION ENERGETIQUE ET INFLUENCE DU CLIMAT

2.1 LABEL MINERGIE®

Les bâtiments sont responsables d'une large partie des dépenses énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre mais offrent cela dit des solutions, quant à l'impact sur l'environnement, parmi les plus rapides et financièrement attractives. En combinant des enveloppes de haute qualité à un renouvellement systématique de l'air, les bâtiments certifiés MINERGIE® consomment au minimum 60% moins d'énergie que d'autres structures conventionnelles tout en assurant un confort intérieur notable.

MINERGIE® est un label de qualité destiné aux bâtiments neufs ou modernisés. Au centre du label figure le confort d'habitat et de travail pour les usagers du bâtiment. La consommation énergétique spécifique est une valeur de référence permettant de déterminer le degré de qualité requis pour la construction. Une évaluation fiable est ainsi possible. La seule donnée pertinente est la quantité d'énergie finale appliquée.

Les exigences suivantes doivent être respectées (concernant les pays où les standards sont d'ors et déjà établis):

- Exigences primaires pour l'enveloppe du bâtiment
- Renouvellement d'air contrôlé pendant l'année
- Valeur limite MINERGIE® (indice énergétique pondéré)
- Justificatif du confort thermique en été
- Exigences supplémentaires suivant la catégorie de bâtiment éclairage, froid industriel et production de chaleur
- Surcoûts ne dépassant pas 10% par rapport à des bâtiments conventionnels équivalents

Il existe à l'heure actuelle deux paliers standards majeurs sous ce label différenciant le niveau de qualité énergétique d'une structure donnée : MINERGIE® et MINERGIE-P®.

Le standard MINERGIE-P® décrit et certifie des bâtiments qui visent à une consommation énergétique encore inférieure à celle de MINERGIE®. Le standard MINERGIE-P® s'applique à une conception de bâtiment spécifique, orientée vers une faible consommation énergétique. En particulier, il serait insuffisant d'ajouter à un projet de bâtiment MINERGIE® uniquement une couche isolante supplémentaire. Une maison destinée à se conformer aux exigences très sévères de MINERGIE-P® est conçue, construite et optimisée au niveau du fonctionnement de manière cohérente, aussi bien au niveau global que dans toutes ses parties, pour atteindre cet objectif.

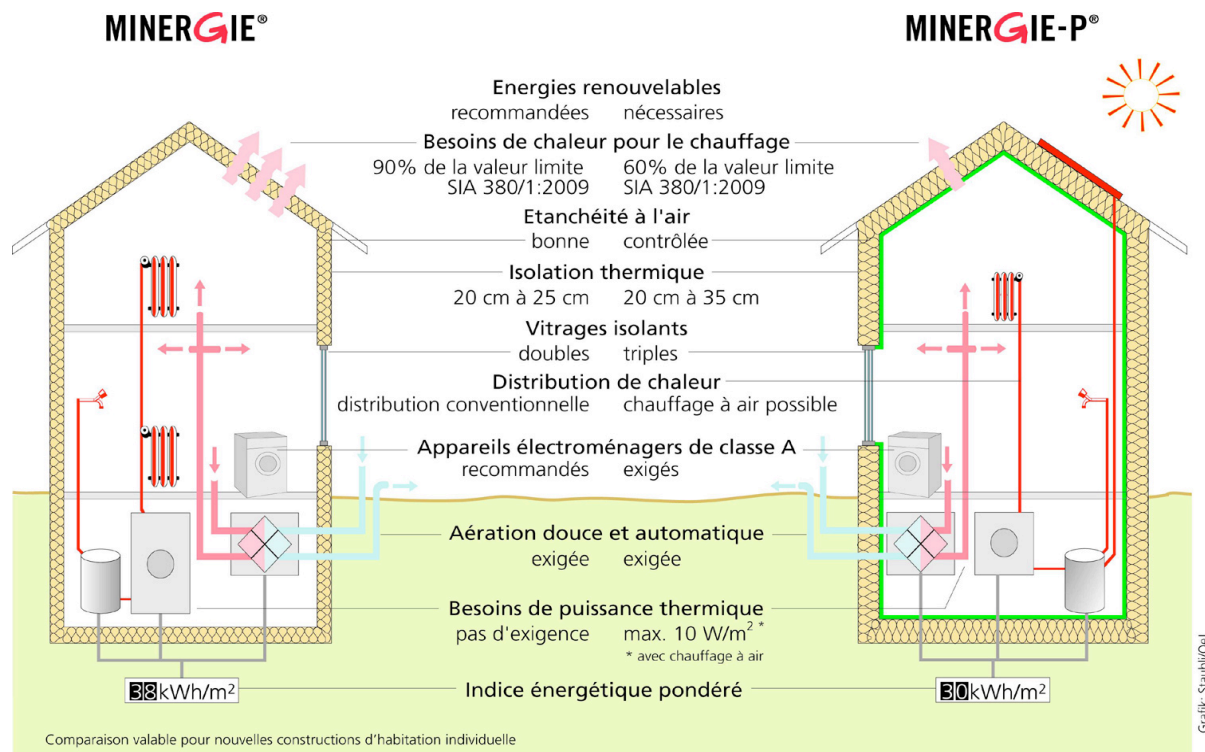


Figure 2.1 : Différences entre MINERGIE® et MINERGIE-P®

Comme indiqué précédemment, il n'existe pour le moment aucun standard équivalent associés aux climats tropicaux-humides, pour lesquels les objectifs seraient en toute logique inversés ; à savoir le principal intérêt étant de minimiser les recours aux méthodes non-naturelles telles que l'air conditionnée ou la ventilation mécanique. Le cycle de refroidissement opéré par un appareil de régulation dans un bâtiment nécessite un apport d'énergie important dû au compresseur principalement et cette demande croît lorsque le taux d'humidité relative augmente, en respect des règles thermodynamiques.

2.2 LES SPECIFICITES METEOROLOGIQUES DU PROJET

Les Émirats arabes unis offrent une occasion unique et un défi pour les architectes et autres professionnels du design de développer un nouvel urbanisme et une architecture à faible consommation énergétique. Les Émirats arabes unis sont actuellement les plus grands consommateurs d'énergie au monde sur l'échelle 'per capita', avec 70 pour cent de la consommation d'énergie domestique primaire dévouée aux bâtiments, principalement sous la forme de ventilation mécanique (dont la majeure part étant pour l'air-conditionné) et d'éclairage artificiel. Dans le cas des bâtiments de faible hauteur entre 37 pour cent et 80 pour cent de la consommation d'énergie peut aller pour le refroidissement.

Les maisons individuelles disposent d'une enveloppe de grande surface et sont donc très sensibles au rayonnement solaire. Cela signifie que les maisons individuelles peuvent être le type de bâtiments les plus exigeants d'un point de vue énergétique lorsque refroidis par air conditionné. Ceci peut être compensé par leur grande prédisposition à la ventilation naturelle car ces maisons sont plus en mesure de profiter du vent provenant de n'importe quelle direction. Le toit est très exposé au rayonnement solaire dans les climats chauds et arides, généralement situés dans les basses latitudes où l'élévation solaire est élevée.

Conditions climatiques du site de Ras Al Khaimah :

time	TempODC	HumOperc	BarohPa	Rainmm	Windkmperh	WindDirectionDigree	ETmm
03/2008	23,72779088	56,75550314	1012,139544	0	7,90884434	189,0298742	0,028253538
04/2008	26,868125	58,16597222	1009,036806	0	9,673611111	200,3871528	0
05/2008	32,25302419	46,2906586	1004,597446	0	11,15799731	207,0635081	0,008816532
06/2008	32,69585067	60,93943597	998,2506935	0	11,1013754	205,3730929	0
07/2008	35,02213087	60,64781879	996,5469799	0	7,877114094	161,0157718	0,05861745
08/2008	34,75121191	62,72558864	999,1400623	0	8,248476454	141,6180748	0,046898546
09/2008	32,52506944	68,04340278	1005,014931	0	8,627638889	185,2715278	0,056837847
10/2008	29,94166667	69,46774194	1011,890793	8,53495E-05	6,894522849	174,7016129	0,042210685
11/2008	25,77649888	66,30760626	1015,777852	0,002812752	6,580190157	169,0030201	0,037798993
12/2008	20,66872428	68,85288066	1018,292181	0,002351852	6,906687243	177,7633745	0,032080247
01/2009	18,65588889	73,83222222	1020,29	0,003951111	8,252777778	177,85	0,026693333
02/2009	21,37982537	74,24678309	1015,568474	0,000116728	7,725919118	174,777114	0,038046875

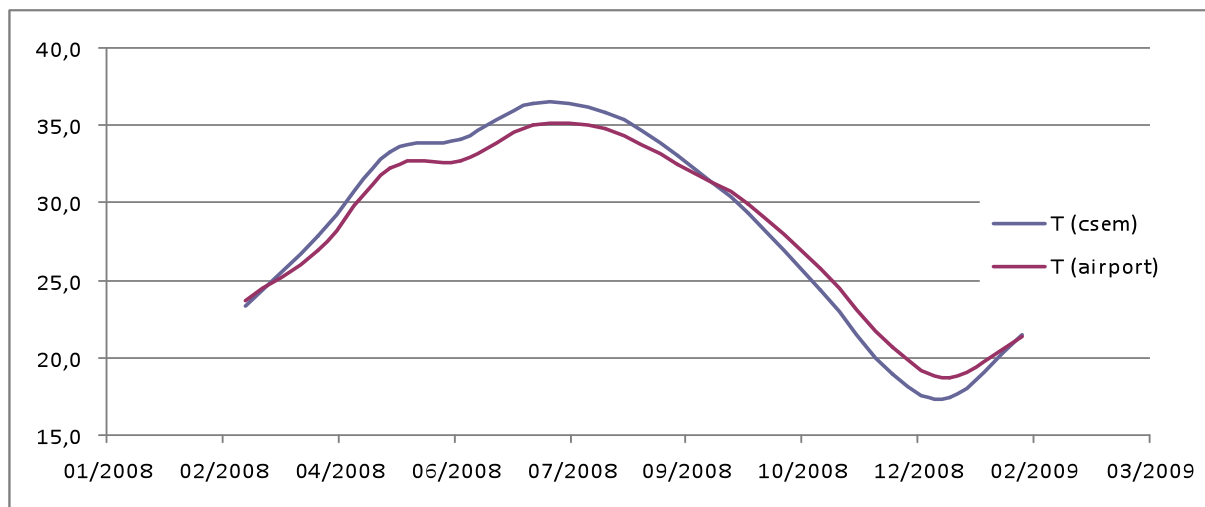


Figure 2.2: Conditions météorologiques du site de Ras Al Khaimah

Ces données météorologiques sont transcrites en valeurs horaires et réutilisées sous la forme de « weather data file » lors de la simulation dynamique afin de déterminer d'une part la taille et le comportement respectif des éléments mécaniques composant le système HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning) utilisé dans le bâtiment simulé, et d'autre part de manière à imposer les conditions extérieures (environnement) influant sur la structure et l'ensemble de ses composantes (directement reliés à la consommation énergétique globale). Les données météorologiques complètes relatives au site de Ras Al Khaimah apparaissent en *Annexes*.

2.3 FACTEURS AFFECTANT LA CONSOMMATION D'ENERGIE

Les bâtiments modernes consomment de l'énergie de différentes manières. L'énergie consommée durant le cycle de vie d'un bâtiment peut être subdivisée en 4 phases distinctes, comme indiqué en figure 2.3.

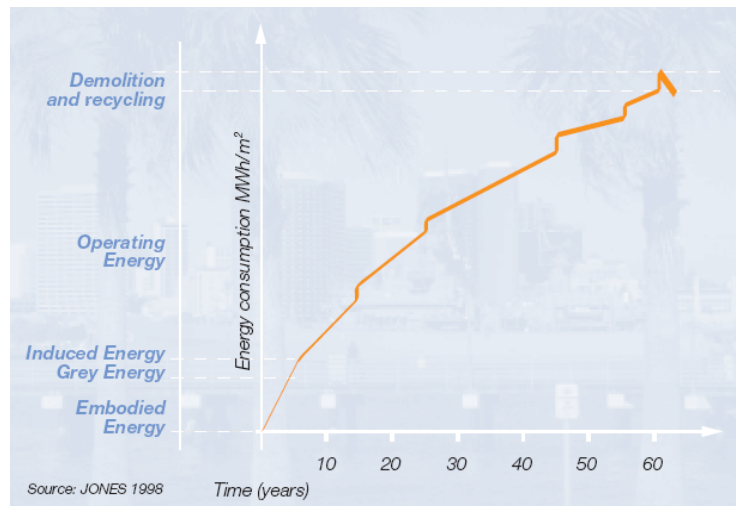


Figure 2.3 : Energie consommée par un bâtiment durant son cycle de vie (source: UNEP)

Les première et deuxième phases correspondent aux énergies requises à la fabrication des matériaux et des diverses composantes et leur transport de l'usine de production au chantier de construction ainsi que de l'énergie nécessaire à la construction même de l'édifice, respectivement dénommés énergie grise et énergie induite. La troisième phase représente l'énergie consommée durant la phase opérationnelle (énergie de fonctionnement), ce qui correspond à la gestion de l'immeuble durant son occupation. Enfin, l'énergie consommée dans le processus de démolition du ou des bâtiments ainsi que dans le recyclage de leurs parties, lorsque cela est promu (démolition - recyclage de l'énergie) - dans le cas d'un immeuble commercial ou de bureaux - indique la dernière phase du cycle. Les principaux facteurs qui influent sur la consommation énergétique d'un bâtiment dans les trois premières phases sont les suivantes:

a. Enveloppe du bâtiment

Les murs/parois du bâtiment sont affectés par les trois grands mécanismes de transfert de chaleur : conduction, convection et rayonnement. Le rayonnement solaire pénétrant à travers la surface de la paroi extérieure sera converti en chaleur par l'absorption et transmis dans le bâtiment par conduction. Dans le même temps, la convection thermique se produit de l'air extérieur du bâtiment à la surface extérieure de la paroi, et ensuite de la surface interne de la paroi de l'air jusqu'à l'air intérieur du bâtiment. Cela induit des gains de chaleur depuis l'extérieur du bâtiment et par fuites d'air également, l'espace intérieur du bâtiment étant à plus basse température (dans notre cas).

b. Système d'éclairage

La réduction de la consommation énergétique d'un système peut affecter la consommation d'énergie d'un autre système. Dans les Émirats arabes unis (et dans d'autres climats comparables), les économies sur le système d'éclairage conduisent généralement à des réductions significatives de l'énergie consommée pour le refroidissement et les systèmes de ventilation. Dans les cas « extrêmes » de la Suède, les immeubles commerciaux bénéficient d'un avantage net sur le système HVAC lorsque l'éclairage est réduit. Selon des études à l'université Chalmers, des bâtiments Suédois modernes nécessitent un refroidissement même à une température extérieure de -10 degrés Celsius. Cela est dû à la chaleur interne considérable générée par les occupants, l'éclairage et autres équipements consommateurs d'énergie.

c. Systèmes de distribution d'énergie

L'énergie de fonctionnement représente habituellement la majeure partie de l'énergie totale consommée dans les bâtiments. Par conséquent, il est très important d'avoir des systèmes dits « energy efficient », qui assurent de bonnes conditions intérieures sans consommer de manière excessive. Il peut s'agir d'appareils d'économie d'énergie, de commandes d'éclairage et thermostats, stores activés, ventilateurs, systèmes de chauffage et de refroidissement. Il est à noter que ces systèmes sont généralement conçus pour des périodes de 20 à 40 ans et qu'il est par conséquent requis de les sélectionner avec soin.

Le profil énergétique d'un bâtiment est d'abord et avant tout lié au type de bâtiment et à la zone climatique où il se situe. En outre, le niveau de développement économique local est également déterminant dans l'élaboration du modèle de consommation d'énergie:

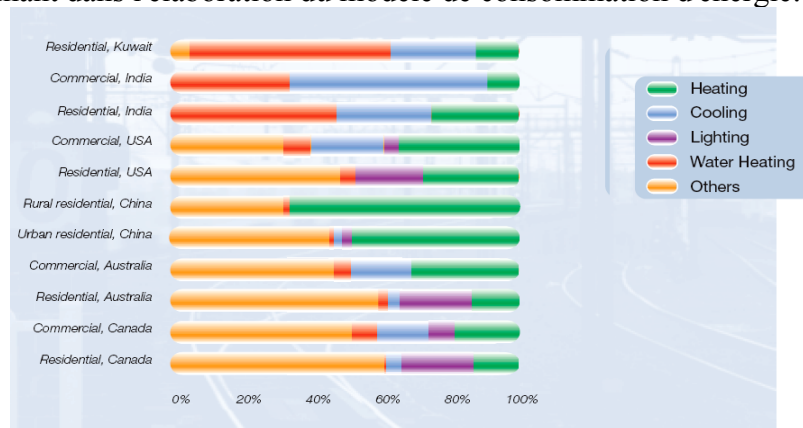


Figure 2.4: Contribution relative sur la consommation d'énergie dans différents pays. (Sources: Department of energy 2006, U.S, office of energy efficiency, natural resources Canada, 2006.)

Ceci montre qu'en termes de moyennes internationales, la plupart de l'énergie consommée dans les espaces résidentiels dans les pays développés est due au chauffage. Le type de bâtiment impose généralement des exigences différentes sur le climat intérieur et les charges internes. L'impact des différences climatiques affectent également la demande en énergie d'un bâtiment. Afin de réaliser des améliorations sur l'efficacité énergétique à grande échelle, différentes approches ont été entrevues. Les recherches menées dans différents pays sont axées sur les besoins locaux.

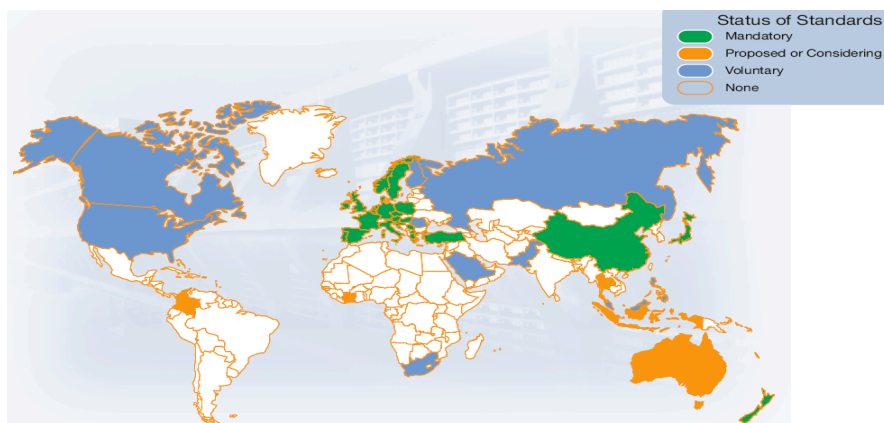


Figure 2.5: Statut des Standards dans le domaine du Bâtiment (Source: UNEP)

2.4 OUTIL D’EVALUATION POUR LES SIMULATIONS DYNAMIQUES : Energy+

En tout temps, l'analyse des phénomènes physiques a été tributaire de l'évolution technique et des connaissances scientifiques. Dans le passé, l'évaluation des performances était fondée sur les règles de calcul à la main. De nos jours, l'avènement des programmes de simulation des bâtiments a permis l'évaluation quantitative des performances avec un grand degré de précision. La génération actuelle des outils d'évaluation voit émerger une importante gamme de programmes avancés permettant la simulation de processus physiques transitoires à l'aide de méthodes numériques complexes. En général, ces programmes ne traitent toutefois qu'une partie du problème.

Au cours des 50 dernières années, des centaines de programmes « d'énergie du bâtiment » ont été développés, améliorés et sont utilisés dans toute la communauté de l'énergétique des bâtiments. Les outils de base dans ce domaine sont les programmes traitant les données énergétiques de l'ensemble du bâtiment offrant ainsi aux utilisateurs des indicateurs clés de performances tels que la consommation d'énergie et la demande, la température, l'humidité, et les coûts. Les besoins spécifiques d'une simulation permettent à l'utilisateur d'identifier l'outil approprié. Ainsi, en gardant à l'esprit l'objectif de notre projet, EnergyPlus a été choisi pour la modélisation des bâtiments à simuler.

EnergyPlus Version 6.0.0.023

Un outil nouvelle génération développé sur les bases des capacités des outils BLAST et DOE-2. EnergyPlus intègre des capacités innovantes de simulation telles que l'utilisation de pas de temps inférieurs à l'heure, des modules spécifiques à l'introduction des équipements dans le bilan énergétique de la zone thermique et des structures de données d'entrée et de sortie bien définies facilitant le développement d'outils tiers de saisie et d'exploitation. Les développements récents traitent les écoulements multi-zones, les systèmes de production d'électricité (y compris les piles à combustible) et le suivi des consommations d'eau par les équipements du bâtiment.

EnergyPlus dispose d'un assistant de création permettant de naviguer à travers les processus de modélisation d'un modèle énergétique de construction efficace. Il s'agit de suivre une série d'étapes qui décrivent les caractéristiques de la conception qui auraient un impact sur la consommation d'énergie, tels que la conception architecturale, l'équipement HVAC, le type de bâtiment et de la taille, l'agencement plan-étage, les matériaux de construction, l'aire (volume) utile et l'occupation, et enfin le système d'éclairage.

CHAPITRE III: DESCRIPTION DU BATIMENT ET DE SES COMPOSANTES

Le présent chapitre, qui est une partie importante de l'étude, présente la performance globale obtenue pour une Villa en tant que modèle dans Energy+. Les résultats des simulations ont été comparés à la consommation réelle d'énergie mesurée dans le bâtiment pendant son occupation pour l'année 2010. Ce chapitre présentera également la validation de la simulation réalisée à l'aide d'EnergyPlus.

Parmi les bâtiments à simuler la Villa a été choisie en premier lieu malgré la complexité de son architecture en raison de la relative simplicité de son système HVAC (en comparaison des autres bâtiments).

3.1 VILLA TYPE-C

La Villa, située dans la ville de Ras Al Khaimah (Emirats Arabes Unis), fut construite récemment et est occupée depuis le mois d'Août 2009 par une famille comptant 6 personnes. La description du bâtiment faite dans ce chapitre est détaillée de manière à révéler les aspects les plus importants de la structure, à savoir tous les éléments ayant une influence majeure ou du moins non négligeable sur les performances de la Villa, tout en épargnant le listing fastidieux des propriétés mécaniques associées.



Figure 3.1 : Photos des façades Nord et Sud de la Villa (front and rear views)

3.2 DESCRIPTION DU BATIMENT

Le bâtiment à modéliser est une villa de type C comprenant deux étages ainsi qu'un espace climatisé situé sur le toit, et s'étendant sur une surface totale au sol de 224m². La simulation prend place dans la ville de Ras Al Khaimah (Lat. 25,62° ; Long. 55,93 ; Altitude : 31m ; GMT +04:00) dont les données climatiques horaires sont connues. La maison est située en bord de mer, ce qui vaudra une légère surestimation des données relatives au vent telles que les infiltrations d'air lors de la simulation.

Espace intérieur

Chaque étage est séparé en plusieurs zones appelées partitions qui représentent les divers espaces de la maison, à savoir les chambres, halls etc. Dans un souci de simplifier quelque peu l'architecture intérieure de la villa, quelques espaces ont été fusionnés de manière à ne

créer qu'une zone afin de limiter le nombre de partitions. Les portes et parois intérieures ont toutefois été modélisées avec précision selon les plans d'architecture de façon à préserver la cohérence des résultats.

Etage	Zone partitionnée	Surface (m ²)	Surface totale (m ²)
Ground Floor	Bonus Room	38,9	212,7
	Majlis	32,2	
	Entrance Hall	35,2	
	Dining Hall	24,1	
	Kitchen + extra space	58,4	
	Family room	23,9	
First Floor	Dressing	15,8	181,5
	Family room + extra space	99,9	
	Master Bedroom	20,8	
	Bedroom 2	20,2	
	Bedroom 1	24,8	
Roof	Roof	29,5	29,5

Figure 3.2: Description des surfaces et partitions de la Villa

Enveloppe extérieure

L'enveloppe extérieure de la Villa est constituée de blocs de béton d'une épaisseur de 200mm, recouvert sur les surfaces intérieures et extérieures d'une couche de plâtre et de peinture ('Thermal blocks with plastering and paint'). La valeur du coefficient U (Unit Heat Loss Rate) est de 1.289 W/(m².K).

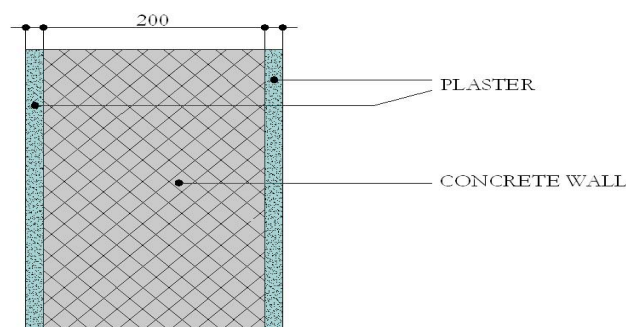


Figure 3.3: Schéma de coupe de l'enveloppe du bâtiment

Le sol et le toit sont tout deux composés de dalles de béton renforcé d'une épaisseur de 200mm et dont le coefficient U est de 3.535 W/(m².K).

Fenêtres

La villa C possède de nombreuses surfaces vitrées sur ses 4 orientations, les deux orientations principales étant situées sur les cadrans Nord et Sud (façades avant et arrière respectivement). La face principale de la structure est orientée à 11° (sens horaire) de la ligne Nord, les deux façades les moins vitrées sont donc orientées Est et Ouest, limitant ainsi les gains solaires à travers les fenêtres.

Le cadre des fenêtres est en Aluminium (type alliage 6063) et le double vitrage est constitué d'une première couche de 6mm PNA Bronze teinté, d'une couche d'air d'une épaisseur de 12mm et d'une couche de Bronze épaisse de 6mm, et possède les propriétés suivantes :

1. Shading coefficient : 0.58
2. Solar heat gain coefficient : 0.50
3. Visible light transmission : 45%
4. U-Value : 2.84 W/(m².K)

Description	Nord	Sud	Est	Ouest	Surface Totale
Surface vitrée totale (m ²)	24,65	55,75	10,4	12,5	103,3
% of de surface vitrée	24	54	10	12	100

Figure 3.4: Description des surfaces vitrées sur l'ensemble des façades de la Villa

Eclairage artificiel

Le système d'éclairage dispensé à l'intérieur et à l'extérieur du domaine habitable représente un total de 6299 W, dont 5939 W dédiés à l'éclairage intérieur seul. La nature des lampes n'est pas précisée sur les plans architecturaux, celles utilisées pour la simulation dynamique sont de type fluorescent (basse consommation). Cette hypothèse est basée sur les données des puissances nominales de chaque appareil électrique fournies par le propriétaire (M. Vigliotti). Il n'existe pas d'appareil de contrôle régulant l'éclairage à l'intérieur du bâtiment, toutes les périodes d'utilisation sont programmées au préalable sous forme de « compact-schedules ». En fonction des saisons et de l'occupation les valeurs seront pondérées afin d'obtenir le profil d'utilisation le plus réaliste et cohérent possible.

3.3 SYSTEME HVAC

Les unités HVAC de la villa sont dits 'Split system air conditioners', c'est un type très commun de système existant dans les applications résidentielles. Ces unités sont principalement composées de :

- Compresseur / condenseur : Le compresseur comprime le gaz réfrigérant, et le condenseur condense le gaz à un état liquide. L'humidité est contrôlée par la formation de condensation dans le 'coil'.
- Une unité de traitement d'air contenant l'évaporateur équipé d'une vanne de détente ou d'un dispositif pour évacuer la chaleur de l'air intérieur.
- Un thermostat pour démarrer et arrêter l'unité de condensation et le ventilateur interne basé sur la température intérieure du bâtiment.

Avantages du système en 'split' :

- Production de masse résultant d'un faible coût
- Polyvalence en matière de 'zoning' et de conception. Plusieurs unités peuvent être dimensionnées et installées pour servir des zones ayant des caractéristiques de gain de chaleur différents

3.3.1 VENTILATION

La ventilation est le processus de remplacement de l'air dans tout l'espace pour fournir de l'air intérieur de haute qualité (c.-à-contrôle de la température, renouveler l'oxygène, ou de retirer l'humidité, les odeurs, la fumée, chaleur, poussière, bactéries, et dioxyde de carbone). La ventilation est utilisée pour éliminer les mauvaises odeurs et l'humidité excessive, introduire

de l'air extérieur, pour garder l'air intérieur de l'édifice en circulation, et pour prévenir la stagnation de l'air intérieur.

La ventilation comprend à la fois l'échange d'air à l'extérieur ainsi que la circulation de l'air intérieur du bâtiment. Il est l'un des facteurs les plus importants pour maintenir une qualité acceptable de l'air intérieur dans les bâtiments. Les méthodes pour la ventilation d'un bâtiment peuvent être divisées en deux types : mécanique/forcée et naturelle.

Ventilation naturelle :

La ventilation naturelle a été programmée de manière à s'associer à la ventilation mécanique (mixe mode ventilation) de façon à minimiser le temps d'opération du système de ventilation mécanique (optimisation du coût de fonctionnement) tout en assurant de manière continue sur l'année un renouvellement d'air correct. Les standards existant de nos jours requièrent un minimum d'environ 0.4 ac/h (air change per hour) qui est dans le cas de la villa toujours respecté (l'infiltration d'air à elle seule équivalant à 0.7-0.8 ac/h).

[Note : La mesure commune du débit de ventilation est le nombre de fois où la totalité du volume intérieur de l'air est remplacé par heure, appelé aussi changements d'air par heure]

Le ACH (air changes per hour) relatif à la ventilation naturelle a été fixée à 1.5 ac/h, avec un coefficient de pondération (variant de 0 à 1), permettant ainsi de varier cette valeur en fonction des saisons lors de la programmation des « compact schedules ».

Ventilation mécanique :

Le débit de ventilation est normalement exprimé par le débit volumique d'air extérieur introduit dans le bâtiment. Les unités typiquement utilisées sont cubic feet per minute (CFM) ou litres par seconde (L/s). Le débit de ventilation peut également être exprimé par personne ou par unité de surface de plancher, comme CFM / p ou CFM / m², ou encore changements d'air par heure.

*Les données détaillées du système de ventilation est disponible en **Annexes** (détail de chaque 'unit' avec ses valeurs de débit d'air et d'air frais associées [en CFM])*

Débit d'air frais par personne : **31 L/s-personne**

Débit d'air total par unité de surface : **10.53 L/(s.m²)**

3.3.2 INFILTRATIONS D'AIR EXTERIEUR

Les infiltrations d'air dans un bâtiment sont dues à des différences de pression engendrées soit par le vent, soit par l'écart entre les températures intérieure et extérieure, et sont rendues possibles par les défauts d'étanchéité de l'enveloppe.

L'air extérieur introduit dans le bâtiment doit être porté à la température intérieure de confort, que ce soit par réchauffement (en saison de chauffe) ou par rafraîchissement (en été).

L'infiltration de l'air dans un bâtiment dépend de la qualité d'exécution de celui-ci et est susceptible de produire des situations d'inconfort dès qu'un défaut d'exécution est responsable de courants d'air. Ces infiltrations s'observent souvent dans certains détails de construction et sont dues à des différences de pression engendrées soit par le vent, soit par l'écart de température de part et d'autre de l'enveloppe extérieure.

Le débit d'infiltration d'air a été fixé à 0.75 ac/h

Cette valeur a une importance élevée dans les calculs de simulation dynamique, au même titre que les valeurs exprimées précédemment pour les ventilations naturelles et forcées, car le travail des unités de refroidissement est directement lié au débit d'air extérieur pénétrant dans l'enceinte du bâtiment. Cette valeur peut paraître quelque peu élevée pour un bâtiment aussi récent, seulement la qualité médiocre de l'isolation de son enveloppe ainsi que l'espace (estimé à environ 5cm par M. Vigliotti) qui existe entre le dessous des portes extérieures et le sol permettent une infiltration d'air plus importante, d'où la surévaluation de ce paramètre.

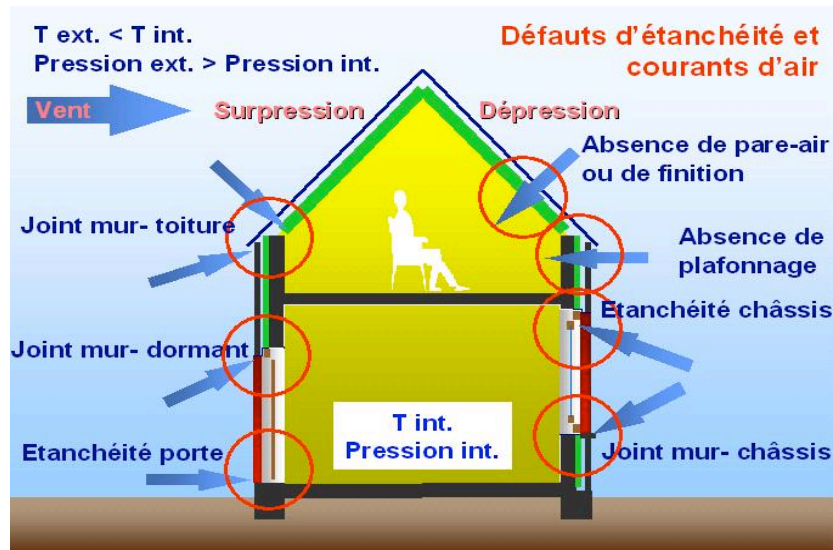


Figure 3.5: Schéma représentant les infiltrations d'air extérieur dans un bâtiment

3.3.3 SYSTEME DE REFROIDISSEMENT (CHILLER)

*Les puissances de chaque unité de refroidissement sont disponibles en **Annexes** avec le détail des températures (On-Coil Temperatures) en °F ainsi que la quantité d'unités, différenciées par leur capacité respective de refroidissement (indiquée en MBH).*

[MBH (1000 British Thermal Unit per Hour): 1 MBH = 1000 BTU/h = 1000 x 1055 J/h = 1.055 MJ/h = 293 J/s = 293 W]

La puissance totale des unités de refroidissement est de 65,515 kW.

Le coefficient de performance (COP) est de 3. Les engins modernes possèdent un COP de 4 voire 5 pour les plus coûteux, tandis que les moins efficaces ont un COP avoisinant 2.5 voire 2 lorsque les conditions de fonctionnement sont « pénibles ». Prenant en compte les paramètres d'influence tels que la ventilation naturelle, forcée et les infiltrations, un coefficient de performance de 3 s'impose comme étant le plus approprié.

Le volume d'air de la villa est régulé à une température de 25°C tout le long de l'année.

CHAPITRE IV: RESULTATS DE LA SIMULATION DYNAMIQUE -VILLA TYPE-C

4.1 VALEURS BRUTES ET DISCUSSIONS DES RESULTATS



Figure 4.1 : Représentation 3D de la Villa après modélisation

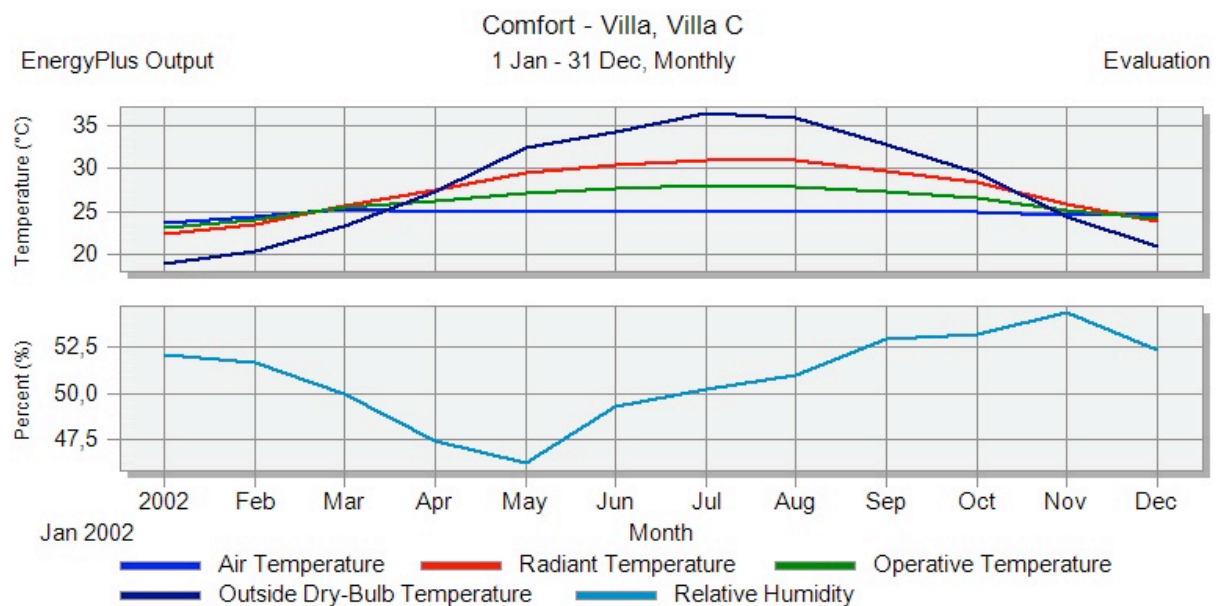


Figure 4.2: Représentation graphique des températures et taux d'humidité au cours de l'année simulée

Ces premières données montrent que la régulation de la température à l'intérieur du bâtiment est parfaitement respectée toute l'année, à savoir gardée constante à 25°C quelques soient les conditions climatiques extérieures. Il est également indiqué sur le graphe du dessous que l'humidité relative oscille à des valeurs comprises entre 40 et 60%, marge au sein de laquelle le climatiseur est censé opéré afin d'assurer des conditions de confort idéales.

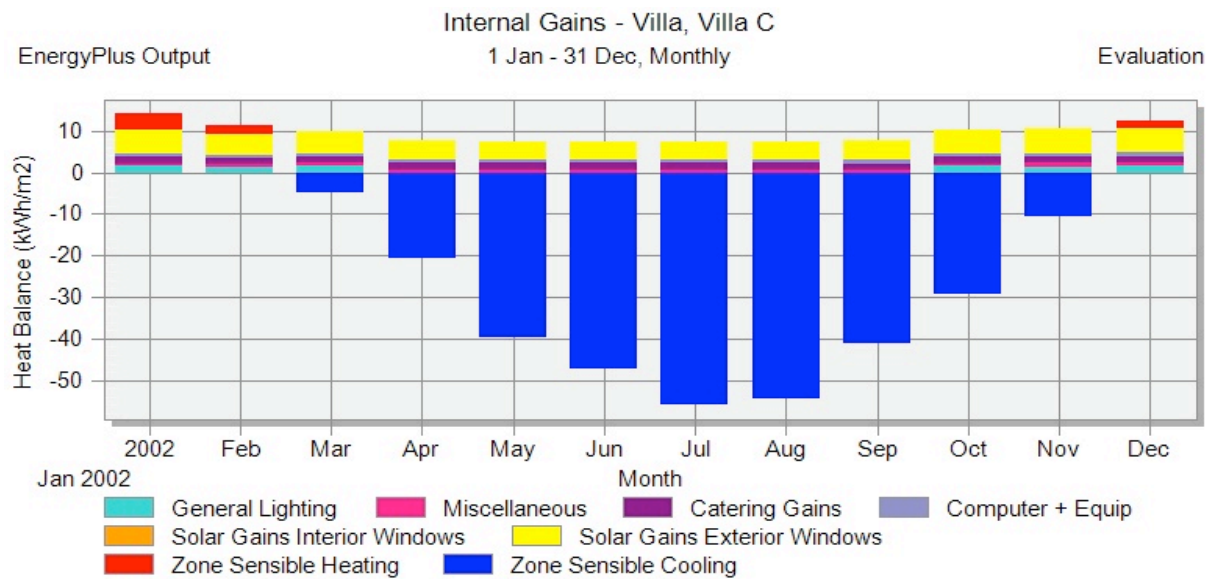


Figure 4.3: Représentation graphique des gains internes dans la villa sur une période annuelle

La figure ci-dessus dévoile les valeurs et les proportions des gains internes dans la villa pour chaque mois de l'année. Durant la période hivernale (les mois de Décembre à Février) les gains de chaleur sont principalement dus aux surfaces vitrées ; ces gains solaires représentent la majeure partie des gains totaux mais ne sont pas suffisants pour assurer les conditions désirées à l'intérieur du bâtiment, ce qui explique la mise en activité du système de chauffe qui assure ainsi la qualité des conditions intérieures. Pendant le reste de l'année, les températures extérieures deviennent très élevées et les gains internes sont alors importants (à travers les vitres, murs, toit etc.) et le cycle de réfrigération opéré par le système HVAC permet alors de soustraire l'air chaud à l'intérieur de la villa pour préserver une température de 25°C. On observe d'une part que la quantité de travail fournie mécaniquement est (logiquement) directement proportionnelle à la température extérieure, et d'autre part que les appareils et autres systèmes mécaniques dans l'enceinte du bâtiment produisent des gains internes compensés par le climatiseur, augmentant ainsi la consommation électrique. L'éclairage joue généralement un rôle sensible, surtout pour des bâtiments utilisant des lampes incandescentes (très dissipatrices).

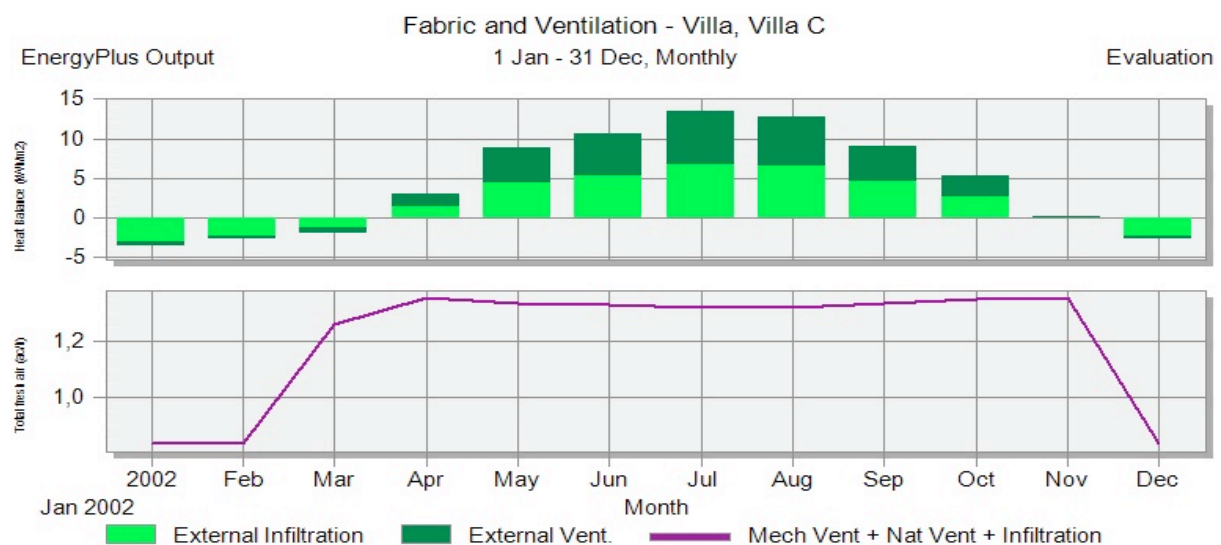


Figure 4.4: Ventilations et Infiltrations extérieures sur une période annuelle

Cette figure montre l'importance de la ventilation dans la consommation électrique annuelle. La ventilation mécanique ne suffit pas toujours à fournir un renouvellement d'air satisfaisant, donc la ventilation naturelle devient nécessaire, surtout durant la période estivale comme indiqué sur le graphe. Le renouvellement de l'air est supérieur à 0.8 ac/h toute l'année en raison des infiltrations d'air extérieur, et cela associé à la ventilation naturelle requiert d'autant plus de travail mécanique pour permettre de conserver les conditions intérieures souhaitées.

EnergyPlus Output	Temperature and Heat Loss	Evaluation
Outside Dry-Bulb Temperature (°C)	04.00	
Glazing (kW)	-2.01	
Walls (kW)	-2.47	
Ceilings (int) (kW)	-1.06	
Floors (int) (kW)	1.06	
Ground Floors (kW)	-3.42	
Partitions (int) (kW)	0.00	
Roofs (kW)	-5.20	
Doors and vents (kW)	-0.04	
External Infiltration (kW)	-1.68	
External Vent. (kW)	-4.63	
Zone Sensible Heating (kW)	18.43	

Figure 4.5: Pertes de chaleur à travers les divers éléments de construction

Ce tableau de valeurs est extrait du design du système de chauffage : la journée la plus froide est choisie par l'utilisateur et ensuite extraite des données météorologiques afin de déterminer le 'sizing' des éléments en question, avec un facteur de 1.30 afin d'assurer toute cohérence des calculs. Les pertes de chaleur sont alors représentées dans un tableau permettant de vérifier la cohérence des données. On observe ainsi que les pertes sont liées aux éléments suivants (dans un ordre d'importance croissant) :

1. Toit
2. Renouvellement de l'air
3. Sol
4. Murs
5. Fenêtres

Cet ordre est tout à fait similaire à celui d'une résidence domestique mal ou non isolée :



Figure 4.6: Pertes de chaleurs dans une maison typique mal ou non isolée

4.2 CONSOMMATION D'ENERGIE : ANALYSE MENSUELLE ET QUALITATIVE

La consommation énergétique de la villa C est à peu près de 250 kWh/m², or les pertes indiquées sur le schéma précédent sont typiques d'un bâtiment dont la consommation énergétique est supérieure à 250-300 kWh/m². Les résultats indiqués par la simulation dynamique recourent donc idéalement ce modèle, confortant ainsi l'exactitude des calculs.

Températures		Room Elec.	Lighting	Misc.	Heat generation	Chiller	DHW	Ext. Lighting	Total	Valeurs réelles	Différence (%)
23,6	Janvier	1,19	0,75	0,21	2,23	0	1,2	0,06	2385,72	1670	30,00016766
23,84	Février	2,41	1,34	0,38	2,57	0	1	0,11	3303,63	2511	31,56630824
25,05	Mars	3,18	0,62	0,42	0	2,93	2,97	0,12	4331,52	4079	5,829824173
24,95	Avril	3,08	0	0,41	0	10,28	0,37	0,11	6027,75	3601	67,3910025
24,93	Mai	2,89	0	0,42	0	19,91	0,35	0,12	10020,87	9440	5,796602491
24,97	Juin	3,02	0	0,45	0	29,07	0,7	0,11	14107,05	13376	5,465385766
24,97	Juillet	3,63	0	0,67	0	38,3	3,34	0,12	19483,38	18885	3,07123302
24,97	Août	2,71	0	0,42	0	30,59	0,8	0,12	14652,72	13560	8,05840708
24,95	Septembre	3,03	0	0,41	0	21,53	1,12	0,11	11082,6	10229	7,702163752
25,05	Octobre	2,89	0,49	0,42	0	15,9	0,7	0,12	8679,96	8821	-1,598911688
25,12	Novembre	3,08	1,41	0,37	0	6,25	1,35	0,11	5317,11	6400	-20,36613875
23,75	Décembre	1,42	1,19	0,42	2,3	0	0,5	0,12	2516,85	2090	20,42344498
		32,53	5,8	5	7,1	174,76	14,4	1,33	101509,16	94662	7,111392146
									95881,41	91061	5,027470914

Figure 4.7: Consommations énergétiques mensuelles simulées, comparaison avec modèle réel

La période hivernale (Décembre à Février) présente quelques incohérences dues au 'sizing' du système HVAC pour cette période de l'année. En effet, on remarque que la température ambiante de la Villa n'atteint jamais 25°C malgré la chaleur fournie mécaniquement. Le mois d'Avril présente le plus grand écart entre la valeur mesurée et simulée mais ne devrait pas être pris en considération car d'après les données réelles mesurées il est certain que la villa ne fut pas occupée durant la totalité du mois d'Avril 2010. Les relevés des compteurs d'eau indique une très faible valeur en Avril et d'après les données météorologiques la consommation électrique devrait logiquement être supérieure à celle du mois de Mars, donc cet écart ne peut s'expliquer que par l'absence des occupants durant une partie du mois d'Avril. Tous les autres mois présentent des valeurs très similaires aux données mesurées, à savoir une différence d'environ 5% ou moins.

La différence annuelle entre les résultats de la simulation dynamique et les données mesurées s'élève à 7.1%, en prenant en compte toutes les erreurs évidentes indiquées précédemment. En négligeant le mois d'Avril seul et en gardant les résultats de la période Hiver, la différence entre les résultats chute à 5%, ce qui démontre une très grande précision.

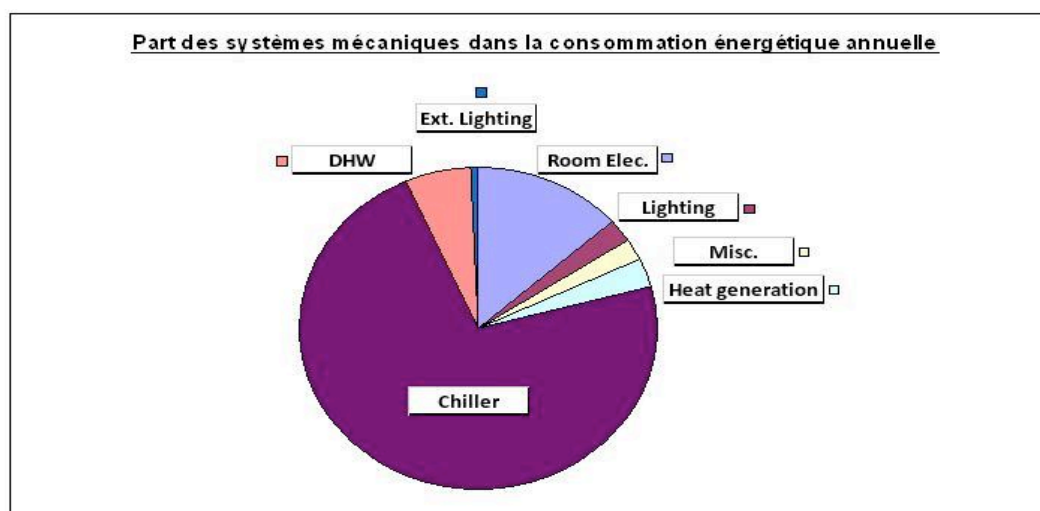


Figure 4.8: Détail de la consommation énergétique annuelle

La figure 4.8 montre l'importance de l'air conditionné dans la consommation totale annuelle, la Villa simulée utilise près de 75% de ses ressources énergétiques pour alimenter le cycle de réfrigération et conserver une température de 25°C toute l'année. La production de chaleur pour les mois d'Hiver ne représente qu'une très mince partie de la consommation énergétique finale, ce qui paraît logique dans un climat où la température moyenne annuelle avoisine les 27°C, les périodes d'activation de ce système de chauffage sont assez rares et plutôt limitées. Plus tôt dans ce chapitre, les figures 4.5 et 4.6 nous montraient l'importance des pertes de chaleur dans une maison de ce type, la quantité d'énergie que le 'chiller' doit consommer afin de palier à ses pertes est considérable et représente la source majeure d'amélioration dans ce domaine. Les échanges de chaleur dus aux ventilations naturelles et mécaniques sont à peine équivalents à ceux dont les infiltrations extérieures sont responsables, ce qui signifie qu'une maison plus étanche pourrait potentiellement diminuer par deux les dépenses relatives au renouvellement d'air forcé. Le refroidissement requis de l'air ambiant jusqu'à une température constante de 25°C toute l'année sera donc le point crucial à l'origine de la forte consommation énergétique et la pauvre performance du bâtiment. Une méthode simple est déjà envisagée, à savoir implémenter des « ceiling fans » afin d'opérer lors de températures très élevées car il est prouvé que la température de confort, celle éprouvée par l'occupant, est environ 4°C inférieure à la température ambiante pour une vitesse égale à 1m/s. Cela pourrait permettre de réguler à des températures plus élevées lorsque les ventilateurs opèrent afin de créer de grandes économies d'énergie.

4.3 SIGNATURE ENERGETIQUE DE LA VILLA

La signature énergétique est une droite qui établit la consommation d'un bâtiment en fonction du climat. Après une période d'observation suffisante, la variation moyenne des consommations en fonction du climat est définie. Elle est établie par régression du 1er degré à partir des consommations et des rigueurs climatiques (températures moyennes extérieures) pour les périodes d'observation correspondantes (mois).

En disposant de suffisamment de relevés portant sur des périodes froides et des périodes plus douces, on remarque que les points du diagramme ont tendance à se regrouper autour d'une droite fictive. Cette droite est la signature énergétique du bâtiment. Toute anomalie de fonctionnement se traduit par un éloignement brusque ou progressif de cette droite par rapport à la régression établie, pour le même bâtiment, pour une période antérieure. C'est ce phénomène que l'on observe au mois d'Avril dans le cas de l'étude de la Villa C.

Toutes conditions d'occupation étant inchangées, il sera alors possible de mesurer l'impact de rénovations énergétiques du bâtiment ou des systèmes. C'est ce travail qui sera fait lors du semestre 2, déterminer les effets de rénovations ou modifications des systèmes sur la performance énergétique d'un bâtiment à l'aide de sa signature énergétique déterminée préalablement.

La pente de la droite est donc proportionnelle au coefficient K du bâtiment et représente la sensibilité du bâtiment aux rigueurs climatiques. Plus la pente de la droite est élevée, plus le bâtiment est sensible aux rigueurs climatiques, soit par défaut d'isolation, soit par défaut d'étanchéité à l'air. On remarque dans notre cas que la pente devient importante lors de la période estivale, le pic étant atteint durant le mois de Juillet.

Enfin il est également remarquable que la courbe de Janvier à Juillet est de nature du second degré, tandis que la pente de Juillet à Décembre décrit une courbe du premier degré. Les

signatures énergétiques dont la concavité est tournée vers le haut peuvent s'expliquer par le choix d'une courbe de régulation inadéquate donnant lieu à des surchauffes (ou sur-refroidissement) lorsque les températures extérieures sont basses (ou élevées).

4.4 COMPARAISON DES MODELES REEL ET SIMULE POUR VALIDATION

Les résultats sont comparés graphiquement afin de s'assurer que la tendance des valeurs de consommation simulées est correcte :

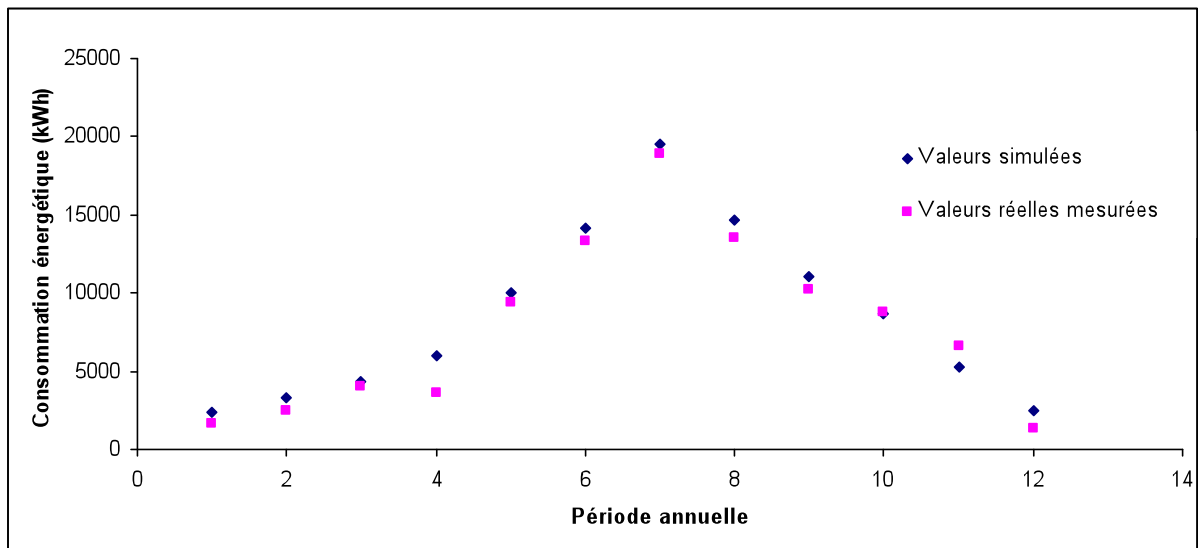


Figure 4.9: Comparaison graphique des données de consommations

Le graphique montre ainsi une très grande corrélation entre les valeurs mesurées et simulées, la tendance étant identique et la différence absolue entre les valeurs très faible.

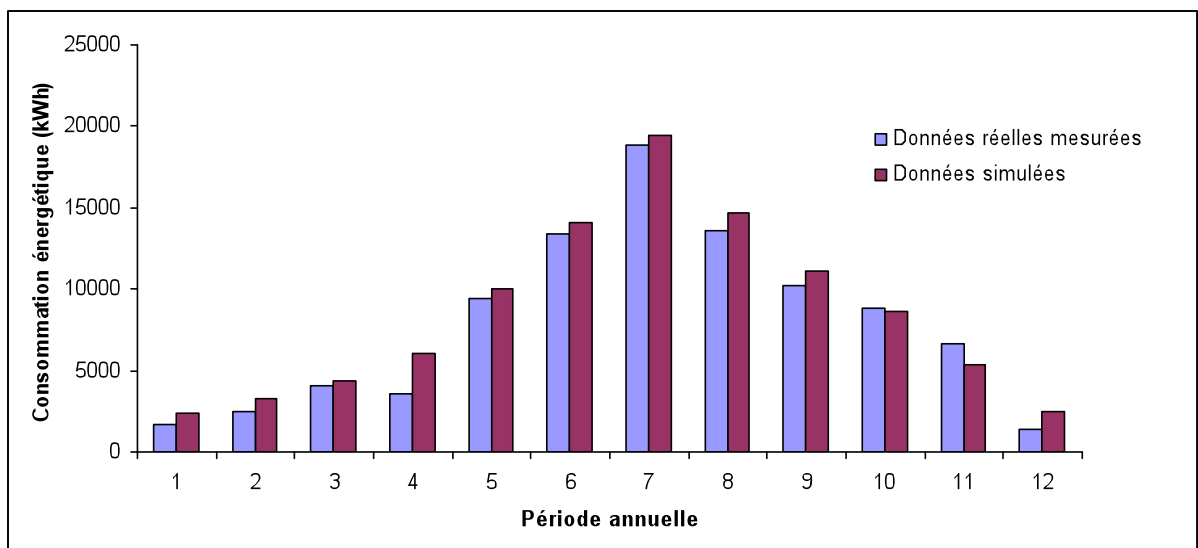


Figure 4.10: Comparaison quantitative des valeurs de consommations mensuelles

De la même manière que précédemment on remarque une très grande affinité entre les valeurs mesurées et simulées. En négligeant la valeur 'aberrante' du mois d'Avril et en gardant à l'esprit le fait que les données simulées pour la période hivernale peuvent être améliorées avec un 'sizing' correct, le modèle de simulation dynamique démontre ainsi une grande précision et une cohérence certaine des résultats.

CONCLUSION

Le modèle dynamique de la Villa développé au cours de cette étude est désormais validé ; les résultats obtenus étant précis et cohérents vis-à-vis des données réelles mesurées, il sera aisé d'estimer avec fiabilité la signature énergétique du bâtiment comme discuté préalablement dans ce chapitre. Il est important cela dit de noter que les résultats obtenus lors de cette étude n'auraient été aussi précis sans les informations relatives aux consommations réelles du bâtiment obtenues au préalable. Ceci indique les limites de la simulation dynamique, lorsqu'un bâtiment doit être étudié avant construction il est impossible de disposer de ces mesures, les paramètres de simulation deviennent alors extrêmement complexes à définir. Dans cette étude, les « compact schedules » ont été construits et remaniés de façon à correspondre aux indications fournies par le propriétaire et de manière à coïncider avec les données mesurées, ce qui simplifie de toute évidence la modélisation et caractérisation du bâtiment et de ses composantes.

A partir des informations et données collectées durant ce semestre, il sera envisagé de bâtir un modèle optimisé de la villa C dont on pourra juger les performances à l'aide de sa signature énergétique et ainsi appliquer toutes les 'rénovations' (sur le plan des matériaux et construction) et modifications des systèmes mécaniques, et employer des méthodes passives de manière à réduire au maximum les dépenses énergétiques du bâtiment dans le but final d'instaurer de nouveaux standards MINERGIE® aux EAU et dans les pays au climat similaire (tropical-humide). Il est à noter que parmi les objectifs du second semestre, les résultats obtenus à partir des simulations dynamiques seront également comparés à ceux fournis par les calculs simplifiés proposés par le Pr. C.A. Roulet dont les détails apparaissent en Annexes.

La marge de progression est immense, la consommation énergétique de la villa pourrait être réduite d'un facteur important simplement en comblant les zones d'infiltrations, en optimisant les paramètres du système HVAC, en plaçant une isolation conséquente sur tout l'ensemble du bâtiment et en utilisant d'autres méthodes passives qui ont déjà fait leurs preuves.

Références

- Aboulmaga, M, Al-Sallal, KA & Diasty, RE, 2000, '*Impact of city urban patterns on building energy use: Al-Ain city as a case study for hot-arid climates*'. Architectural Science Review, 43 (3), pp. 147-158
- Aboulmaga, MM & Elsheshtawy, YH, 2001, '*Environmental sustainability assessment of buildings in hot climates: The case of the UAE*'. Renewable Energy, 24 (3-4), pp. 553-563
- Austrade, 2008, '*Green building to the United Arab Emirates*', 10 June 2008, Viewed September-2008:
<http://www.austrade.gov.au/Default.aspx?PrintFriendly=True&ArticleID=8658>
- Givoni, B, 1976, '*Man, climate and architecture*'. 2nd ed., Applied Science Publishers, London, UK
- Givoni, B, 1989, '*Urban design in different climates*'. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland
- Givoni, B, 1992, '*Climatic aspects of urban design in tropical regions*'. Atmospheric Environment - Part B Urban Atmosphere, 26 (3), pp. 397-406
- Kazim, AM, 2007, '*Assessments of primary energy consumption and its environmental consequences in the United Arab Emirates*'. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11, pp. 426-446
- Boyer, H., Garde, F., Gatina, J.C., Brau, J. 1998. '*A multi model approach of thermal building simulation for design and research purposes*'. Energy and Buildings 28 (1): 71-79.
- François Garde, Professeur, LPBS, Université de La Réunion, 2007, '*Réalisation d'un bâtiment à énergie positive. De la phase programme à la conception*', publication de l'Université de la Réunion liée aux recherches sur l'énergétique du bâtiment en climat tropical-humide
- Ellis, P.G. and Torcellini, P.A. 2005. '*Simulating tall buildings using EnergyPlus*'. 9th IBPSA Conference proceedings: 279-286.
- Kaplan, M. and Canner, P. 1992. '*Guidelines for energy simulation of commercial buildings*'. Portland: Bonneville Power Administration.
- Danielle Monfet, Radu Zmeureanu, Roland Charneux and Nicolas Lemire, '*Computer model of a University building using the EnergyPlus program*'. Building Simulation 2007, Concordia University, Montreal, Quebec, CANADA

Websites

MINERGIE Suisse:

<http://www.minergie.com/basics.html>

Environmental and Energy Study Institute:

<http://www.eesi.org/addressing-climate-change-energy-efficient-buildings-best-practices-switzerland-07-oct-2009>

ENERPOS-Projet modélisation et conception en Réunion :

<http://www.agence-nationale-recherche.fr/documents/aap/2006/finance/PREBAT-2006-resumes.pdf>

Exemple de simulation dynamique d'un bâtiment universitaire utilisant Energy-Plus :

http://simulationresearch.lbl.gov/dirpubs2/BS07/eplus_171.pdf

Institut de recherche, simulation et optimisation des bâtiments en zone tropicale :

http://departements.univ-reunion.fr/iut_dpt_gc/coordonnees.htm