

Analyse théorique et expérimentale de la consommation d'énergie d'une habitation individuelle dans la ville de Batna

Chaâbane Hamouda¹ et Ali Malek²

¹ Unité de Recherche, Université Hadj Lakhdar,
Rue Chahid M. El. Hadi Boukhrouf, 05000 Batna, Algérie

² Division Energie Solaire Photovoltaïque, Centre de Développement des Energies Renouvelables,
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, 16000 Alger, Algérie

(reçu le 25 Juillet 2006 – accepté le 30 Septembre 2006)

Résumé - Le bilan énergétique national de l'année 2005, montre que la consommation finale évaluée à 24,437 Millions de TEP, fait ressortir une prédominance de la consommation énergétique du secteur des ménages (soit 52,3 % de la consommation finale) par rapport aux secteurs de l'industrie (23,8 %) et celui des transports (23,9 %). Dans cet article, est présentée une analyse de l'utilisation des différents vecteurs énergétiques dans une habitation individuelle en milieu urbain. A l'aide d'un programme de simulation des paramètres thermiques du bâtiment, nous avons identifié les sources de déperditions énergétiques, ainsi que les possibilités d'économie d'énergie pour ce bâtiment. Les résultats obtenus sont comparés aux standards publiés, particulièrement pour les maisons à faibles consommations d'énergie.

Abstract - The national energy balance of the year 2005 shows that the final consumption was evaluated to 24,437 Millions Mtoe emphasizes a prevalence of the power consumption of the households sector (that is to say 52,3 % of the final consumption) compared to the industry sectors (23,8 %) and that of transport (23,9 %). In this article, is presented an analysis of the use of the various energy vectors in an individual dwelling in an urban environment. Using a simulation program of the thermal parameters of the building, we identified the energy sources of losses, as well as the possibilities of energy savings for this building. The results obtained are compared with the standards published, particularly for the houses with low energy consumption.

Mots clés: Consommation énergétique - Bilan thermique - Bilan énergétique - Economie d'énergie - Habitat passif - Emissions CO₂.

1. INTRODUCTION

L'électrification du pays faisait apparaître à l'indépendance une extrême disparité entre les zones urbaines et les zones rurales, reflétant la répartition géographique des populations sous la colonisation. A cette époque, seulement 450 centres et 1000 fermes de colons, pour 1600 km de MT et 1250 km de BT ont été raccordés au réseau d'électricité. En 1962, la production nationale d'électricité était de 1134 GWh pour une puissance totale installée équivalente à 568 MW [1]. Depuis, ce secteur a connu à partir des années 70, avec le lancement des différents programmes de développement, une croissance appréciable (**Tableau 1**). La croissance démographique, avec un taux de 3,2 % par an durant la période 1970-1990, a été le facteur déterminant pour l'accélération de l'électrification du pays. Le taux national d'électrification est passé de 53 % en 1975 à 80 % en 1985, actuellement ce taux est de l'ordre de 95 %.

Le raccordement des différents centres (urbains et ruraux) a permis l'accès à plus de cinq millions de foyers à l'électricité et plus de un million de foyers au gaz naturel. Le raccordement également en haute et basse tension pour l'électricité et haute et basse pression en gaz a permis le développement des activités industrielles et artisanales dans toutes les régions du pays.

Cette croissance, soutenue depuis l'indépendance, s'est accompagnée d'une évolution remarquable de la consommation énergétique nationale passant de 5 MTEP en 1970 à 36 MTEP en l'an 2005. Par habitant, celle-ci se traduit par une augmentation de 0,3 TEP/hab. à un peu plus de 1 TEP/hab. actuellement.

Tableau 1: Evolution de la population, puissance installée et production d'énergie en Algérie

Année	1962	1966	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005
Population (millions)	-	12,022	13,095	15,417	18,370	21,510	25,022	28,060	30,386	32,906
Puissance installée (MW)	568	638	650	1277	1837	2872	4567	5514	5922	6770
Production (GWh)	1134	1094	1691	3133	6220	11221	15448	19361	25008	33611

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

2. ANALYSE DE LA CONSOMMATION PAR CATEGORIE DE PRODUITS ENERGETIQUES DANS LE SECTEUR DES MENAGES ET AUTRES EN ALGERIE

Le bilan de la consommation nationale de l'année 2005 [2], montre que l'énergie primaire disponible est de 179,385 millions de TEP. De ce bilan global, il ressort que 80 %, soit 145,353 millions de TEP de l'énergie disponible sont destinés à l'exportation et 20 %, soit 36,191 millions de TEP seulement, sont destinés aux approvisionnements internes. La consommation finale pour 2005 (**Tableau 2**) montre que les produits énergétiques utilisés par les industries, les ménages et les transports constituent 67,5 % des approvisionnements internes, avec une augmentation annuelle de 5,3 %. Les autres composantes de la consommation sont les industries énergétiques, la consommation non énergétique et les pertes de transport et de distribution.

Tableau 2: Répartition de l'approvisionnement interne par secteur pour l'année 2005

Consommations par secteur	Quantité (MTEP)	Taux (%)
Consommation finale	24,437	67,50
Consommation des industries énergétiques	7,023	19,40
Consommation non énergétique	2,040	5,70
Pertes (transport et distribution)	2,691	7,40
Consommation globale	36,191	100,00

La répartition par secteur (Fig. 1), montre que celui des ménages et autres, consomme 52,3 % de la consommation finale, le reste est réparti entre le secteur des transports 23,9 % et le secteur de l'industrie et le BTP avec 23,8 %. Dans ce groupe de consommation, le secteur des ménages et autres a connu une augmentation de 6,4 % passant de 12,011 millions de TEP en 2004 à 12,776 millions de TEP en 2005. Celui des Transports a connu une croissance de 2,8 % pour atteindre 5,845 millions de TEP en 2005, ce secteur de la consommation finale reste dominé par les produits pétroliers, orientés vers le carburant automobile. Enfin, le secteur de l'industrie et du BTP a atteint 5,817 millions de TEP en 2005 contre 5,5 millions de TEP en 2004.

La répartition par produit énergétique de la consommation du secteur des ménages et autres fait ressortir la prédominance de deux produits énergétiques (Fig. 2): électricité et gaz naturel, totalisant 65,1 % de la consommation totale. La demande croissante en énergie électrique de ce secteur, une moyenne de 1000 GWh par an, équivaldrait à la réalisation d'une centrale électrique de 200 MW, exigeant des investissements importants pour satisfaire cette demande. L'accessibilité à l'énergie, à des prix abordables et reflétant les coûts réels de production des services énergétiques, nécessite la mise en place d'une stratégie intégrant de nouvelles approches

de rationalisation de l'énergie. Le secteur des ménages et autres, grand consommateur d'énergie, constitue, en même temps, un important potentiel d'économie d'énergie.

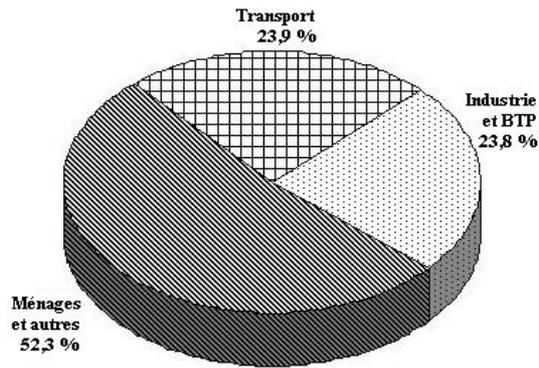


Fig. 1: Consommation finale par secteur (évaluée en 2005 à 24,437 millions TEP)

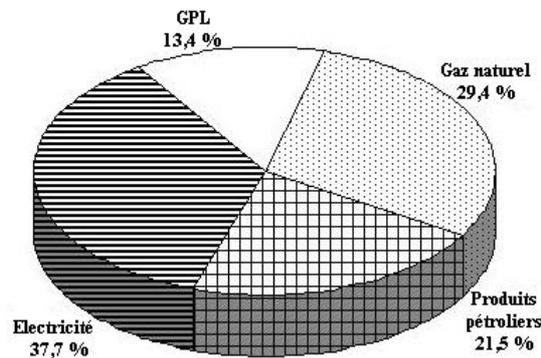


Fig. 2: Répartition par forme d'énergie de la consommation du secteur des ménages et autres (évaluée en 2005 à 12,776 millions de TEP)

3. BILAN ENERGETIQUE D'UNE HABITATION INDIVIDUELLE

3.1 Programmes de simulation des paramètres thermiques d'un bâtiment

La modélisation des paramètres thermiques d'un bâtiment est fonction de la dynamique propre de celui-ci, des variations climatiques et des matériaux utilisés. Cependant, les programmes sont utilisés dans le développement et la recherche dans le bâtiment (**Tableau 3**) selon deux modes: **Statique**: Calcul du bilan énergétique, apports et pertes des énergies à l'état stationnaire. Dans ce cas, il ne sera pas tenu compte des variations (réchauffement et refroidissement) subies par le bâtiment, ni des changements intervenus dans le mode de fonctionnement des installations et équipements. Les méthodes de calcul appliquées sont relativement simples et sont appliquées à la modélisation des bâtiments moins complexes.

b- Dynamique: Dans ce cas, les variations, dans le temps, des différents paramètres du bâtiment et des installations, doivent être considérées. Pour leurs modélisations, celles-ci nécessitent des moyens de calculs complexes. Les programmes commercialisés à ce jour basés sur des méthodes numériques, permettent la modélisation dans le temps de la température, des besoins en chauffage et en froid, tenant compte de la dynamique du bâtiment. Les caractéristiques du site, situation, orientation et données climatiques (température, vitesse du vent, rayonnement, pluviométrie,...), conditionnent en partie le modèle de simulation de projets.

Tableau 3: Exemple de programmes ou logiciels de modélisation des bâtiments [3]

Programme	Développé/Commercialisé par	Applications
COMFIE	Ecole des Mines de Paris	Simulation de maisons solaires
DIAS 2.1	CUEPE, Université de Genève	Données interactives d'architecture solaire
TRNSYS	Solar. Energy Lab. Université Wisconsin - Madison	Simulation des systèmes complexes de l'habitat
TSOL	Valentin Energie software	Simulation dynamique des installations solaires
PVS2.001	Econcept Energieplanung GmbH	Simulation des systèmes PV
ADELINÉ	Lawrence Berkley Nat. Laboratory	Simulation complète des bâtiments
DOE-2	Lawrence Berkley Nat. Laboratory	Planification et recherche en énergie
METEONORM	Meteotest, Berne, Suisse	Modélisation des paramètres climatiques
SPARK	Lawrence Berkley Nat. Laboratory	Systèmes complexes à objets orientés

3.2 Paramètres du site

3.2.1 Données climatiques

Le rayonnement solaire, la température extérieure et la vitesse du vent sont les paramètres qui influent le plus sur le comportement thermique d'un bâtiment. En tenant compte de ces éléments, il est possible de concevoir une habitation avec un maximum de confort intérieur, contrôlé, quelque soit le climat extérieur. Dans les zones bien ensoleillées, l'apport solaire en hiver, pour le chauffage d'appoint et pour l'eau chaude, doit être maximalisé.

3.2.2 Type d'affectation

L'affectation du bâtiment, qui peut être soit une habitation, soit un local de formation ou soit un ensemble de bureaux administratifs, influe aussi bien sur la répartition des espaces que sur le niveau du confort exigé.

Dans le cas de ce projet d'habitation, les exigences en termes de confort visuel, thermique et renouvellement d'air sont propres à chaque espace (chambre, séjour et salle d'eau). Ils sont fonction de l'occupation journalière, hebdomadaire et saisonnière. Ainsi l'orientation de ces espaces est établie en fonction du mouvement du soleil. Le côté sud, exposé au soleil, est réservé au séjour, salle à manger et chambres pour enfants. Le côté nord, peu ensoleillé en hiver, et cet espace est réservé aux diverses utilités de l'habitation (garage, escalier,). Pour des orientations Nord-Sud, les espaces réservés pour l'habitation sont implantés au sud, tandis que ceux réservés aux services sont implantés au nord.

3.3 Bilan énergétique du bâtiment

3.3.1 Paramètres énergétiques

L'énergie finale (électrique E_e et thermique 'calorifique' E_w), consommée par un bâtiment à usage d'habitation (Fig. 3), permet de compenser l'ensemble des diverses pertes thermiques par les parois, par ventilation et aussi celles des diverses installations de transformation d'énergie.

Les méthodes appliquées pour le calcul des différentes composantes du bilan énergétique sont établies différemment, en fonction des conditions climatiques, par zone, pour chaque pays [4, 5]. Ces méthodes sont actualisées périodiquement, pour mieux les adapter aux exigences des normes établies d'une part et à l'utilisation des équipements à faible consommation d'énergie, d'autre part.

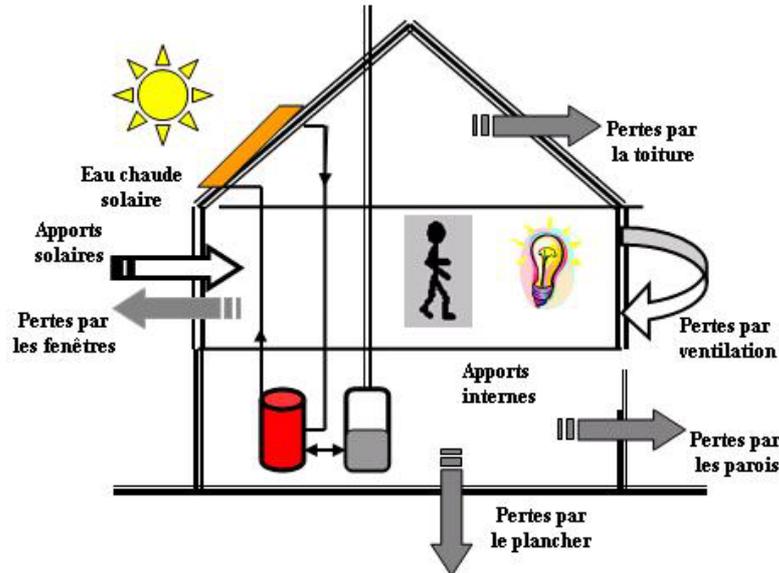


Fig. 3: Pertes et apports énergétiques dans un bâtiment à usage d'habitation

L'énergie finale, pour le chauffage du local, est donnée par l'expression:

$$E_w = Q_w + Q_v \quad (1)$$

Q_w : Besoins en chaleur

Q_v : Somme des pertes en chaleur

$$Q_w = Q_h + Q_{ww} \quad (2)$$

Q_h : Besoins pour le chauffage

Q_{ww} : Besoins pour l'eau chaude

$$Q_h = (Q_t + Q_1) - Q_g \quad (3)$$

Q_t : Besoins en chaleur par transmission

Q_1 : Besoins en chaleur par ventilation

Q_g : Apports en chaleur

$$Q_g = f_g \times Q_f \quad (4)$$

Q_f : Chaleur interne et externe

f_g : Taux d'utilisation de la chaleur.

3.3.2 Pertes par transmission des parois et renouvellement d'air par ventilation

Les pertes par transmission des parois ou de l'enveloppe du bâtiment et par renouvellement d'air sont très importantes dans le cas des habitations individuelles. Elles sont à leur maximum durant la période hivernale. Celles-ci dépendent de la différence de température entre la température intérieure et la température extérieure, et la réduction des pertes est influencée fortement par la qualité des matériaux isolants utilisés. Ces pertes sont compensées par les apports suivants:

- apports par chauffage auxiliaire avec ou sans appoint solaire,
- apports par énergie solaire,
- apports internes par les personnes et les équipements électriques.

Les pertes par les différentes parois et celles dues au renouvellement d'air sont données par les relations suivantes:

$$Q_t = Q_{t\text{Toit}} + Q_{t\text{Parois}} + Q_{t\text{Fenêtres}} + Q_{t\text{Plancher}} \quad (5)$$

$$Q_{ti} = A_i \times k_i \times \text{HGT} \times 24 \times (1/1000) \quad (6)$$

Q_{ti} : Pertes par élément 'toiture, paroi, fenêtre, plancher' (kWh)

A_i : Surface de l'élément (m^2)

k_i : Facteur k de l'élément ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

HGT : Taux de chauffage ($\text{K} \times \text{jour}/\text{an}$)

$$Q_l = n \times V \times C_p \times \rho_l \times \text{HGT} \times 24 \times (1/3600) \quad (7)$$

Les apports internes et externes sont donnés par la relation ci-après:

$$Q_f = Q_s + Q_p + Q_e \quad (8)$$

Q_s : Apports par énergie solaire

Q_p : Apports par les occupants

Q_e : Apports par les équipements électriques.

3.3.3 Apports par énergie solaire

Les apports solaires les plus importants de l'année (mai-septembre) ne sont pas en phase avec les besoins pour le chauffage, période située entre les mois d'octobre et d'avril.

Le dispositif de captage est constitué d'éléments de façades vitrées (orientation sud +/- 30°), qui permettent un captage direct de l'énergie solaire. Durant la période d'été, une protection contre les surchauffes doit être apportée. Ces différents éléments, doivent faire l'objet, durant la phase de l'étude architecturale, d'une attention particulière et d'un choix judicieux des matériaux.

Les apports par énergie solaire par les parois vitrées sont donnés par l'expression suivante:

$$Q_s = G_{HT} \times f_b \times g \times f_r \times A_f \quad (9)$$

G_{HT} : Rayonnement global par jour de chauffage - f_b : facteur de réduction (ombrage et poussière) - g : Taux global de transmission - f_r : Surface du vitrage (sans cadre) - A_f : Surface des fenêtres.

3.3.4 Apports internes par les occupants et les équipements électriques

La chaleur dégagée par les occupants, habitant le bâtiment, et les différents équipements électriques utilisés par ces derniers pour leurs besoins, constituent les apports internes en chaleur.

Pour les occupants, c'est le niveau d'activité qui modifie le contenu calorifique du corps (convection, radiation, évaporation par respiration et sudation).

Les apports par les occupants sont:

$$Q_p = C_p \times P \times h_p \times HT \pm 1/1000 \quad (10)$$

La chaleur apportée par les équipements électriques est donnée par l'expression suivante:

$$Q_e = E_e \times f_e \times HT / 365 \pm 1/1000 \quad (11)$$

C_p : Chaleur dégagée par occupant (W/occupant) - P : Nombre d'occupant - h_p : Présence par jour (h/jour) - HT : Nombre de jours chauffés (jours/an) - E_e : Consommation d'électricité (kWh/m²an) - f_e : Facteur de réduction.

4. APPLICATION DU MODELE A UNE HABITATION INDIVIDUELLE A BATNA

Pour l'application de ce modèle, le choix s'est porté sur un bâtiment d'habitation individuelle, situé dans la ville de Batna (Fig. 4). L'étude d'architecture, bioclimatique, a été réalisée, en 1986 par une équipe d'enseignants¹ de l'Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme (EPAU) d'Alger.

Les éléments essentiels de cette étude sont:

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

Le rez-de-chaussée (Fig. 5) est composé d'un séjour, d'une chambre, d'une cuisine. Un hall, espace dénommé 'SERRE', d'une surface de 28 m², est réalisé sur deux niveaux avec un volume de 168 m³, destiné à accumuler la journée, l'énergie issue du rayonnement solaire et de la diffuser au cours de la nuit dans l'habitation. Les caractéristiques de cet espace sont les grandes ouvertures orientées Sud, constitué de quatre fenêtres (1,70 m x 1,80 m) et deux fenêtres orientées Sud-Est (1,20 m x 2,20 m). Durant la période hivernale, caractérisée par une hauteur relativement basse du soleil, les rayons solaires pénètrent profondément (8 m) à l'intérieur de l'habitation étudiée.

Le premier étage est composé de quatre chambres, d'une salle de bain et d'un vide sur 'SERRE'. La partie sous toit est actuellement non achevée.



Fig. 4: Vue coté Nord et coté Ouest de l'habitation étudiée

¹ M^{me} Ould Hénia

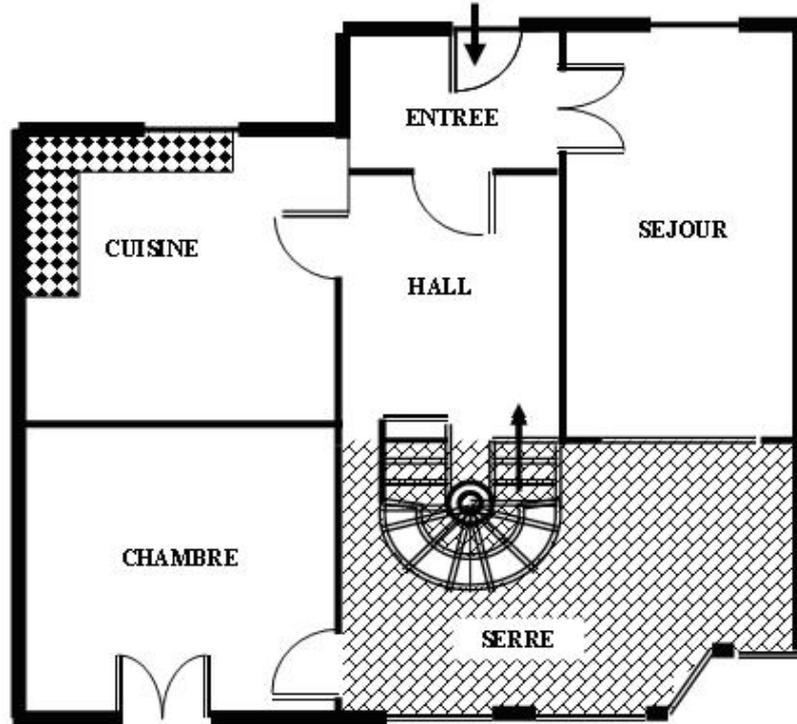


Fig. 5: Vue en plan du RDC avec l'espace Serre orienté vers le Sud

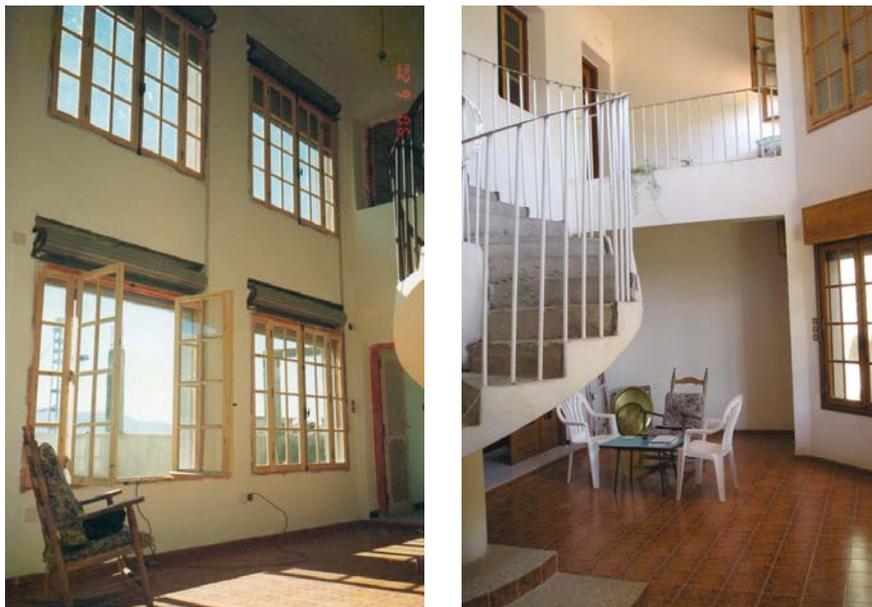


Fig. 6: Vues de l'espace 'SERRE' de l'intérieur de l'habitation étudiée

4.1 Consommation énergétique du bâtiment à usage d'habitation

La consommation annuelle d'énergie est calculée sur la base des relevés d'électricité et de gaz facturés par la société nationale d'électricité et du gaz. Pour ce bâtiment, la consommation en énergie électrique, cumulée pour l'année 2000 (Fig. 7), a été de **2355 kWh**. Tandis que la consommation en gaz, exprimée en kWh, est de **33926 kWh** ($1 \text{ m}^3 \text{ de GN} = 10,50 \text{ kWh}$). Sur le diagramme ci-dessous (Fig. 8), est représentée la répartition trimestrielle de la consommation en gaz pour les années 1999-2001.

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

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

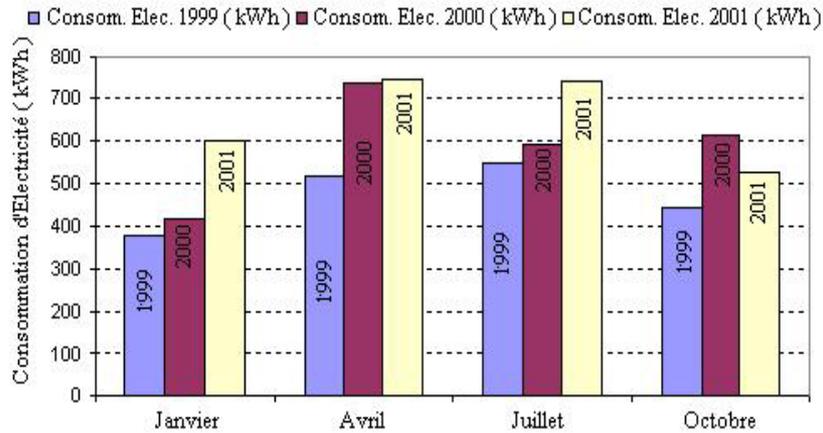


Fig. 7: Bilan de la consommation d'électricité

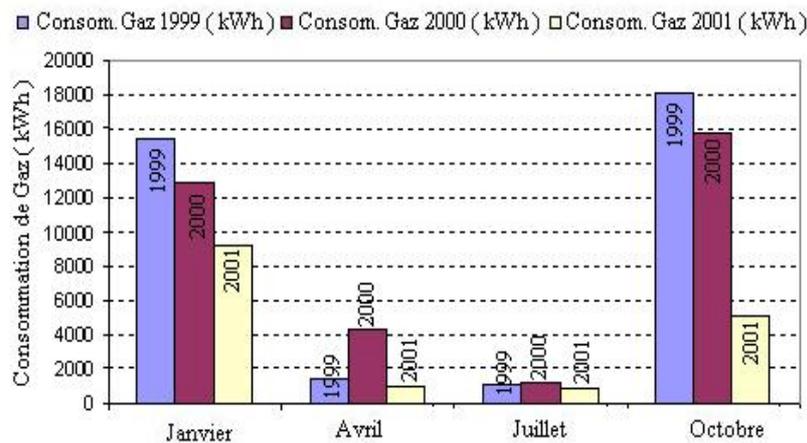


Fig. 8: Bilan de la consommation de gaz

4.2 Calcul du bilan énergétique du bâtiment

La demande en chaleur de cette habitation est destinée à couvrir ces besoins, c'est-à-dire la compensation des pertes des différentes parties du bâtiment: toiture, parois, vitrage et plancher. Pour calculer cette demande énergétique, nous utilisons le logiciel DIAS 2.11 (Données Interactives d'Architecture Solaire); ce logiciel est homologué par les autorités suisses pour l'obtention du permis de construire [6]. L'exploitation du logiciel en question nécessite l'introduction d'un ensemble de données.

4.2.1 Données climatologiques du site de Batna

La période de chauffage est la base pour le calcul des besoins calorifiques d'un bâtiment. Les données climatologiques, caractéristiques sont: - la température extérieure, - le nombre de Degrés Jours, - le nombre de jours de chauffage et le rayonnement global sur les différents plans de l'habitation.

Ces données, importantes, à part les valeurs de la température extérieure [7], ne sont pas disponibles pour ce site. Nous avons donc procédé à un calcul par simulation [8, 9] des bilans mensuels (**Tableau 4**) de ces paramètres.

La période de chauffage retenue, s'étale du mois d'octobre au mois d'avril.

Tableau 4: Données climatologiques pour le site de Batna

	Te	DJ	Jch	G _H	G _S	G _E	G _O	G _N
Janvier	5.2	375	31	312	521	231	231	83
Février	6.3	309	28	364	455	261	261	99
Mars	8.5	289	31	526	460	353	353	139
Avril	11.5	204	15	618	356	397	397	169
Mai	15.7	20	0	783	312	480	480	232
Juin	21.7	3	0	827	278	604	604	268
Juillet	25.7	3	0	880	300	528	528	262
Août	24.8	3	0	786	372	474	475	193
Septembre	20.0	20	0	626	455	394	394	140
Octobre	14.2	73	10	460	520	324	324	115
Novembre	8.7	213	30	372	572	265	265	86
Décembre	6.3	343	31	290	520	218	218	90
TOTAL	14.1	1855	176	6844	5121	4529	4530	1876

Te : température extérieure, (°C) - DJ : Degrés Jour chauffage 20/12, (°C.j) - Jch : Jours de chauffage, (j) - Rayonnement global, (MJ/m²) sur divers plans: G_H : Plan Horizontal; G_S : Plan vertical Sud; G_E : Plan vertical Est; G_O : Plan vertical Ouest; G_N : Plan vertical Nord.

4.2.2 Calcul du coefficient U

Les déperditions thermiques, essentiellement par conduction, à travers les parois de l'enveloppe d'une habitation, constituent les sources les plus importantes de déperditions. Celles-ci sont mesurées à l'aide du coefficient U [10]. Celui-ci dépend de la typologie de la construction, isolée ou rangée en maisons mitoyennes, des matériaux utilisés en maçonnerie et particulièrement du type d'isolant utilisé. Pour l'ensemble de l'édifice, on attribue un coefficient U moyen.

Dans le cas de l'habitation étudiée, le calcul du coefficient U a été effectué à l'aide du logiciel U-CAD (Fig. 9). Les pertes les plus importantes sont les parois opaques (175 m²) de l'enveloppe et la toiture (128 m²).

Les fenêtres, dont la surface totale est de 33 m² pour l'ensemble des parois, constituent également des sources de déperditions non négligeables, malgré l'utilisation d'une protection nocturne réalisée par des volets roulants.

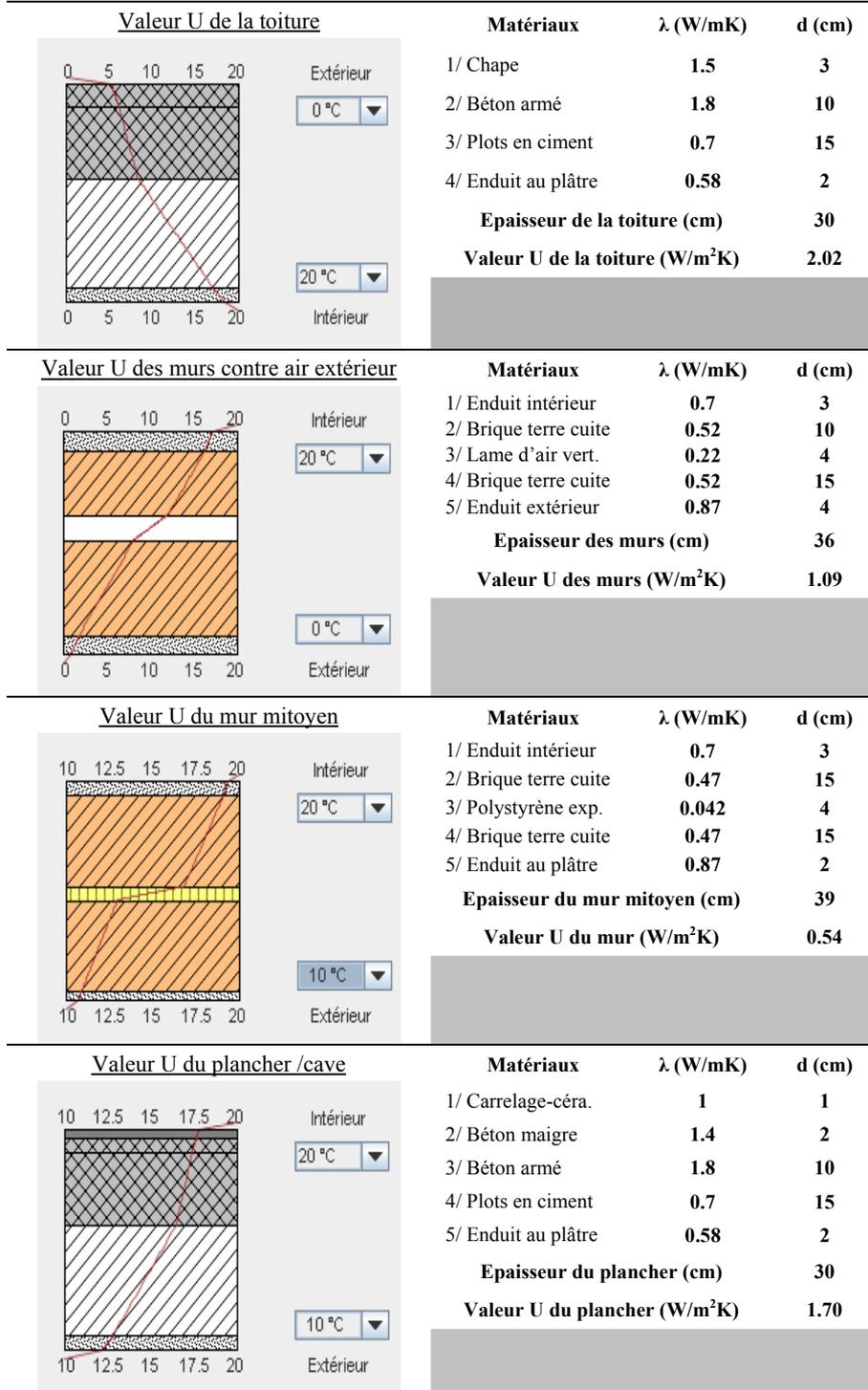


Fig. 9: Calcul du coefficient U des éléments de l'enveloppe de l'habitation étudiée

5. ANALYSE DU BILAN THERMIQUE

5.1 Flux thermique

Le flux thermique de l'habitation considérée (Fig. 10) met en évidence les points faibles, représentés par les sources de déperditions d'énergie et les apports, gains et chauffage auxiliaire nécessaires pour compenser les déperditions, durant la période de chauffage.

L'analyse des différentes sources de déperditions, montre que la toiture, avec un taux de déperditions égal à 34 %, est la partie de l'habitation où les déperditions en chaleur sont les plus importantes. L'absence totale d'isolation de cette partie de l'enveloppe est la cause principale d'un médiocre coefficient U de transmission de chaleur ($U = 2.02 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Les autres sources de déperditions, aussi importantes, sont surtout les parois, exposées à l'air extérieur, avec une surface de 175 m^2 , et celles mitoyennes au voisinage de 70 m^2 , totalisent un taux de déperditions de 28 %.

Quant aux déperditions par les fenêtres, non négligeables, elles représentent 19 % du total, tandis que celles du renouvellement d'air (13 %) et du plancher (6 %) sont relativement faibles.

Les apports internes sont relativement réduits (8 %) à cause de la faible consommation électrique des équipements utilisés (2355 kWh/an). Quant aux gains solaires, appréciables (soit 19 %) sont obtenus grâce à la conception architecturale de l'habitation. On remarque que dans ce cas, ces gains solaires compensent les déperditions engendrées par les fenêtres (emploi d'un simple vitrage). L'ensemble des gains représente un peu moins du tiers des apports.

Le déficit en énergie, relativement très élevé, soit 384 MJ/m^2 , représente 73 % du total des apports nécessaires pour compenser les déperditions. Cette énergie doit être fournie par un chauffage auxiliaire. Dans le cas de cette habitation, les équipements de chauffage utilisés sont des radiateurs fonctionnant aux gaz naturel.

Cette analyse du flux thermique est complétée par un bilan énergétique mensuel faisant ressortir le détail des apports.

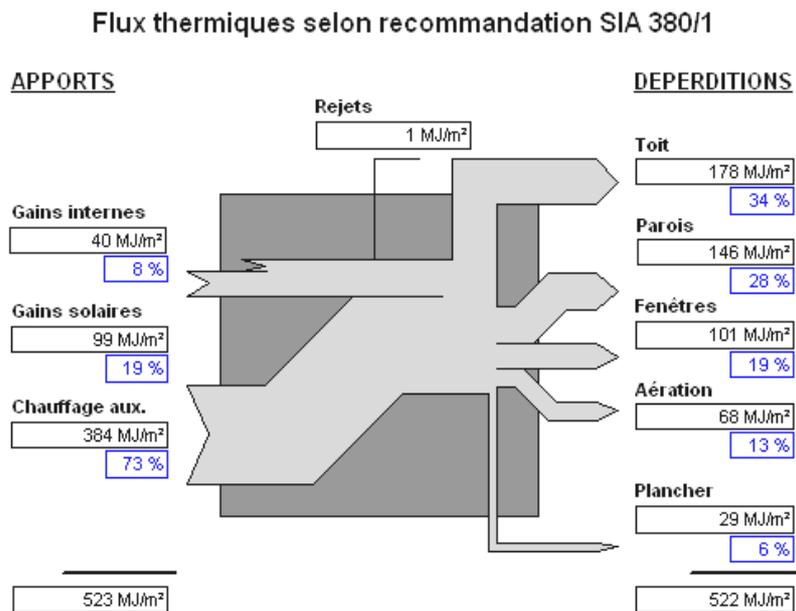


Fig. 10: Flux thermique des apports et déperditions de l'habitat considéré²

² SIA, Association des Ingénieurs et des Architectes Suisses.

5.2 Bilan énergétique mensuel

La répartition mensuelle (Fig. 11) des déperditions d'énergie pour cette habitation, fait ressortir que les mois à forte demande d'énergie, appelée aussi période de chauffage, valable pour la région des Hauts Plateaux.

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

Les gains internes sont principalement constitués par les dégagements en chaleur des occupants, de l'éclairage et des équipements électroménagers utilisés dans l'habitation. L'énergie dégagée par les occupants est fonction de la durée de leur présence et leur activité en général, pour l'habitat individuel, celle-ci est estimée à 80 W par personne, selon la norme SIA. Les gains en chaleur, obtenus à l'aide de l'éclairage artificiel, sont fonction du confort visuel, soit 500 Lux en moyenne, correspondant à une puissance spécifique dissipée de 12 W/m². Ces paramètres sont variables, et ils dépendent aussi bien du type de luminaire, éclairage adéquat et faible dissipation, par exemple: les lampes à basse consommation 'LBC' que de l'éclairage naturel complémentaire, obtenu à travers les ouvertures dans les parois. Un compromis entre déperditions et gains en matière d'éclairage est dans ce cas aussi nécessaire.

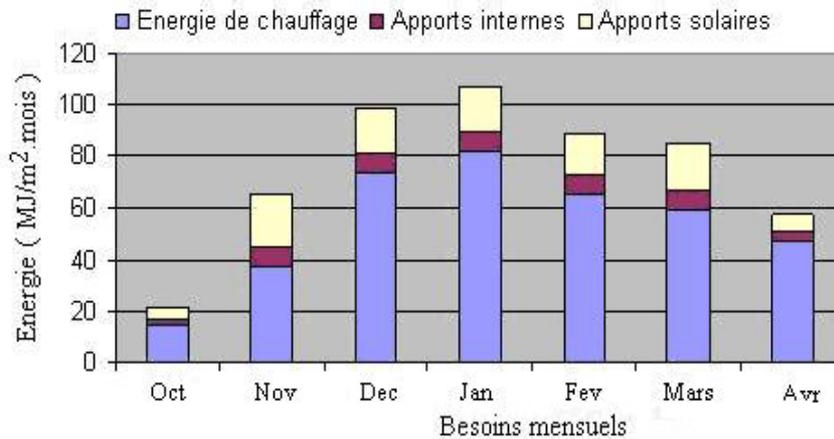


Fig. 11: Bilan énergétique mensuel

Pour les gains, obtenus par dégagement de chaleur des équipements électroménagers utilisés, le calcul des puissances dissipées, uniquement, à partir des données portées sur les plaques signalétiques de ces équipements est insuffisant. Il faudrait procéder à un relevé des consommations [12] par poste et par mode, veille ou déclenché. Cette approche permet, non seulement de mesurer la consommation réelle de chaque élément, mais aussi de cerner le potentiel d'économie d'énergie contenu dans le mode veille des équipements. Pour le relevé des consommations électriques dans cette habitation, nous avons installé par poste de consommation, un analyseur de puissance dit 'Power Monitor Pro'.

Cet instrument portable permet de faire le suivi des consommations sur une longue période. Les paramètres relevés sont: la puissance active, la tension d'alimentation, le courant de fonctionnement, le cos φ et l'énergie consommée par heure. Les mesures ont été relevées sur une période de deux mois, 'du 1/07/05 au 30/08/05', la consommation totale sur cette période est de 440 kWh, ce qui donne une moyenne de 7,33 kWh/jour. Nous avons aussi relevé, à titre indicatif,

pour la journée du 01/07/05, (**Tableau 5**), les puissances en veille et enclenché ainsi que la puissance consommée par type d'équipement.

Tableau 5: Valeurs de la puissance, en veille et enclenché, de l'énergie par poste de consommation, relevées le 01/07/05

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

Nous observons (Fig. 12) que la consommation des équipements de froid représente 44 % du total, suivi de l'audiovisuel 17 %, et quant à la consommation de l'éclairage, faible (9 %), elle est due à la durée du jour, relativement longue en été, nécessitant une courte période d'éclairage.

La consommation d'énergie du lave-linge est fonction du programme de lavage sélectionné et de la fréquence de son utilisation (soit en moyenne deux fois par semaine). Dans ce cas, le choix s'est porté sur un programme pour du linge de couleur à une température de lavage de 60 °C. Durant tout le long du cycle, nous avons relevé les puissances actives des phases essentielles du cycle de lavage: le chauffage de l'eau (1,849 kW), le lavage proprement dit (0,340 kW), la vidange (0,082 kW) et enfin l'essorage (0,817 kW). La durée du cycle est de une heure trente minutes, et l'énergie absorbée est équivalente à 1,230 kWh.

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

Les autres postes, compte tenu de leur mode de fonctionnement, à cycles variables, ils nécessitent la mise en place d'un programme d'évaluation plus élaboré [12]. Cependant compte tenu de la diversité des équipements électroménagers, disponibilité sur le marché, il est possible toutefois, de réaliser des économies d'énergie, par le choix judicieux, des équipements à faible consommation.

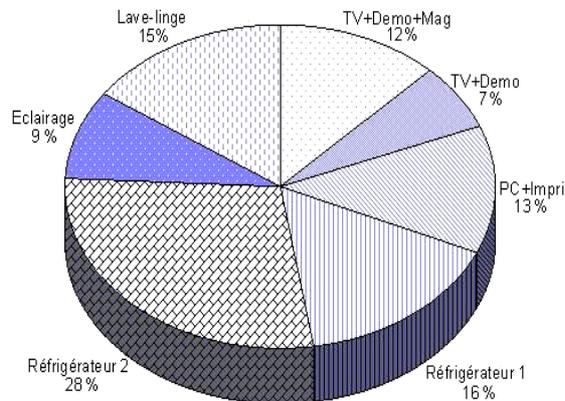


Fig. 12: Répartition par poste de consommation d'énergie absorbée (8,030 kWh/jour)

5.3 Bilan des émissions de CO₂

Les émissions de CO₂, d'une habitation sont considérées comme un indicateur de la qualité de sa conception, aussi bien architecturale que thermique. Comme pour les valeurs limites de la consommation de l'énergie utile, il existe aussi des valeurs limites pour les émissions de CO₂ (Tableau 6).

Le calcul simplifié des émissions de CO₂ [13], appliqué à cette partie, ne prend pas en considération l'énergie totale utilisée, durant le cycle de vie de l'habitation, c'est-à-dire la totalité des énergies utilisées pour la production des matériaux de construction, de leur transport, ainsi que de leur recyclage après démolition de l'habitation.

Les émissions spécifiques de CO₂, pour l'année 2001, sont calculées sur la base des consommations annuelles en électricité et en gaz naturel. Les émissions de CO₂ dues à la combustion du gaz naturel (chauffage et eau chaude) représentent 85 % du total. Il s'avère que la valeur calculée est élevée par rapport à la valeur limite, pour cette habitation, les principales causes ont été évoquées précédemment.

Tableau 6: Valeurs calculées des émissions spécifiques de CO₂ de cet habitat étudié

Forme d'énergie	Consommations (kWh/an)	Facteur d'émission CO ₂ (kg/kWh)	Emission spécifique CO ₂ (kg CO ₂ /m ² an)
Electricité	2355	0,65	6,71
Gaz naturel	33926	0,27	40,17
Emissions de CO ₂ de l'habitat étudiée			46,88
Valeur limite des émissions de CO ₂ , ancienne construction			40,00
Valeur cible des émissions de CO ₂ , pour maison à faible consommation			33,00

6. DEVELOPPEMENT DE L'HABITAT A FAIBLE CONSOMMATION

6.1 Développement de l'économie d'énergie dans l'habitat en Europe

Deux facteurs déterminants ont forcé le développement de l'habitat à faible consommation d'énergie. La crise de pétrole de 1973 et les changements climatiques, observés durant ces dernières décennies, ont incité les pays développés, membres de l'IEA (International Energy Agency), à reconsidérer leur mode de consommation énergétique. L'utilisation rationnelle de l'énergie, dans tous les segments de leur économie, est devenue l'objectif principal. Le secteur du bâtiment, avec 45 % de la consommation d'énergie et 20 % des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial [14], constitue l'un des principaux domaines d'intérêt pour la recherche et développement en économie d'énergie.

Cet intérêt fait partie des plans d'action au service des établissements humains édictés dans l'agenda 21, adopté au sommet de la terre de Rio de Janeiro en 1992. De nombreux programmes de recherche et de démonstration dans ce domaine ont été initiés et mis en œuvre [15, 16]. Les objectifs sont principalement les nouvelles techniques d'assainissement des bâtiments existants et l'évaluation des coûts de revient de ces opérations. Pour le nouveau bâti, il s'agit d'introduire de nouvelles normes de construction et d'une nouvelle approche intégrée d'utilisation des diverses énergies dans les bâtiments.

En Allemagne, entre 1984 - 1995, la consommation d'énergie en besoin de chauffage est passée de 220 kWh/m².an à 100 kWh/m².an, avec l'adoption de nouvelles normes de protection contre les déperditions (isolation,..) (Fig. 13). L'objectif de cette politique est de faire de l'habitat à Faible Consommation d'Energie (< 70 kWh/m².an), un standard de construction [17]. Quant à l'habitat passif, il reste un objectif à long terme. Actuellement, 3000 projets de démonstration de maisons passives sont en cours d'évaluation en Europe [15, 16].

Une comparaison des différents standards (**Tableau 7**), réglementant l'isolation dans le bâtiment, par la réduction de la valeur de U, illustre les gains importants obtenus par la réduction de l'énergie utile consommée par ces types d'habitations.

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

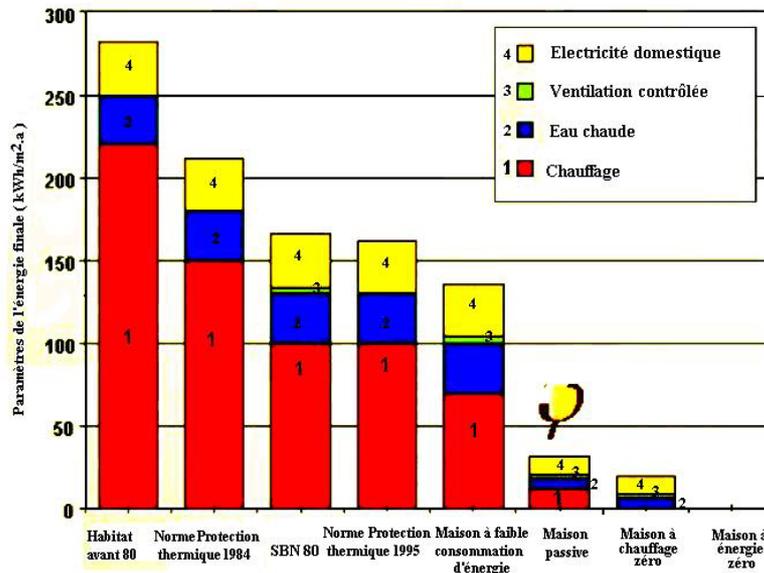


Fig. 13: Réduction de la consommation d'énergie dans l'habitat en Allemagne

6.2 Cadre réglementaire de l'efficacité énergétique en Algérie

En Algérie, les premières actions de recherche dans le domaine de l'habitat ont été initiées, début 1980, dans les universités algériennes. Ces actions éparées, sans coordination, ni cadre réglementaire et avec peu de moyens, se sont limitées à la formation dans le domaine de l'architecture bioclimatique [18]. L'Algérie, ayant adhéré aux différentes conventions comme les changements climatiques et la protection de l'environnement, dans le cadre du développement durable, se devait d'adapter sa législation au nouveau contexte international.

Depuis, un ensemble de textes réglementaires, en rapport avec les économies d'énergie dans le bâtiment, ont été adoptés [19-21]. Cependant, la période transitoire, fixée à cinq ans, durant laquelle le caractère obligatoire de l'isolation thermique ne s'applique pas aux bâtiments neufs individuels, n'a pas fait l'objet, comme par ailleurs, de lancement de projets de démonstration, à même, de permettre une mise à niveau continue de ces textes aux standards internationaux.

Les techniques d'isolation (utilisation d'une lame d'air vertical), observées dans l'habitat étudiée à Batna, sont la règle, sur les chantiers de constructions en Algérie. Nous constatons donc sur le **Tableau 7**, que les valeurs des éléments constitutifs de l'habitation étudiée sont en deçà par rapport à celles appliquées en Allemagne. Cependant le lancement du programme de réalisation de un million de logements est une excellente opportunité pour la mise en pratique et à grande échelle des normes d'efficacité énergétique dans le bâtiment. Les gains, à long terme, aussi bien en coûts de fonctionnement de ces habitations, qu'en protection de l'environnement et préservation des ressources énergétiques, seront, sans doute, bénéfiques pour les générations futures.

Tableau 7: Comparaison des valeurs de U et de l'énergie utile pour différents standards de l'habitat en Allemagne et pour l'habitat de Batna

Eléments De bâtiment	Maison Batna	Maison WS-VO 080	Maison FCE	Maison Passive
Toiture (W/m ² K)	2,02	≤ 0,50	≤ 0,25	≤ 0,15
Parois (W/m ² K)	1,09	≤ 0,80	≤ 0,20	≤ 0,10
Dalle (W/m ² K)	1,70	≤ 0,55	≤ 0,30	≤ 0,13
Vitrage (W/m ² K)	5,60	≤ 3,10	≤ 1,30	≤ 0,70
Energie utile (kWh/m ² .an)	160	≤ 140	≤ 70	≤ 15

5. CONCLUSION

Nous avons procédé, dans ce travail, à l'analyse du bilan énergétique d'un bâtiment existant. L'approche adoptée consiste à analyser en détail les éléments essentiels de ce bilan. Nous constatons que la consommation en énergie électrique est plus élevée en été, due essentiellement à l'alimentation des réfrigérateurs. Tandis en période hivernale, la consommation de gaz est conséquente, destinée au chauffage des locaux et pour la production d'eau chaude.

Le flux énergétique, élément central de cette analyse, permet de mettre en évidence les sources de déperditions et les apports pour compenser ces déperditions. Nous observons, à travers cet exemple que les gains internes sont limités, tandis que les gains solaires sont conséquents. L'amélioration du bilan global et la réduction du chauffage auxiliaire, restent subordonnées à l'optimisation du facteur U du bâtiment, par un choix judicieux de matériaux de construction

Une comparaison de deux indicateurs essentiels de la qualité d'un bâtiment, énergie utile et émission de CO₂, de cette habitation avec celles des différentes réglementations en Allemagne, toutes proportions gardées, montre que la consommation énergétique de l'habitation de Batna correspondrait à celle de la réglementation thermique de 1995 (WSVO'95) en Allemagne. Deux observations militent en faveur de ce résultat: les gains solaires, obtenus grâce à l'espace 'SERRE' contribuant au confort thermique et les conditions climatiques en général plus favorables, périodes de chauffage courte, dans cette région d'Algérie qu'en Allemagne.

Pour les nouvelles constructions, particulièrement, celles conçues selon le standard 'habitat à faibles consommations d'énergie', il est exigé d'intégrer dans le système énergétique de l'habitation, au moins un système d'utilisation active de l'énergie solaire. Le système de production d'eau chaude solaire, permet de réduire les besoins en énergie auxiliaire et le système photovoltaïque, de couvrir partiellement ou totalement les besoins en électricité de l'habitation.

Nous constatons que, la réglementation thermique dans les bâtiments neufs en Algérie, ne prend pas en considération cet élément d'intégration de l'énergie solaire dans le bâtiment. La mise à niveau de cette réglementation, de notre point de vue, doit reposer sur un travail de collaboration des trois acteurs principaux: l'administration, l'université et le secteur de production industriel.

Enfin les logiciels utilisés, dans ce travail, sont souvent développés pour un contexte particulier, et ne répondent pas en général à toutes les questions posées par la problématique du bâtiment en Algérie, assez complexe, en raison de la diversité des zones climatiques. Il est opportun d'investir dans le développement des logiciels adaptés à la réglementation algérienne.

REFERENCES

- [1] Document, 'Annuaire Statistique 1962 - 1986' (149-1959), SONELGAZ N° 240-GE-12-87.

- [2] Document du Ministère de l'Énergie et des Mines, 'Bilan Énergétique National de l'Année 2005', DGE/EPE, Alger, Mai 2006.
- [3] Document, 'Gebäude- und Anlagensimulation', <http://www.bine.fiz-karlsruhe.de>.
- [4] O. Humm, 'Niedrig Energie Häuser, Theorie und Praxis', Okobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 1990.
- [5] W. Weber, 'Soleil et Architecture - Guide Pratique pour les Projets', 3000 Bern, Suisse.
- [6] Document du Logiciel, DIAS 2.11, 'Données Interactives d'Architecture Solaire', CUEPE, Université de Genève, Suisse, 1998.
- [7] Document de l'Office National de la Météorologie, 'Atlas Climatologique National, Recueil de données, Station de Batna, Période 1975 - 1984', Centre Climatologique National, Dar-El-Beida, Alger.
- [8] M. Capderou, 'Atlas Solaire de l'Algérie - Aspect Énergétique', Tome 2, Office des Publications Universitaires, Alger, 1985.
- [9] Document du Logiciel, METEONORM, 'Global Meteorological Database for Solar Energy and Applied Climatology', Version 3.0, Edition 1997.
- [10] Document du Logiciel, U-CAD- R 3.0, CUEPE, Université de Genève, Suisse, 2006: www.cuepe.ch.
- [11] M. Amirat et S.M.K El Hassar, 'Economies d'Énergie dans le Secteur de l'Habitat, Consommation Électrique des Ménages - Cas d'un Foyer Algérien Typique en Période d'Hiver', Revue des Énergies Renouvelables, Vol. 8, N°1, pp. 27 - 37, 2005.
- [12] Document de la Commission des Communautés Européennes, 'Etude Expérimentale des Appareils Electroménagers à Haute Efficacité Énergétique Placés en Situation Réelle', Projet Ecodrome, ADEME, 1998.
- [13] U.R. Fritsche and K. Schmidt, 'Globales Emissions-Model Integrierter Systems (GEMIS)', Institut für Angewandte Ökologie, eV, Darmstadt, Allemagne, 2004.
- [14] G. Faninger, 'Sustainable Solar Housing, A Research and Demonstration Project of International Energy Agency', University of Klagenfurt, Austria.
- [15] Document, IEA, 'Solar and Heating Programm': www.iea-shc.org.
- [16] Document, CEPHEUS, 'Passiv Haus in Europa': www.cephus.de.
- [17] W. Feist and S. Perer, 'Vom Niedrigenergiehaus zum Passivhaus', Passivhaus Institut, 2005.
- [18] Rapport du Centre de Recherche en Architecture et en Urbanisme, 'Village Solaire Intégré, Etude Préliminaire', Office des Publications Universitaires, Alger, 1983.
- [19] Document, Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme, 'Règlement Thermique des Bâtiments d'Habitation - Règles de Calcul des Déperditions Calorifiques', DTR C3-2, Fascicule 1, CNERIB, Alger, 1998.
- [20] Journal Officiel de République Algérienne, 'Loi N°99-09 du 28 Juillet 1999 Relative à la Maîtrise de l'Énergie', J.O.R.A., N°51, pp. 3 - 7, Alger, 2 Août 1999.
- [21] Journal Officiel de République Algérienne, 'Décret Exécutif N°2000-90 du 24 Avril 2000 Portant Réglementation Thermique dans les Bâtiments Neufs', J.O.R.A., N°25, pp. 32 - 33, Alger, 30 Avril 2000.