

Etude technique et économique d'un système solaire photovoltaïque/solaire thermique: Application à Bejaia (Algerie)

D. Rekioua^{#1}, T. Mehdioui¹, K. Mansouri, S. Taguelmimt

[#]Laboratoire LTH, Faculté de Technologie, Université de Bejaia, 06000 Bejaia, Algérie

¹dja_rekioua@yahoo.fr

Abstract— Ce travail sera consacré d'une part au dimensionnement de l'habitat solaire qui comporte deux parties, la première pour le dimensionnement de la chaîne de conversion de l'énergie solaire en électricité, l'autre partie est dédiée à l'étude du système solaire thermique. D'autre part, on fera l'étude technico- économique pour du système proposé selon les éléments le constituant. On terminera notre travail par une conclusion, dans laquelle, nous ferons une synthèse récapitulative du travail présenté.

Keywords— Photovoltaïque, solaire thermique, batteries

I. INTRODUCTION

Abondante, renouvelable, non polluante et disant gratuite, l'énergie solaire qui parvient sur terre représente la quasi-totalité de l'énergie disponible sur terre. L'exploitation directe de l'énergie solaire au moyen de capteurs relève de deux technologies bien distinctes : l'une produit des calories, c'est l'énergie solaire thermique, et l'autre produit de l'électricité par effet photovoltaïque. Dans le domaine de l'habitat de plus en plus d'architectes choisissent l'énergie solaire ; cette tendance se simplifie probablement avec les progrès accomplis en architecture globale de ces système par exemple la facilité de leur intégration dans l'habitat [1-13].

Ce travail sera consacré d'une part au dimensionnement de l'habitat solaire qui comporte deux parties, la première pour le dimensionnement de la chaîne de conversion de l'énergie solaire en électricité, l'autre partie est dédiée à l'étude du système solaire thermique. D'autre part, on fera l'étude technico- économique pour du système proposé selon les éléments le constituant. Une étude technico-économique est faite pour le système proposé. Un devis estimatif est proposé. On terminera notre travail par une conclusion, dans laquelle, nous ferons une synthèse récapitulative du travail présenté.

II. PRESENTATION DU PROJET DE LA MAISON SOLAIRE A BEJAIA :

A. Gisement solaire :

La maison dimensionnée se situe à Bejaia : Latitude : 36.45N ; Longitude : 5.04E ; Altitude : 500 m. L'irradiation globale moyenne mensuelle journalière sur un plan horizontal du site de Bejaia et les moyennes mensuelle des températures sont présentées sur la figure suivante :

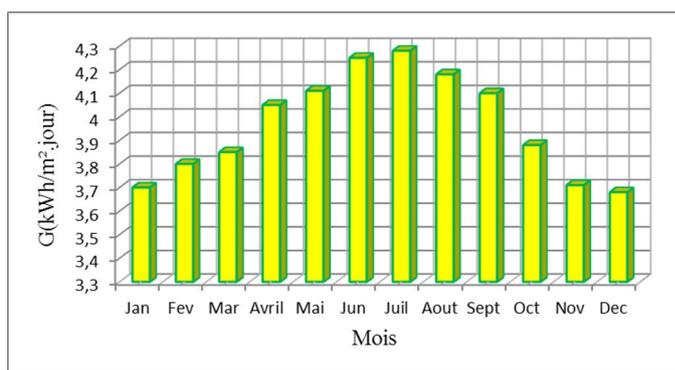


Fig. 1 Irradiations moyennes mensuelles journalières et moyennes mensuelles des températures

B. Présentation globale de l'installation solaire de la maison :

Le schéma ci-dessous représente le modèle de la maison étudié sous SOLIDWORKS.

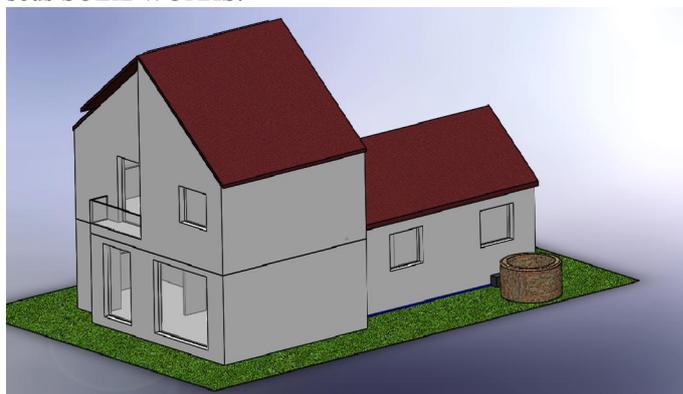


Fig. 2. Plan de la maison sous le logiciel solidWorks

III. ETUDE TECHNIQUE DU PROJET

A. Les principaux éléments d'une installation photovoltaïque

En général, les installations photovoltaïques comprennent quatre éléments essentiels : un générateur photovoltaïque, un système de régulation, une ou plusieurs batteries, un onduleur et des câbles.

B. Choix des méthodes de dimensionnement du GPV

Il existe plusieurs méthodes de dimensionnement d'un système photovoltaïques.

1. Méthode du besoin journalier.

La maison consomme une énergie totale égale à 14.737 kWh/jour. Les caractéristiques du module photovoltaïque choisi pour établir ces dimensionnements, sont les suivantes :

Table 1 :

FICHE TECHNIQUE DU MODULE PHOTOVOLTAÏQUE SIEMENS SM110-24 [1]

La puissance crête d'un module : $P_c=110Wc$
La tension a vide : $U_{co}=21,50V$
Le courant de puissance maximale : $I_{mpp}=6,25A$
La tension de puissance maximale : $U_{mpp}=17,7V$
Le courant de court-circuit : $I_{cc}=6,8A$

Les résultats sont réunis dans le tableau ci-dessous :

Table 2 :

RÉSULTATS DE LA MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT SELON LE BESOIN JOURNALIER

N_e (h/j)	$P_{pv,i}$ (Wh/j)	$P_{pv}/J_{réel}$ (Wh/j)	N_{pv} (Panneaux)	$N_{pv,nouv}$ (Panneaux)	P_{nouv} (W)
2.3	253	202.4	72.81	73	8030

2. Méthode des puissances

Les résultats sont réunis dans le tableau ci-dessous :

Table 3 :

RÉSULTATS DE LA MÉTHODE DE DIMENSIONNEMENT SELON LA PUISSANCE

P_c (Wc)	N_{pv} (panneaux)	$N_{pv,nouv}$ (panneaux)	P_{nouv} (W)
2962.555	26.93	27	2970

3. Méthode des surfaces

Les résultats sont réunis dans le tableau ci-dessous :

Table 4 :

RESULTATS DE LA METHODE DE DIMENSIONNEMENT SELON LA SURFACE

$S1=20.74 m^2$		$S2=5.83 m^2$	
N_{pv}	$P_{nouv}(Wc)$	N_{pv}	$P_{nouv}(Wc)$
23	2530	6	660

4. Comparaison des trois méthodes

Les résultats des trois méthodes de dimensionnement sont réunis dans le tableau suivant.

Table 5 :

RESULTATS OBTENUS DES TROIS METHODES DE DIMENSIONNEMENT

Dimensionnement selon le besoin journalier	Dimensionnement selon la puissance	Dimensionnement selon la surface
73 panneaux	25 panneaux	23 panneaux

C. Montage des panneaux selon les dimensions du toit et des panneaux

Soit la surface de la toiture de la maison de $26.57m^2$ constituée de deux surfaces différentes : La première surface égale à $S1=20.74 m^2$ (3.4m selon la longueur et 6.1 m selon la largeur), la deuxième surface étant une surface de $S2=5.83 m^2$ seulement, (1.59m selon le sens de la longueur et 3.67m selon le sens de la largeur). Et le panneau choisi est de 110Wc (siemens SM110-24) de dimensions (0.66 m selon le sens de la longueur et 1.321 selon le sens de la largeur).

Pour la première surface on prend le nombre de panneaux selon le sens de la longueur qui est égale à 20 panneaux, Par ailleurs, pour la seconde surface on opte pour le montage selon le sens de la largeur avec le nombre de panneaux de 5 panneaux. Nous aurons par conséquent, 25 panneaux au total et une puissance crête de 2750 Wc.

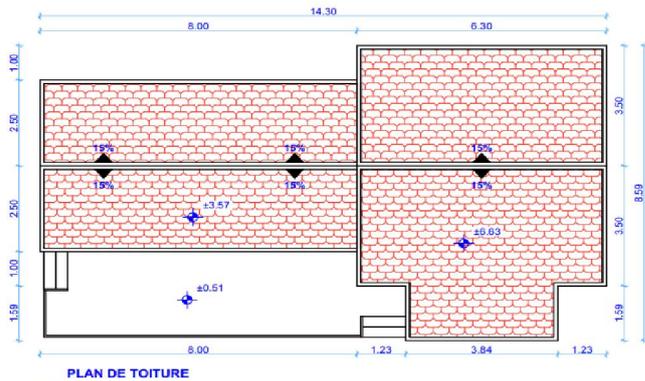


Fig. 5 : Plan du toit de la maison étudié

Les résultats des trois méthodes de dimensionnement sont réunis dans le tableau suivant.

Table 6 :

RÉSULTATS OBTENUS DES TROIS MÉTHODES DE DIMENSIONNEMENT APRÈS CORRECTION

Dimensionnement selon le besoin journalier	Dimensionnement selon la puissance	Dimensionnement selon la surface
73 panneaux	27 panneaux	25 panneaux

Le tableau montre que pour la méthode selon le besoin journalier on a besoins de 73 panneaux, 27 panneaux pour la méthode de puissance et 25 panneaux pour la méthode de dimensionnement selon les surfaces.

D. Dimensionnement de l'Onduleur

1. Par rapport à la méthode du besoin journalier :

Notre installation est composée de 73 panneaux d'une puissance crête de 110Wc. Donc la puissance crête totale est de 8030Wc.

Table 7 :

DIMENSIONNEMENT DE L'ONDULEUR POUR LA MÉTHODE SELON LE BESOIN JOURNALIER

Compatibilité en puissance	Compatibilité en tension		Compatibilité en courant
	Pond, max	Npvs .min	Npvs .max
Pond, min	7,22kw	21	36
			$N_{pv, ch}$
			3

2. Par rapport à la méthode des puissances :

Notre installation est composée de 27 panneaux (GOLDI110PM) d'une puissance crête de 110Wc. Donc la puissance crête totale est de 2970Wc.

Table 8 :

DIMENSIONNEMENT DE L'ONDULEUR POUR LA MÉTHODE SELON LA PUISSANCE

Compatibilité en puissance	Compatibilité en tension		Compatibilité en courant
	Pond, max	Npvs .min	Npvs .max
Pond, min	2,673kW	8	20
			$N_{pv, ch}$
			2

3. Par rapport à la méthode de surface

Notre installation est composée de 25 panneaux (GOLDI110PM) d'une puissance crête de 110Wc. Donc la puissance crête totale est de 2750Wc.

Table 9

DIMENSIONNEMENT DE L'ONDULEUR POUR LA METHODE SELON LA SURFACE

Compatibilité en puissance		Compatibilité en tension		Compatibilité en courant
Pond, min	Pond, max	Npvs,min	Npvs,max	Npv, ch
2,475kW	2,613Kw	8	20	2

E. Dimensionnement de la batterie

1. La méthode selon le besoin journalier

Table 10 :

DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE STOCKAGE POUR LA METHODE DE DIMENSIONNEMENT SELON LE BESOIN JOURNALIER

Capacité des batteries (Ah)	Nombre de batteries calculé	Nombre de batteries en série	Nombre de batteries en parallèle	Nombre de batteries retenu
7675.52	35	4	9	36

Nous avons :

$$C_{batt} = \frac{B_j \times I_{aut}}{V_{batt} \times DOD \times \eta} = 4849.17 \text{ Ah} \quad (1)$$

$$N_{batt} = \frac{C_{batt}}{C_{batt,u}} = 23 \quad (2)$$

$$N_{bat,s} = \frac{\text{tension de fonctionnement}}{\text{tension de la batterie}} \quad (3)$$

A partir de la nouvelle puissance crête la tension de fonctionnement est de 48V.

$N_{bat,s} = 4$ batteries

$$N_{bat,p} = \frac{\text{nombre de batterie total}}{\text{nombre de batterie serie}} = 6 \quad (4)$$

Dans ce cas le nombre de batterie totale est :

$$N_{batt} = N_{bat,s} \times N_{bat,p} = 24 \text{ batteries} \quad (5)$$

2. La méthode de dimensionnement selon la puissance

Table 11 :

DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE STOCKAGE POUR LA METHODE DE DIMENSIONNEMENT SELON LA PUISSANCE

Capacité des batteries (Ah)	Nombre de batteries calculé	Nombre de batteries en série	Nombre de batteries en parallèle	Nombre de batteries retenu
2846.25	13	4	4	16

Nous avons :

$$N_{pv,rest} = N_{pv1} - N_{pv3} = 48 \text{ panneaux}$$

$$B_j = 9715.2 \text{ Wh}$$

$$C_{batt} = \frac{B_j \times I_{aut}}{V_{batt} \times DOD \times \eta} = 5060 \text{ Ah}$$

$$N_{batt} = \frac{C_{batt}}{C_{batt,u}} = 23 \text{ batteries}$$

3. La méthode de dimensionnement selon la surface

Table 12

DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE STOCKAGE POUR LA METHODE DE DIMENSIONNEMENT SELON LA SURFACE

Capacité des batteries (Ah)	Nombre de batteries calculé	Nombre de batteries en série	Nombre de batteries en parallèle	Nombre de batteries retenu
2635.41	12	4	4	16

F. Dimensionnement des câbles :

1. La méthode de dimensionnement selon le besoin

Table 13

CALCUL DE LA SECTION DES CABLES POUR LA METHODE DE DIMENSIONNEMENT SELON LE BESOIN JOURNALIER

Méthode de dimensionnement selon la puissance Section des câbles coté DC		
Section des câbles entre le panneau et la boîte de raccordement (L=5m)	$I = 1.25 \times I_{pv}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$I = 1.25 \times 6.8 \Rightarrow I = 8.5$ $S = \frac{1.8 \times 10^{-8} \times 5 \times 8.5^2}{0.02 \times 17.7} \Rightarrow S = 1.921 \text{ mm}^2$ Donc on choisit le câble de 2.5 mm ²
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (L=10m)	$I = I_{mpp} \times N_{pv}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$I = 6.25 \times 7.8 \Rightarrow I = 49.125$ $S = \frac{1.8 \times 10^{-8} \times 10 \times 49.125^2}{0.02 \times 17.7} \Rightarrow S = 206.2 \text{ mm}^2$ D'où $S = 206.2 \text{ mm}^2$
Branchement des batteries	Calcul la tension de la batterie	Branchement des batteries
Calcul la tension de la batterie	$V_{bat} = V_{bat,u} \times N$	Calcul la tension de la batterie
$V_{bat} = 12 \times 5 \Rightarrow V_{bat} = 60 \text{ V}$		
Section des câbles entre le DC/DC et les batteries et section des câbles entre les batteries et l'onduleur (L=3m)	Calcul 1-a : $1 - \alpha = \frac{V_{batt}}{V_{pv}}$	Calcul 1-a : $1 - \alpha = \frac{12}{17.7} = 3.389$
	Calcul du courant de batterie	Calcul du courant de batterie
	$I_{batt} = \frac{I}{1 - \alpha}$	$I_{batt} = \frac{456.25}{3.389} = 134.6 \text{ A}$
	$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$S = \frac{1.8 \times 10^{-8} \times 3 \times 134.6^2}{0.02 \times 17.7} \Rightarrow S = 18.25 \text{ mm}^2$
Section les câbles coté AC		
Calcul courant	$I = \frac{P_{ch}}{S \times V}$	$I = \frac{3225}{2 \times 110} = 7.696 \text{ A}$
Calcul de a section coté AC	$S = \beta \times \rho_1 \times I \times \frac{I}{s \times X}$	$S = 139.6 \text{ mm}^2$

2. La méthode de dimensionnement selon la puissance

Tableau 13

CALCUL DE LA SECTION DES CABLES POUR LA METHODE DE DIMENSIONNEMENT SELON LA PUISSANCE

Section des câbles coté DC		
Section des câbles entre le panneau et la boîte de raccordement (L=5m)	$I = 1.25 \times I_{pv}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$I = 1.25 \times 6.8 \Rightarrow I = 8.5$ $S = \frac{1.8 \times 10^{-8} \times 5 \times 8.5^2}{0.02 \times 17.7} \Rightarrow S = 1.921 \text{ mm}^2$ Donc on choisit le câble de 2.5 mm ²
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (L=10m)	$I = I_{mpp} \times N_{pv}$ $S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta V \times V}$	$I = 6.25 \times 27 \Rightarrow I = 168.75$ $S = \frac{1.8 \times 10^{-8} \times 10 \times 168.75^2}{0.02 \times 17.7} \Rightarrow S = 6.27 \text{ mm}^2$
Branchement des batteries	Calcul la tension de la batterie	Branchement des batteries
Calcul la tension de la batterie	$V_{bat} = V_{bat,u} \times N$	Calcul la tension de la batterie
$V_{bat} = 12 \times 5 \Rightarrow V_{bat} = 60 \text{ V}$		

et l'onduleur (L= 3m)	Calcul 1-α :	Calcul 1-α :
	$1 - \alpha = \frac{V_{batt}}{V_{pv}}$	$1 - \alpha = \frac{60}{17.7} = 3.389$
	Calcul du courant de batterie $I_{batt} = \frac{I}{1 - \alpha}$	Calcul du courant de batterie $I_{batt} = \frac{168.75}{3.39} = 49.77 A$
	$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V}$	$S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 3 \times 49.77}{0.02 \times 17.7} = 6.7$ 49mm ²
Section les câbles coté AC		
Calcul courant	$I = \frac{P_{ch}}{3V}$	$I = \frac{1570}{3 \times 230} = 4.30 A$
Calcul de a section coté AC	$S = \beta \times \rho_i \times I \times \frac{1}{\delta \times X}$	$S = 2 \times 0.0225 \times 4.30 \times \frac{1}{\delta \times X}$ S=50.7 mm ²

3. La méthode de dimensionnement selon la surface

Section des câbles coté DC		
Section des câbles entre le panneau et la boîte de raccordement (L=5m)	$I = 1.25 \times I_{cc}$	$I = 1.25 \times 6.8 = 8.5 A$
	$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V}$	$S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 5 \times 8.5}{0.02 \times 17.7} = 1.921 mm^2$ Donc on choisit le câble de 2.5mm ²
Section des câbles entre la boîte de raccordement et le régulateur DC/DC (L=10m)	$I = I_{mpp} \times N_{p,t}$	$I = 6.25 \times 25 = 156.25 A$
	$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V}$	$S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 10 \times 156.25}{0.02 \times 17.7} = 70.62 mm^2$
Section des câbles entre le DC/DC et les batteries et section des câbles entre les batteries et l'onduleur (L= 3m)	Branchement des batteries	Branchement des batteries
	Calcul la tension de la batterie $V_{bat} = V_{bat.u} : V_{bat} = 12 \times 5 \Rightarrow V_{bat} = 60V$	Calcul la tension de la batterie
	Calcul 1-α :	Calcul 1-α :
	$1 - \alpha = \frac{V_{batt}}{V_{pv}}$	$1 - \alpha = \frac{60}{17.7} = 3.389$
	Calcul du courant de batterie $I_{batt} = \frac{I}{1 - \alpha}$	Calcul du courant de batterie $I_{batt} = \frac{156.27}{3.39} = 46.09 A$
	$S = \frac{\rho \times L \times I}{\Delta v \times V}$	$S = \frac{1.6 \times 10^{-8} \times 3 \times 46.09}{0.02 \times 17.7} = 6.25 mm^2$
Section les câbles coté AC		
Calcul courant	$I = \frac{P_{ch}}{3V}$	$I = \frac{1570}{3 \times 230} = 3.98 A$
Calcul de a section coté AC	$S = \beta \times \rho_i \times I$	$S = 2 \times 0.0225 \times 3.98 = 46.93 mm^2$

G. Dimensionnement du système thermique

Tableau 14.

DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME THERMIQUE					
Vt,min	Ej (kW)	Stot	Np,th	Pa	
$\frac{2 \times N_{p,t} \times P_{ch} \times (T_{ext} - T_{ref})}{T_{ext} - T_{ref}}$	$V \times C_p \times (T_{ext} - T_{ref})$	$\frac{E_j}{\eta}$	$\frac{Stot}{\delta \times U}$	$\frac{\rho \times h \times \delta \times Q}{\eta}$	

Le tableau ci-dessous illustre les valeurs du volume du ballon de stockage, l'énergie nécessaire pour chauffer l'eau dans le ballon, le nombre de panneaux et la surface nécessaire pour l'installation de tous ces panneaux. Vu que le volume d'eau consommé est de 380 litres, nous avons décidé d'opter pour un ballon de 400 litres.

Tableau 15.

DIMENSIONNEMENT DU SYSTEME DE THERMIQUE

Vt,min (litres)	Ej (kW)	Stot (m ²)	Np,th	Pa (W)
380	22.227	9.19	6	2.57

Montage des panneaux:

Table 16.

TABLEAU RECAPITULATIF DU CALCUL DU NOMBRE DE PANNEAUX THERMIQUES

Selon la longueur			Selon la largeur		
NL ₁	NL ₂	Np,t	NI ₁	NI ₂	Np,t
$\frac{L_t}{L_{pv}}$	$\frac{L_t}{L_{pv}}$	NL ₁ × NL ₂	$\frac{L_t}{L_{pv}}$	$\frac{L_t}{L_{pv}}$	NI ₁ × NP,t
2	2	4	4	1	4

La meilleure combinaison c'est (2x2), à savoir, 2 branches en parallèles contenant chacune deux capteurs.

Autres ajustages :

Tableau 18.

Différents ajustement à rajouter

Pièces entourées de voisins qui chauffent	Chambres ensoleillées	Pièces de grande surface ou des pièces situées au nord	Chambres de grandes surfaces	Sanitaires
(-20%) de puissances	(-5 à 10%) de puissances	(+5 à 15%) de puissances	(+5 à 15%) de puissances	(+5%) de puissances

-Le bilan thermique de la maison

Volume de la maison

V = 2.4 × la surface (2.4 C'est les hauteurs des murs)

Notre maison est dans la région 1 parce elle a une l'attitude de 500m

Puissance de la maison

P = v × 42 × 1.1 (6)

Tableau 19 :

bilan thermique de la maison

Pièce	Surface	Volume	Puissance	ajustage	Puissance ajustée
Chambre 1	11.1	26.64	1230.76	+10	1231.99
Chambre 2	14.4	34.56	1596.672	+15	1599.06
Salle d'eau	6.4	15.36	709.632	+10	780.59
Séjour/cuisine	23	55.2	2250.24	-10	2247.989
Chambre3	10.35	24.84	1108.8	-10	997.92
Chambre4	10.65	25.56	1180.872	sans ajustage	1180.872
			Puissance Totale		8076.984 W
			Puissance différence en puissance		7138.42 W
			Totale ajustée		938.564 W

H. Récapitulatif de l'étude technique :

Après avoir dimensionné les différentes parties, on a placé les différents composants dans le plan de la maison en 3D en utilisant le logiciel solidWorks.

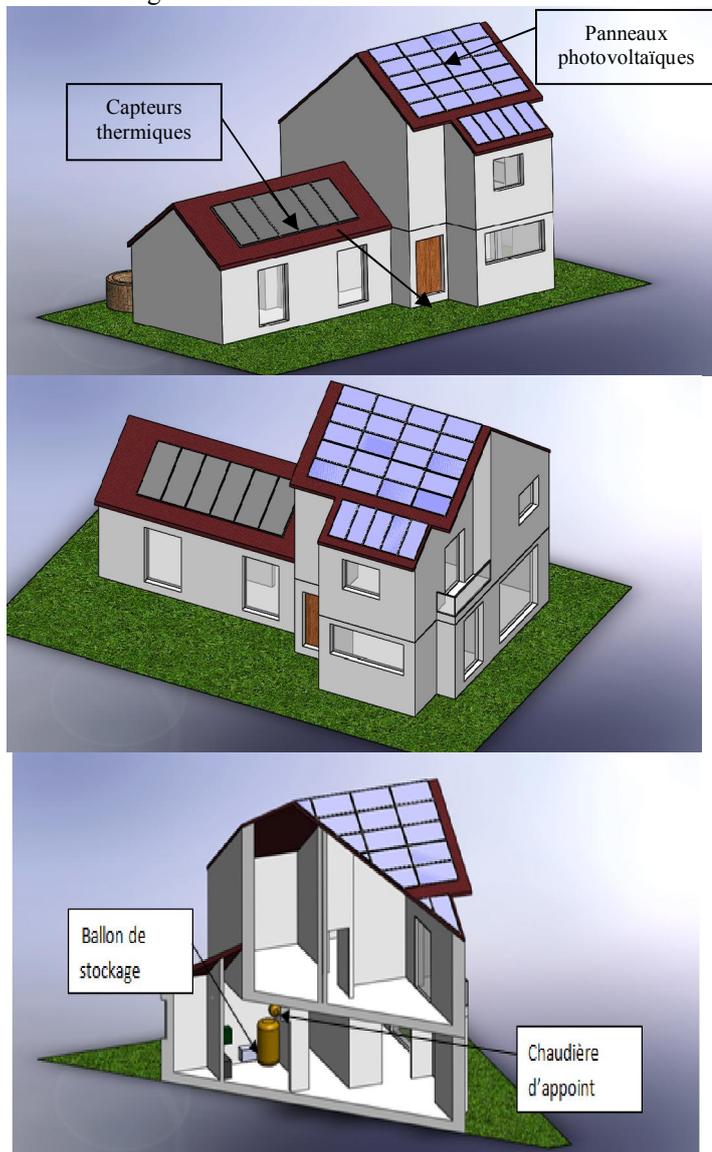


Figure 6. Représentation de l'installation PV/thermique

Avec :

1 : batterie de stockage, 2 : boîte de raccordement, 3 : convertisseur DC/AC, 4 : convertisseur DC/DC, 5 : charge, 6 : les câbles.

Nous proposons un organigramme du système hybride étudié.

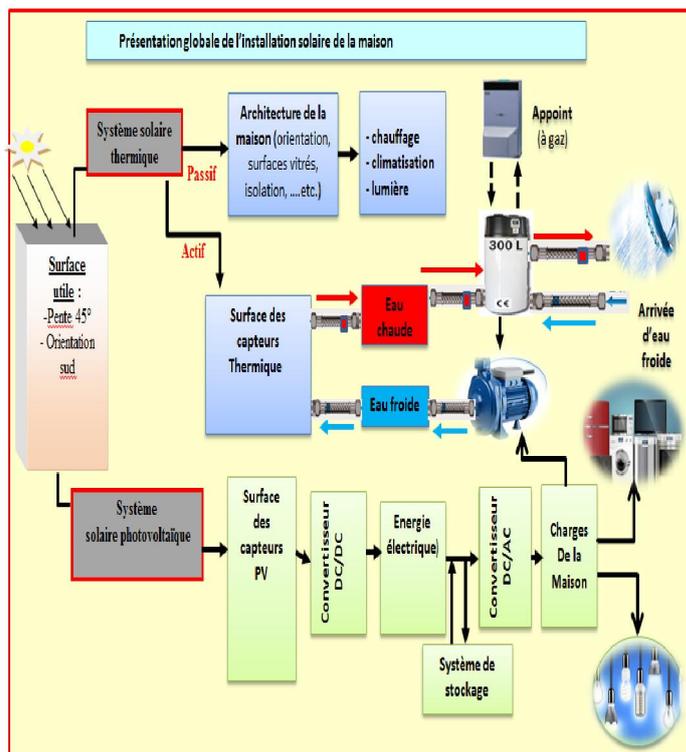


Figure 7. Présentation globale de l'installation solaire de la maison

IV. APPLICATION ET ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE POUR LE SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

Pour mieux comprendre on a préféré appliquer cette étude sur deux types de panneaux (monocristallin et poly-cristallin) de trois puissances différentes pour chaque type. On doit prendre en compte le prix de maintenance et de rechange qui est de 2% du prix totale de l'installation photovoltaïque. Alors le prix total de l'installation est de 455 630 DA

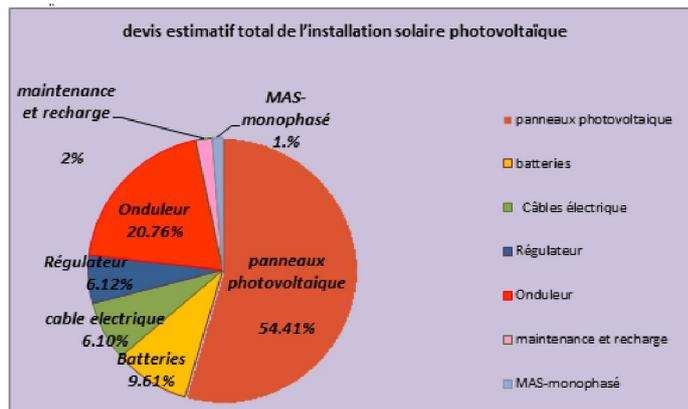


Fig. 8. Prix des éléments de l'installation photovoltaïque en pourcentage

V. APPLICATION ET ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE POUR LE SYSTEME THERMIQUE

On a opté pour des capteurs solaires verticaux qui sont utilisés spécialement dans les installations de chauffage de ballons d'eau sanitaire, mais aussi pour le chauffage piscine. Pour cela on a pris trois dimensions différentes de ces capteurs. Le devis total de l'installation est de 211 223.4 DA. Les différents devis sont représentés dans les figures ci-dessous :

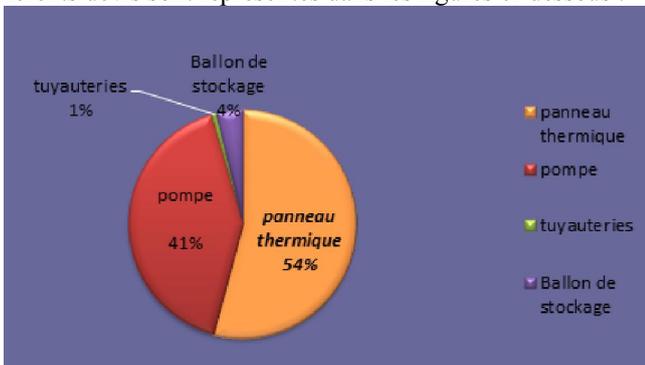


Fig 9 : Prix des éléments de l'installation thermique en pourcentage

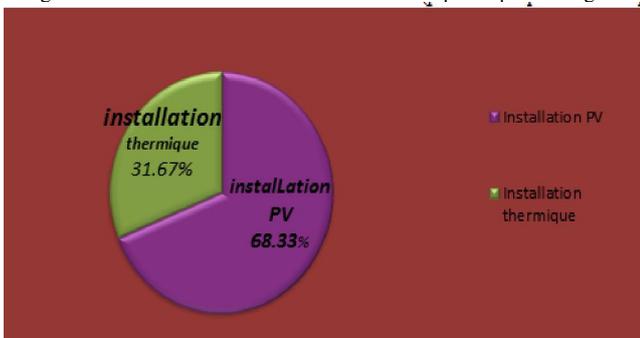


Fig. 10 : Prix des installations (photovoltaïque et thermique) en pourcentage

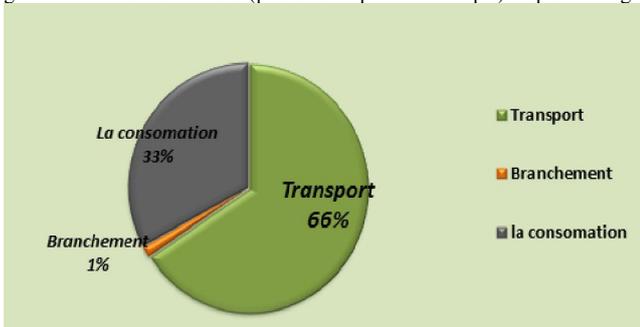


Fig.11 : Prix du raccordement au réseau en pourcentage

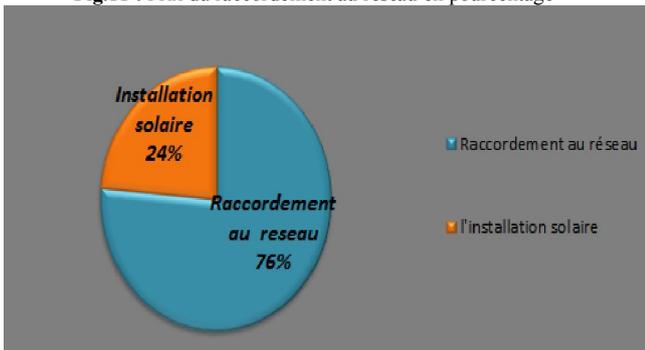


Fig.12: Comparaison entre le prix du réseau et le prix de l'installation solaire de la maison

D'après la figure on remarque que le cout de l'installation solaire autonome est moins couteux que celui du raccordement au réseau.

VI. CONCLUSIONS

Cette étude a été consacrée à une étude technique et économique comparative détaillée entre les différents composants des deux installations (photovoltaïque et thermique). Elle prend de plus en plus d'importance, elle est indispensable pour prendre des décisions et estimer le devis totale de installation solaire. L'étude se concentre sur la comparaison entre les différents devis des différents éléments de l'installation afin de choisir la combinaison la plus économique qui convient au mieux au besoin de la maison. Par la suite, nous avons élaboré une autre étude comparative entre le devis de l'installation solaire et celui du raccordement au réseau électrique. Nous avons constaté que le cout de l'installation en énergie solaire pour alimenter les régions isolées est moins élevé que celui ou la région est alimenté par le réseau de distribution électrique.

REFERENCES

- [1] D. Rekioua, E. Matagne. *Optimization of photovoltaic power systems: Modelization, Simulation and Control*, (2012) Green Energy and Technology, 102.
- [2] [H. Ammar; A. Melit; M. Adouane; M. T. Bouziane](#); Techno-economic evaluation of a hybrid PV/diesel water pumping system for different pumping heads; in [3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference \(IRSEC\) 2015](#)
- [3] K. Amara « contribution a l'étude de conception d'une centrale PV » mémoire Magister université de Tizi ouzou 2015
- [4] S .Petibon « nouvelles architectes distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques » thèse de doctorat de l'université de Toulouse, 2009
- [5] B .Chikh -Bled « méthode de dimensionnement optimal d'une installation photovoltaïque » Revue internationale d'héliotechnique, N°41 (2010) 25-30
- [6] Z. Mokrani, D. Rekioua, T. Rekioua. Modeling, Control and Power Management of Hybrid Photovoltaic Fuel Cells with Battery Bank Supplying Electric Vehicle. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(27), pp.15178-15187, 2014.
- [7] N. Mebarki, T. Rekioua, Z. Mokrani and D. Rekioua, Supervisor control for stand-alone photovoltaic/ hydrogen/ battery bank system to supply energy to an electric vehicle, *International Journal of Hydrogen Energy*. 39, pp.13777-13788, 2015.
- [8] S. G. Buja, Direct torque control of PWM inverter-Fed AC motor-a survey, *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol.51, pp. 744-757, 2004.
- [9] A. Haddoun, M. Benbouzid, D. Diallo, R. Abdessemed, J. Ghouili, and K. Srairi, A Loss-Minimization DTC Scheme for EV Induction Motor, *IEEE Trans on Vehicular Technology*, 56(1),pp. 81-88, 2007.
- [10] Z. Keliang, J.A. Ferreira De Haan S.W.H., Optimal energy management strategy and system sizing method for stand-alone photovoltaic-hydrogen systems. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(2), pp. 477-489, 2008.
- [11] Rekioua D., Bensmail S., Bettar N. Study of hybrid photovoltaic/fuel cell system for stand-alone applications. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(3), pp.13820-13826, 2014
- [12] C. Bernard, Station solaire autonome pour l'alimentation des antennes, l'archive ouverte pluridisciplinaire HAL 2006
- [13] H.Yotto « Etude et conception d'une mini centrale PV » mémoire fin d'études Master 2 IE Bénin 2011.