

Feasibility of solar adsorption air-conditioning in the region of Biskra: Reflection on the government support for electricity bills

Faisabilité de la climatisation solaire par adsorption dans la région de Biskra : Réflexion sur le soutien de l'état à la facturation de l'électricité

Hocine Benfatah^{1✉}, Adel Benchabane¹, Amar Rouag², Adnane Labeled³

1 Université Mohamed Khider Biskra, Laboratoire de Génie Energétique et Matériaux (LGEM), Faculté des Sciences et de la Technologie, Biskra 07 000, Algeria

2 Université Kasdi Merbah Ouargla, Laboratoire de développement des Energies Nouvelles et Renouvelables dans les Zones Arides et Sahariennes, LENREZA, BP 511, Ouargla 30000, Algeria

3 Université Mohamed Khider Biskra, Laboratoire de Génie Mécanique (LGM), Faculté des Sciences et de la Technologie, Biskra 07 000, Algeria

Received 8 February 2017

Published online: 9 June 2018

Keywords

Mono-split air conditioner

Centralized air conditioning chiller

Solar adsorption air conditioner

Government support

Billing electricity

Abstract: In this paper, the feasibility of solar adsorption air conditioning system in the region of Biskra (Algeria) is studied. The main objective is to give a reflection on the current government support for electricity bills. A comparison between three air conditioning systems was made by taking into account economic and environmental constraints: classical mono-split system (A), classical centralized air conditioning chiller (B) and solar adsorption system (C). In the context of the current government support for electricity bills, results show that system A is actually the best choice from the total investment costs, electrical consumption and maintenance point of view. This is observed even with the gain of the electrical consumption obtained in the case of solar adsorption air conditioner (C). From an environmental point of view, the system (C) is more advantageous than the classical systems (A) & (B) especially for its use of the solar energy, its low electrical consumption, low CO₂ emissions and low heat rejected to the outside. It can be concluded that the current state policy do not encourage the transition to the use of air conditioning systems operate by renewable energies. Thus, the redirection of the current support for electricity bills to the support of the investment cost of the solar adsorption air conditioner (C) will make it more competitive in the Algerian market. In this case, system (C) can replace, in the long-term, the system (A) used actually.

© 2018 The authors. Published by the Faculty of Sciences & Technology, University of Biskra. This is an open access article under the CC BY license.

Résumé: Dans cet article, la faisabilité du système de climatisation solaire par adsorption dans la région de Biskra (Algérie) est étudiée. L'objectif principal est de donner une réflexion sur le soutien actuel de l'état algérien à la facturation de l'électricité. Une comparaison entre trois systèmes de climatisation est réalisée en tenant compte des contraintes économiques et environnementales : système classique mono-split (A), système classique à eau glacée (B) et système solaire par adsorption (C). Dans le contexte de la politique actuelle de soutien de l'état à la facturation de l'électricité, les résultats montrent que le système (A) est actuellement le meilleur choix de point de vue coûts totaux d'investissement, de consommation électrique et de maintenance. Ceci est observé malgré le gain en coût de consommation électrique obtenu dans le cas du climatiseur solaire par adsorption (C). De point de vue environnemental, le système (C) est plus avantageux que les systèmes classiques (A) et (B), notamment pour son utilisation de l'énergie solaire, sa faible consommation électrique et ses faibles émissions de CO₂ et de quantités de chaleur rejetée à l'extérieur. Il a été conclu que les conditions actuelles n'encouragent pas la transition vers l'usage des systèmes de climatisation utilisant les énergies renouvelables. Ainsi, la redirection du soutien actuel des coûts de l'électricité vers le soutien du coût d'investissement du climatiseur solaire par adsorption (C) rendra ce dernier plus compétitif dans le marché algérien. Dans ce cas, le système (C) peut remplacer à long terme le système (A) mono-split utilisé actuellement.

Mots clés : Climatiseur mono-split, climatiseur à eau glacée, climatiseur solaire par adsorption, soutien de l'état, facturation de l'électricité

1. Introduction

La consommation d'électricité productrice du froid ménager (climatisation, refroidissement et réfrigération) présente plus de tiers de la consommation totale dans un logement. Ce type de consommation peut atteindre deux tiers de la consommation totale dans les logements dans les régions chaudes. Ceci est dû principalement au fait que les systèmes de production de froid classique reposent essentiellement sur des procédés frigorifiques

à compression de vapeur, grands consommateurs de l'énergie électrique (Le Pierrès 2005, Wang et Oliveira 2006, Benfateh et al. 2011).

Parmi les nouvelles techniques de production de froid, la technologie basée sur le phénomène de sorption semble être la meilleure option de point de vue coût/performance ; notamment par comparaison avec les techniques thermomécanique et photovoltaïque (Benfateh et al. 2011, Rouag 2017).

✉ Corresponding author. E-mail address: benfatehhocine@yahoo.fr

Nomenclature

Symboles

(A)	Système de référence, Climatisation mono-split
(B)	Systèmes de climatisation à eau glacée
(C)	Systèmes de climatisation solaire par adsorption
C	Coût, €
E	Emissions de CO ₂ , kg/an
EER	Coefficient d'efficacité frigorifique
\dot{m}	Débit massique de l'eau chaude utilisée par le refroidisseur à adsorption, kg/s
Q	Quantité d'énergie, kWh
\dot{Q}	Puissance absorbée ou dégagée, kW
t	Temps, h
TTC	Toutes taxes comprises
W	Energie fournie au compresseur, kWh

x	Nombre des années
ΔT	Différence de température, °C
ϕ	Humidité relative de l'air, %

Indices

a	Cumulé
as	avec soutien de l'état
c	Condenseur ou tour de refroidissement
ce	Consommation électrique
e	Électrique / électricité
ev	Évaporateur
i	Investissement
m	Maintenance
r	Rejetée à l'extérieur
ss	sans soutien de l'état

Les technologies de production de froid par sorption solaire sont des alternatives intéressantes qui peuvent répondre (i) aux besoins de climatisation, réfrigération, fabrication de glace et congélation et (ii) à la demande de conservation de l'énergie et de la protection de l'environnement (Fan et al. 2007). Le tableau 1 montre l'importance du gisement solaire de l'Algérie avec une majorité du territoire, en particulier le Sahara, considérée parmi les zones les plus ensoleillées du globe terrestre (Bentouba et al. 2010).

Dans la présente étude, on s'intéresse à la comparaison des systèmes de climatisation classiques, mono-split (A) et à eau glacée (B), avec un système de climatisation solaire par adsorption (C). Ce dernier a l'avantage d'être : compact, totalement statique (ou presque), utilise des températures de fonctionnement relativement faibles, inoffensif pour l'environnement avec des réfrigérants naturels ou alternatifs tels que l'eau (Habib et al. 2013). L'objectif de ce travail est d'évaluer la faisabilité du système (C) dans la région de Biskra, situé au sud-est de l'Algérie. Ainsi, le présent article décrit d'abord le problème étudié, puis une comparaison des trois systèmes de climatisation est présentée en prenant en compte les paramètres économiques et environnementaux suivants : coût d'investissement, coût de consommation électrique, quantité de chaleur rejetée à l'extérieur, émissions de CO₂. L'étude développée ci-dessous met l'accent notamment sur le soutien actuel de l'état algérien à la facturation de l'électricité.

Tableau 1. Gisement solaire de l'Algérie (Bentouba et al. 2010).

Régions	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie / Superficie de l'Algérie [.]	4	10	86
Durée moy. d'ensoleillement [h/an]	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue [kWh/m ² .an]	1700	1900	2650

Tableau 2. Données climatiques de l'Algérie (Benhabiles et al. 2008, Labed et al. 2015).

Zone	1			2			3			4		
	a	b	c	a	b	c	d	b	c	a	b	c
Altitude [m]												
T [°C]	34	33,5	30,5	38	37	35	41	39,5	36	46	42	37,5
ϕ [%]	44	40	47	30	28	28	22	18	22	11	13	17

2. Description du problème

2.1. Hypothèses

Considérons le cas d'étude d'un appartement situé à Biskra avec un espace à climatiser de deux chambres et un salon. Il s'agit d'un exemple quantifiant les besoins de climatisation d'un usager type dans un climat saharien. Le site de Biskra se trouve au sud-est de l'Algérie dans la zone climatique N°4a (Tableau 2) avec une altitude de 81 mètres, une latitude de 34,8°N et une longitude de 5,73°E

Les hypothèses considérées dans la présente étude sont comme suit :

- Les besoins frigorifiques de l'espace considéré (deux chambres et un salon) sont comme suit : 2x2,64kW pour les chambres et 3,52kW pour le salon.
- Le rayonnement solaire est utilisé comme source d'énergie pour la production de l'eau chaude, en supposant que son stockage peut assurer la quantité d'eau chaude nécessaire pour toute la journée.
- Le fonctionnement annuel est de 18h de climatisation par jour pendant la période chaude de l'année (4 mois et 15 jours), le total des heures de fonctionnement est de 2430h/an.
- Tous les coûts sont exprimés en euros avec 7% de TVA pour la consommation électrique et de 17% pour l'investissement (En toutes taxes comprises, TTC).
- Pour faciliter la comparaison entre les systèmes, le coût unitaire du kWh de l'électricité est égale à 4.179 Dinars Algériens, DA (soit 0.0354€/kWh). Ce coût est utilisé uniquement lorsque le soutien de l'état Algérien est considéré (0.0354€ coût hors taxes, avec soutien de l'état).

(vi) Lorsque le soutien de l'état Algérien n'est pas considéré, le coût unitaire du kWh de l'électricité est égale 0.1316€. Cette même tarification, utilisée en union européen, est considérée comme coût de référence dans cette étude, avec une augmentation annuelle de 2.6%, soit 13% en cinq ans (0.1316€/kWh coût hors taxes, sans soutien de l'état).

(vii) Durée de vie des climatiseurs classiques (A) et (B) est de 15ans et 25ans pour le climatiseur solaire étudié (C).

2.2. Systèmes étudiés

Le système de climatisation classique (A), très utilisé actuellement, sera appelé dans la suite de cet article : système de référence (figure 1). Il servira de référence pour la comparaison avec les autres systèmes classique (B) et solaire (C) (figures 2 et 3 respectivement). Ci-dessous l'application de chacun de ces trois systèmes pour la climatisation de l'espace considéré.

3. Etude comparative

3.1 Coût d'investissement

Le tableau 3 montre un devis estimatif du coût d'investissement pour les trois systèmes (A), (B) et (C). Les coûts d'investissements sont obtenus en consultant les catalogues des constructeurs disponibles en ligne (LG 2016, Carrier 2011 et SorTech 2011).

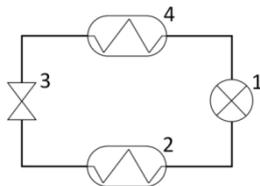


Fig. 1. Schéma du système de climatisation mono-split (A) (système de référence) : (1) Compresseur, (2) Condenseur, (3) Vanne de détente, (4) Evaporateur (Desmons 2009, Dal Zotto et al. 2000).

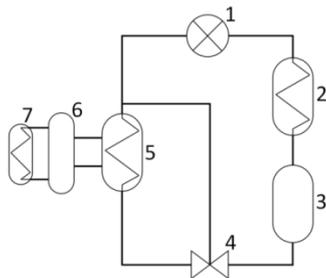


Fig. 2. Schéma du système de climatisation à eau glacée (B) : (1) Groupe semi-hermétique, (2) Condenseur, (3) Réservoir de liquide, (4) Détendeur thermostatique, (5) Evaporateur, (6) Stockage eau froide, (7) Ventilateur-convecteur (Desmons 2009, Dal Zotto et al. 2000).

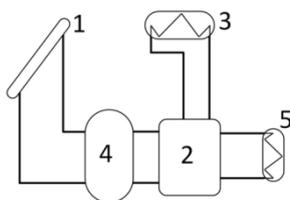


Fig. 3. Schéma du système de climatisation solaire par adsorption (C) : (1) Capteur solaire, (2) Refroidisseur adsorption, (3) Tour de refroidissement, (4) Stockage de l'eau chaude, (5) Ventilateur-convecteur (Zhai et al. 2008).

Tableau 3. Coût d'investissement (Ci) TTC des différents systèmes de climatisation étudiés (LG 2016, SorTech 2011, Carrier 2011).

Système	C _i [€]	C _i /C _{i(A)}
(A)	4226,04	1,00
(B)	23799,86	5,63
(C)	42 946,02	10,16

Le tableau 3 montre que le système (C) est le plus cher tandis que le système (A) est dix fois moins cher que le système de référence. Ceci traduit l'utilisation fréquente du système classique (A) par rapport au système solaire (C).

3.2 Coût de la consommation électrique

Les tarifs bas d'électricité en Algérie sont fixés par les autorités publiques pour favoriser le développement social du pays. En 2015, les clients domestiques en Algérie payent les premiers 125kWh à 1,779 DA/kWh, soit 0,0149€/kWh hors taxes. Le reste de la consommation est facturé à 4,179DA/kWh, soit 0.0354€/kWh hors taxes. Dans la présente étude, la majorité de la consommation électrique, plus de 80%, dépasse les 125kWh, d'où l'hypothèse (v).

La consommation électrique et son coût en Algérie sont donnés par le Tableau 4 en tenant compte de l'hypothèse (iii). Le tableau 4 montre que le coût de consommation électrique du système (C) est le moins cher et égale à 51% le coût de consommation électrique du système de référence (A) donc permet de consommer moins d'électricité ainsi de faire des économies d'électricité et d'argent à long terme.

3.3 Chaleur rejetée à l'extérieur

En général, les catalogues des constructeurs donnent la puissance à fournir au compresseur et le coefficient d'efficacité frigorifique (EER) du système de climatisation. L'EER représente la performance énergétique de la pompe à chaleur fonctionnant en mode rafraîchissement. Il est donné par l'équation suivante :

$$EER = \frac{\text{Energie absorbée à l'évaporateur}}{\text{Energie fournie au compresseur}} = \frac{Q_{ev}}{W} \quad (1)$$

En utilisant l'hypothèse (iii), la durée de fonctionnement des trois systèmes de climatisation (2430h/an) permet de convertir les puissances fournies par les constructeurs. La chaleur rejetée par le condenseur est donnée par l'équation suivante :

$$Q_c = Q_{ev} + W \quad (2)$$

Le refroidisseur du système (C) étudiée dans cet article a besoin d'un débit d'eau chaude de 1,6 m³/h. Pour un fonctionnement de 18h/jour, le volume de l'eau chaude nécessaire est de 28800 litres/jour. Ainsi, la quantité d'énergie utilisée par le refroidisseur d'adsorption est donnée comme suit :

Tableau 4. La quantité d'énergie électrique Q_e, consommée annuellement en Algérie par les trois systèmes (A), (B) et (C) et son coût, C_{ce}, en TTC.

Système	Q _e [kWh/an]	C _{ce} [€/an]	C _{ce} /C _{ce(A)} [-]
(A)	5880,60	222,75	1,00
(B)	19257,75	729,45	3,27
(C)	3013,20	114,13	0,51

$$Q_{eau} = \dot{m} C_p \Delta T t \tag{3}$$

ΔT est la différence de températures d'entrée et de sortie de l'eau chaude. Ainsi, la puissance nécessaire pour produire l'eau chaude est de $235.20/18 = 13 \text{ kW}$.

Le tableau 5 donne la puissance calorifique rejetée à l'extérieur par les trois systèmes de climatisation (A), (B) et (C) à travers les condenseurs et la tour de refroidissement, respectivement. Contrairement aux systèmes classiques (A) et (B), le système (C) rejette et utilise à la fois de l'énergie calorifique. La puissance calorifique transmise au système (C) représente la quantité d'eau chaude utilisée par le refroidisseur. Ainsi, on remarque sur le tableau 5 que la puissance calorifique rejetée par le système (C) est la plus faible par rapport aux systèmes classiques.

3.4. Emissions de CO₂

La production d'électricité mondiale est principalement issue des combustibles fossiles produisant le gaz CO₂. L'augmentation de la concentration de ce dernier dans l'air, avec d'autres gaz à effet de serre, provoque une augmentation de la température moyenne sur la terre, ce qui présente de grands dangers pour la vie. En Algérie 1kWh d'électricité émet 548g de CO₂ (IEA 2016). Le tableau 6 représente une comparaison entre les émissions de CO₂ pour les trois systèmes étudiés en fonction de la consommation électrique annuelle. On constate que les émissions de CO₂ relatives au système (C) sont les plus faibles avec moins de 50% que le système (A). Par contre, le système (B) produise plus de 280% que le système de référence (A).

3.5. Récapitulatif

La figure 4 résume l'étude comparative réalisée plus haut entre les trois systèmes (A), (B) et (C) de point de vue coût d'investissement, coût de consommation électrique, chaleur rejetée à l'extérieur et émissions de CO₂. On remarque que le coût de la consommation électrique, la chaleur rejetée à l'extérieur et l'émissions de CO₂ du système (C) sont les plus faibles. Le seul inconvénient du climatiseur solaire est son coût d'investissement élevé par rapport aux systèmes classiques. Cette conclusion mène à étudier l'amortissement du coût d'investissement du système (C), c-à-d la possibilité de son utilisation comme système alternatif aux climatiseurs classiques.

Tableau 5. Puissances calorifiques rejetées à l'extérieur par les trois systèmes de climatisation (A), (B) et (C) en prenant compte de la puissance calorifique de l'eau chaude utilisée par le système (C).

Système	\dot{Q}_c [kW]	\dot{Q}_{eau} [kW]	\dot{Q}_r [kW]	$\dot{Q}_r/\dot{Q}_{r(A)}$
(A)	10,92	0	10,92	1
(B)	21,8	0	21,8	2
(C)	21,65	-13	8,65	0,79

Tableau 6. Emissions de CO₂ en Algérie pour un fonctionnement annuelle des trois systèmes (A), (B) et (C).

Système	Q_e [kWh/an]	E_{CO_2} [kg/an]	$E_{CO_2}/E_{CO_2(A)}$
(A)	5880,60	3222,57	1,00
(B)	19257,75	10553,25	2,81
(C)	3013,20	1651,23	0,51

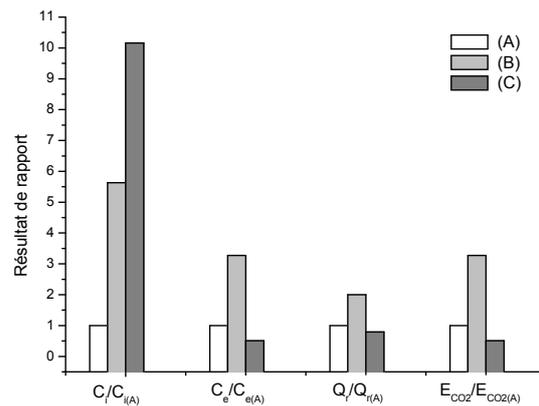


Fig. 4. Comparaison entre les trois systèmes (A), (B) et (C) de point de vue coût d'investissement, coût de consommation électrique, chaleur rejetée à l'extérieur et émissions de CO₂.

4. Durée d'amortissement

La durée d'amortissement est la durée de retour sur investissement d'une installation. Afin de réduire au maximum la durée d'amortissement d'une installation, la meilleure option reste de diminuer sa consommation d'énergie le plus possible. La durée de retour sur investissement dépend de l'économie engendrée et du coût du matériel installé. Dans la présente étude, la durée de vie du climatiseur solaire est de 25 ans, nettement plus importante que les systèmes classiques (hypothèse vii). Le coût total annuel incluant le coût d'investissement, de la consommation électrique et de la maintenance des systèmes de climatisation (A), (B) et (C) est détaillé dans le tableau 7, avec et sans la considération du soutien de l'état algérien à la facturation de l'électricité. Ainsi, le coût total cumulé annuellement est donné par la relation suivante :

$$C_{a(\text{Système})} = C_i + x(C_{ce} + C_m) \tag{4}$$

La figure 5 représente l'évolution du coût total cumulé, sans considération du soutien de l'état algérien à la facturation de l'électricité, pour les trois systèmes. On remarque que pour le cas étudié, petit espace à climatiser de deux chambres et un salon, les deux systèmes qui apparaissent rentables sont les systèmes (A) et (C). Par contre le système (B) est connu efficace pour les moyens et grands espaces.

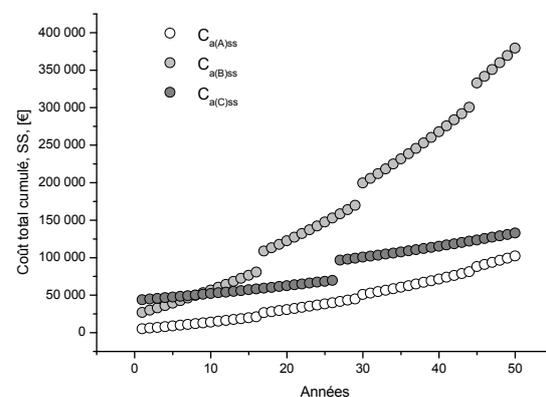


Fig. 5. Coût total cumulé sans considération du soutien de l'état algérien à la facturation de l'électricité d'état des systèmes (A), (B) et (C).

Tableau 7. Coûts annuels (TTC) de l'investissement, de la consommation électrique et de la maintenance des systèmes de climatisation (A), (B) et (C) sans et avec considération du soutien de l'état algérien à la facturation de l'électricité.

Syst.	C_i [€]	C_{ce-as} [€/an]	C_{ce-ss} [€/an]	C_m [€/an]
(A)	4226,04	222,75	828,06	42,26
(B)	23799,86	729,45	2711,72	237,99
(C)	42 946,02	114,13	424,29	429,46

La figure 6 représente une comparaison des coûts totaux cumulés des deux systèmes (A) et (C) avec et sans soutien de l'état. La figure 6 montre que la différence entre les coûts cumulés des deux systèmes (A) et (C) diverge lorsque l'état intervient pour soutenir les prix de l'électricité. En éliminant le soutien de l'état, la différence des coûts diminue avec le temps. C'est dans ce cas qu'on peut espérer le passage vers l'utilisation des énergies renouvelables. On remarque également que le soutien de l'état des coûts de l'électricité consommée par le système (A) durant quarante ans correspond au coût d'investissement du système (C). C'est dans ce contexte que la figure 7 est tracée en illustrant le coût total cumulé pour les deux systèmes (A) et (C) où le soutien des coûts de l'électricité est redirigé vers le soutien du coût d'investissement du climatiseur solaire par adsorption (C).

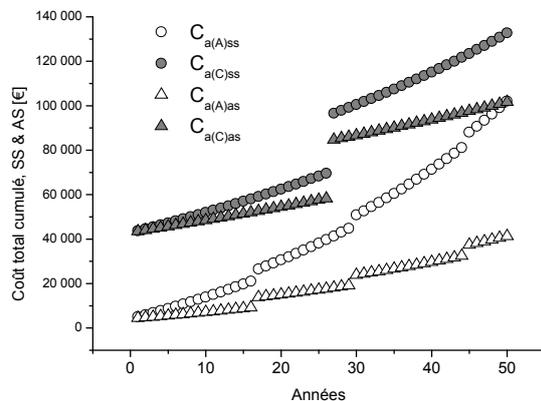


Fig. 6. Coût total cumulé pour les deux systèmes (A) et (C) avec et sans considération du soutien de l'état à la facturation de l'électricité d'état.

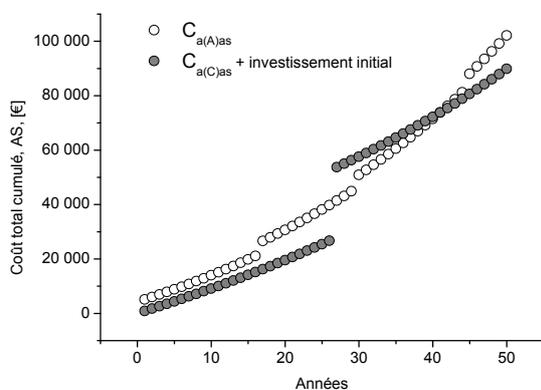


Fig. 7 : Coût total cumulé pour les deux systèmes (A) et (C) en redirigeant le soutien actuel des coûts de l'électricité vers le soutien du coût d'investissement du climatiseur solaire par adsorption (C).

5. Conclusions et recommandations

L'objectif de ce travail est d'étudier la faisabilité d'un système de climatisation solaire par adsorption dans la région de Biskra, situé au sud-est de l'Algérie. Une étude comparative entre les systèmes de climatisation classiques, mono-split (A) et centralisés à eau glacée (B), et le système de climatisation solaire par adsorption (C) est conduite. La comparaison prend en compte des contraintes économiques et environnementales, à savoir : coût d'investissement, coût de consommation électrique, quantité de chaleur rejetée à l'extérieur, émissions de CO_2 .

En vertu de la politique actuelle de soutien de l'état à la facturation de l'électricité, les résultats de l'étude montrent que le système (A) présente le meilleur choix de point de vue coûts totaux d'investissement, de consommation électrique et de maintenance.

De point de vue environnemental, l'étude a montré que le système (C) reste toujours plus avantageux que les systèmes classiques (A) & (B) notamment pour son utilisation directe de l'énergie solaire, sa faible consommation électrique, sa faible quantité de chaleur rejetée à l'extérieur et ses faibles émissions de CO_2 . Il a été conclu que les conditions actuelles, marquées par le coût de l'électricité soutenu par l'état, n'encouragent pas le passage vers l'installation des systèmes de climatisation de sources renouvelables.

Parmi les recommandations de la présente étude, on cite la nécessité de rediriger le soutien actuel du coût de l'électricité vers le soutien du coût d'investissement du système (C). Dans ce cas, le système de climatisation solaire par adsorption sera plus compétitif dans le marché algérien. Ainsi, les systèmes de climatisations à impact bénin sur l'environnement remplaceront progressivement le système (A) utilisé actuellement. Par ailleurs, les résultats de la présente étude peuvent encourager les chercheurs à conduire des études sur les systèmes de climatisation solaire pour l'amélioration des connaissances sur la conception et le fonctionnement de ces derniers.

Références

- Benfatah, H., A. Benhabane, M.A. Djebiret, M.E. Djezzar, A. Kaci (2011) Rafraichissement Solaire en Algérie par des Procédés de Sorption. Premier Séminaire Nationale de Génie Mécanique, SNGM01, Biskra, 7 et 8 Décembre 2011, p.1-6.
- Benhabiles, A., B. Abbad, M. Berdja, A. Noui, S. Chikh, K. Daoud, L. Oufer (2008) Climatisation solaire en Algérie. Revue générale du froid et du conditionnement d'air 1085: 22-26.
- Bentouba, S., A. Slimani, M.S. Boucherit, M. Hamouda (2010) L'énergie renouvelable en Algérie et l'impact sur l'environnement, 10ème Séminaire International sur la physique Energétique, Université de Bechar (Algérie).
- Carrier (2011) Catalogue général, Solution de chauffage et climatisation, disponible sur le lien www.carrier.fr/catalogue_complet_2011.pdf, consulté le 4/6/2018.
- LG (2016) Catalogue général 2016/2017, Chauffage, climatisation et ENR, disponible sur le lien www.sanitor.fr/LG-2016.pdf, consulté le 4/6/2018.

- Dal Zotto, P.Larre, J.-M. Merlet, A. Picau, L. (2000) *Mémothéorie Génie Energétique*, Casteilla, Paris.
- Desmons, J. (2009) *Aide-mémoire de génie climatique*. Dunod, Paris.
- Fan, Y., L. Luo, B. Souyri (2007) Review of solar sorption refrigeration technologies: development and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11(8): 1758-1775.
- Habib, K., B. Saha, A. Chakraborty, S.T. Oh, S. Koyama (2013) Study on solar driven combined adsorption refrigeration cycles in tropical climate. *Applied Thermal Engineering* 50(2):1582-1589.
- IEA (2016) Données sur les émissions du CO₂, International Energy Agency, données obtenues sur le lien: www.iea.org, consulté le 4/6/2018.
- Labed, A., A. Rouag, A. Benchabane, N. Moumami, M. Zerouali (2015) Applicability of solar desiccant cooling systems in Algerian Sahara: Experimental investigation of flat plate collectors. *Journal of Applied Engineering Science & Technology* 1(2): 61-69.
- Le Pierrès, N (2005) *Procédé solaire de production de froid basse température (-28 °C) par sorption solide-gaz : Procède Matériaux et Energie Solaire*, Thèse de doctorat, Université de Perpignan, France.
- Rouag, A. (2017) *Contribution à l'étude du transfert thermique dans les échangeurs de chaleur des machines frigorifiques à adsorption*. Thèse de doctorat, Université de Biskra.
- SorTech AG, *Cold from Heat Product Catalogue* (2011). Catalogue obtained from Website: www.sortech.de consulté le 4/6/2018.
- Wang, R.Z., R.G. Oliveira (2006) Adsorption refrigeration-an efficient way to make good use of waste heat and solar energy. *Progress in Energy and Combustion Science* 32(4): 424-458.
- Zhai, X., R. Wang, J. Wu, Y. Dai, Q. Ma (2008). Design and performance of a solar-powered air-conditioning system in a green building. *Applied energy* 85(5): 297-311.