



ESJ Natural/Life/Medical Sciences

Etude Comparative De La Rentabilité Des Systèmes De Pompage Solaire Et Thermique Sur Le Périmètre Irrigué De Soumarana Au Niger

Illiassou Naroua,

Département des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences
Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Abdoulkadri Laouali,

Département de l'Agro-Socio-Economie, Faculté des Sciences
Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Souley Issaka,

Département de Production Durable des Cultures, Faculté des Sciences
Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Maman Rachid Salissou Issoufou,

Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Hassoumi Djibo,

Département de l'Agro-Socio-Economie, Faculté des Sciences
Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

[Doi:10.19044/esj.2021.v17n43p246](https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p246)

Submitted: 09 December 2021

Accepted: 28 December 2021

Published: 31 December 2021

Copyright 2021 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Naroua I., Laouali A., Issaka S., Issoufou M. R.S., & Djibo H., (2021). *Etude Comparative De La Rentabilité Des Systèmes De Pompage Solaire Et Thermique Sur Le Périmètre Irrigué De Soumarana Au Niger* European Scientific Journal, ESJ, 17(43), 1.

<https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n43p246>

Résumé

Le Niger dispose d'important potentiel de terre irrigable et plusieurs formes d'irrigation ont été développées notamment la petite irrigation, afin de réduire la dépendance de la production vis-à-vis des aléas climatiques. L'objectif de ce travail est de justifier le besoin de vulgariser la technologie des équipements de pompage solaire. Pour cela une enquête technicoéconomique a été conduite auprès d'un échantillon de 80 exploitants choisis de manière aléatoire sur le périmètre irrigué de Soumarana, à raison de 40 irrigants utilisant des systèmes de pompage thermique et 40 des systèmes de pompage photovoltaïque. Les cultures de carotte et d'oignon, étant les principales spéculations, ont été

retenues pour conduire l'étude afin de comparer les performances de systèmes de pompage en place. Il ressort de l'analyse des résultats que le système de pompage solaire dégage des marges brutes nettement supérieure à celles du système de pompage thermique avec des différences de l'ordre de 402 148 FCFA/ha et 342 812 FCFA/ha respectivement pour la culture de carotte et celle de l'oignon. De même, le coût du pompage du mètre cube d'eau en système de pompage solaire est nettement inférieur à celui du système de pompage thermique avec respectivement 57,27 FCFA/m³ et 80,75 FCFA/m³. Ces résultats indiquent une meilleure performance du système de pompage solaire comparativement au système thermique.

Mots clés: Pompage Solaire, Pompage thermique, Rentabilité Economique, Soumarana.

Comparative Study of The Profitability of Solar and Fuel Powered Pumping Systems on the Soumarana Irrigated Perimeter in Niger

Illiassou Naroua,

Département des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Abdoulkadri Laouali,

Département de l'Agro-Socio-Economie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Souley Issaka,

Département de Production Durable des Cultures, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Maman Rachid Salissou Issoufou,

Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Hassoumi Djibo,

Département de l'Agro-Socio-Economie, Faculté des Sciences Agronomiques, Université Boubakar Bâ de Tillabéri, Niger

Abstract

Niger Republic has significant potential for irrigable land and several forms of irrigation have been developed, including small-scale irrigation, in order to reduce the dependence of production on climatic hazards. The objective of this study is to justify the need to popularize solar pumping equipment technology. To this purpose, a techno-economic survey was conducted among a sample of 80 farmers chosen randomly in the Soumarana irrigated area, at the rate of 40 farmers under fuel powered pumping system

and 40 under photovoltaic pumping system. Carrot and onion crops, being the main speculations, were selected to conduct the study to compare both pumping systems performances. The analysis of the results shows that the solar pumping system has higher gross margins than the fuel powered pumping system with differences of the order of 402 148 FCFA/ha and 342 812 FCFA/ha respectively for carrot and onion crops. Similarly, the cost of pumping per cubic meter in the solar pumping system was clearly lower than that of the fuel powered pumping system with respectively 57.27 FCFA/m³ and 80.75 FCFA/m³. These results indicate a better performance of the solar pumping system compared to the fuel powered ones.

Keywords: Solar pumping, Fuel powered pumping, Economic profitability, Soumarana

1. Introduction

Au Niger, l'économie est tributaire du secteur agricole qui contribue au Produit Intérieur Brut (PIB) à plus de 43% (Banque Africaine de Développement, 2018). Ce secteur représente le premier générateur de revenu en occupant plus de 80% de la population active. Aussi, les perspectives de lutte contre la pauvreté reposent essentiellement sur l'amélioration de la productivité agricole. Ce système de production majoritairement pluvial et en conditions pédoclimatiques défavorables, s'est souvent montré inefficent ; occasionnant des crises alimentaires récurrentes (WFP, 2010, Abdoul Habou *et al.*, 2016 ; PARM, 2016). Cependant, il existe d'important potentiel en terre irrigable (Ministère de l'Agriculture, 2015 ; Nazoumou *et al.*, 2016) dont la mise en valeur permettrait de contribuer à l'atteinte de la sécurité alimentaire et à la lutte contre la pauvreté (Tillie *et al.*, 2019), réduisant ainsi la dépendance de la production vis-à-vis des aléas climatiques. Ainsi plusieurs formes d'irrigation ont été développées.

Les plus importantes formes d'irrigation en termes de superficie sont les aménagements hydroagricoles à grande échelle (Ehrnrooth *et al.*, 2011). Cependant, du fait de la faible rentabilité et des problèmes de gestion de ces aménagements durant ces dernières années, une attention particulière a été accordée à la petite irrigation (Banque Mondiale, 2009, Ministère de l'Agriculture, 2015). Cette dernière présente l'avantage d'avoir un coût d'investissement très faible et des infrastructures physiques beaucoup plus simples et ayant des entretiens moins onéreux et facilement assimilables par les producteurs. Par ailleurs, il existe un certain nombre de défis à relever dont l'amélioration de la productivité agricole qui faciliterait la rentabilisation économique des investissements. Ce qui implique, l'optimisation des ressources et la minimisation des coûts de production dont le plus important en irrigation est celui de la consommation d'énergie pour assurer la

mobilisation de l'eau (Belaud *et al.*, 2020 ; Rocamora *et al.*, 2013, Shah *et al.*, 2018).

En milieu rural isolé des installations électriques, diverses alternatives de source d'énergie sont recherchées et utilisées pour la mobilisation et la distribution des eaux d'irrigation (Carrillo-Cobo *et al.*, 2014 ; Chandel *et al.*, 2015 ; Wydra *et al.*, 2019a ; Wydra *et al.*, 2019b). Au nombre de ces alternatives, figurent l'énergie thermique à base des carburants fossiles, l'énergie photovoltaïque, l'énergie éolienne et celle de la biomasse (Isaias *et al.*, 2019, Shinde et Wandre, 2015 ; Ibrik, 2020). A titre illustratif, la plupart des producteurs du périmètre irrigué de Soumarana (dans la région de Maradi à l'Est du Niger), utilisaient auparavant les pompes thermiques à essence. Grâce à l'appui financier de leurs partenaires, il leur a été installé un certain nombre de pompes immergées équipées de panneaux solaires, pour la mobilisation et la distribution de l'eau d'irrigation. Ces nouvelles installations ont pour objectifs d'améliorer la productivité des systèmes de production et les rendre plus durables. Le pompage de l'eau à l'aide de l'énergie solaire photovoltaïque ou système de pompage photovoltaïque (SPPV), comparativement au système de pompage thermique (SPT), présente comme avantage la réduction des émissions de gaz à effet de serre, un coût de maintenance réduit, une longue vie utile et l'énergie solaire est inépuisable (Shinde et Wandre, 2015 ; Hartung et Pluschke 2018). Toutefois, son inconvénient est d'avoir un coût d'investissement initial élevé. Ce qui, limite son utilisation par les producteurs (Wydra *et al.*, 2019a ; Wydra *et al.*, 2019b). Au périmètre irrigué de Soumarana, après l'installation des systèmes de pompage solaire, il s'en est suivi la nécessité d'évaluer la rentabilité des investissements réalisés pour justifier la promotion de cette technologie. C'est dans ce cadre que la présente étude a été menée. Elle a consisté à comparer les systèmes de pompage solaire et thermique, afin de déterminer le système le plus productif du point de vue de la rentabilité économique.

2. Matériel et méthode

2.1. Présentation de la zone d'étude

L'étude a été menée dans le périmètre irrigué de Soumarana, situé dans la commune rurale de Safo, (Figure 1). Le village de Soumarana présente un climat du type sahélo-soudanien caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 537 mm. Le sol est à prédominance limoneux. La superficie totale du périmètre est estimée à 450 ha dont seulement 250 ha sont mis en valeur par environ 2000 exploitants, repartis dans deux organisations paysannes (OP). La taille d'une exploitation individuelle varie entre 0,15 et 0,5 ha. La profondeur de la nappe se caractérise par un niveau statique variant entre 8 et 10 m selon la période de l'année. L'exhaure de l'eau est assurée par deux types de systèmes de pompage à savoir le système de pompage photovoltaïque

(SPPV) et le système de pompage thermique (SPT), avec chacun une capacité de 7 m³/h dimensionnés pour irriguer une superficie de 0,8 ha.

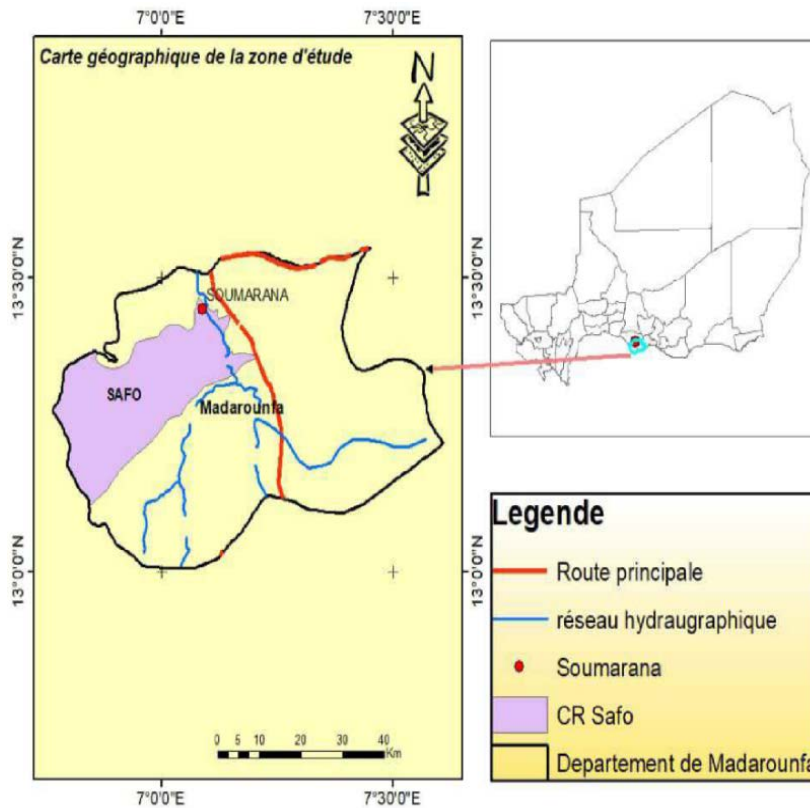


Figure 1. Carte géographique du village de Soumarana. Source : Auteurs, 2021

2.2.Méthodologie

La méthodologie repose sur une enquête technico-économique de deux systèmes de pompage en place. Ainsi, 80 exploitants choisis de manière aléatoire du périmètre ont été enquêtés à raison de 40 par type de système de pompage. Les données collectées portent sur la taille d'exploitation par producteur, les principales cultures pratiquées, les charges liées aux intrants (semences, produits phytosanitaires, engrais, carburant), à la main d'œuvre et à l'entretien du système. De même, les informations sur les paramètres d'arrosage (durée et fréquence d'arrosage), la production et le prix de vente des produits, etc., ont été collectées. Les données relatives aux coûts d'investissements initiaux et la durée de vie des différents équipements de systèmes de pompage ont été reçues auprès des l'entreprises ayant fourni ces équipements (Tableau 1).

Tableau 1. Coût d'investissement initial et durée de vie des systèmes de pompage

SPPV

Désignation	Investissement Initial (FCFA)	Durée de vie (an)
Générateur photovoltaïque	480000	20
Electropompe	800000	7
Accessoire	200000	10
Expertise génie civil	200000	20
Ouvrage	120000	20

SPT		
Désignation	Investissement Initial (FCFA)	Durée de vie (an)
Moto pompe	225000	4
Abri	4000	1
Ouvrage	120000	20

Source : Entreprise ELYFROS Maradi

Microsoft Excel (version 2019) a été utilisé pour le traitement des données. Le compte d'exploitation des principales cultures par exploitants, et la rentabilité économique des différents systèmes de pompage à travers l'analyse du coût du mètre cube d'eau pompé (CMEP) ont été évalués selon les méthodes de Bouzidi *et al.* (2006) et Ibrik (2020). La marge brute de production (MBP) des cultures a été déterminée suivant la formule utilisée par Maiga Djibril (2021) et Hossain *et al.*, (2015). Le CMEP a été calculé selon la formule ci-dessous. Il est le rapport entre le coût d'exploitation total annuel (CETA) et le volume d'eau pompé annuellement (VEPA).

$$CMEP \left(\frac{FCFA}{m^3} \right) = \frac{CETA (FCFA)}{VEPA (m^3)}$$

La CETA représente la somme des coûts de fonctionnement annuel (CFA) du système de pompage et l'amortissement total annuel des équipements (ATA). Le CFA comporte les frais d'entretien, de gardiennage et éventuellement la charge liée à la consommation de l'essence pour le système de pompage thermique. L'amortissement des équipements a été calculé en appliquant la formule suivante (Bouzidi *et al.*, 2006) :

$$ATA (FCFA) = \frac{T * I}{[1 - (1 + T)^{-n}]}$$

Où :

T (%) : taux d'amortissement,

n : durée de vie de l'équipement (ans),

I : investissement initial.

Il a été considéré un taux d'amortissement annuel linéaire défini comme l'inverse de la durée de vie de l'équipement.

Pour le cas du SPT, la variation du CMEP a été simulée en fonction du prix de l'essence, en considérant les autres composantes fixes (charge d'entretien et vidange et l'amortissement total annuel du système), dans l'objectif de déterminer la valeur du prix du litre de l'essence pour lequel le CMEP est le même pour les deux systèmes de pompage.

La marge brute de production (MBP) est la différence entre la valeur monétaire de la production (VMP) et la charge totale de la production (CTP), qui elle-même comporte les différentes charges variables (intrants, main d'œuvre, entretien des équipements).

$$MBP(FCFA/ha) = VMP(FCFA/ha) - CTP(FCFA/ha)$$

La valeur monétaire de la production est le produit entre la quantité de la production et son prix au moment de la récolte.

3. Résultats et discussion

3.1. Analyse du compte d'exploitation

Le Tableau 2 présente, les valeurs moyennes des composantes des comptes d'exploitations des principales cultures (carotte et oignon), par type de système de pompage. Il s'agit d'une part, des charges variables liées à l'achat des semences, des engrais chimique et organique, des traitements phytosanitaires, de la main d'œuvre, des entretiens et de l'essence, et d'autre part, de la valeur monétaire de la production de chacune des cultures. Ces valeurs dépendent beaucoup de la spéculation des prix au moment de l'étude, toutes fois, elles permettent d'établir une comparaison de la performance entre les deux systèmes de pompages.

L'analyse du Tableau 2 indique que les valeurs des charges ont varié de manière diverse due à la spéculation des prix au moment de l'étude, comme le montre les coefficients de variation (CV) qui ont oscillé entre 9,58 et 31,20%. Par ailleurs, une comparaison des valeurs des composantes de la CTP de cultures selon le système de pompage montre une légère variation, sauf pour le cas des charges dues à l'achat de l'essence et/ou à l'entretien qui sont plus importantes dans le SPT comparativement à ceux du SPPV. Pour le cas du SPT les charges de l'essence et entretien représentent 40,71% et 46,22% de la CTP respectivement pour la carotte et l'oignon, contre 15,40% et 25,46% dans le SPPV qui se limitent uniquement aux charges d'entretien du système. Ces résultats sont proches de ceux trouvés par Andres *et al.* (2016) dans cette même zone d'étude, où la charge due à l'achat de carburant a représenté à elle seule 44% des charges totales de production dans un SPT. Par contre, ils sont supérieurs à ceux de producteurs de poivron dans la région de Diffa avec en moyenne 32% de charges opérationnelles à l'hectare (Dalla *et al.* 2016). Cette forte charge due à la consommation de l'essence et/ou à l'entretien du SPT justifierait la supériorité de la charge totale dans ledit système vis-à-vis de celle du SPPV. Ce qui a conduit à des valeurs de la MBP plus élevées en SPPV pour les deux cultures avec des différences de l'ordre de 402 148 FCFA/ha et 342 812 FCFA/ha respectivement pour la culture de carotte et de l'oignon. En effet les valeurs de MBP des cultures en système thermique équivalent à 71 et 83% (respectivement pour la carotte et l'oignon) de celles du système de pompage soaire.

Culture	Semences (FCFA/ha)	Main d'œuvre (FCFA/ha)	Engrais chimique (FCFA/ha)	Engrais organique (FCFA/ha)	Traitements phytosanitaire s (FCFA/ha)	Entretien et/ou essence (FCFA/ha)	CTP (FCFA/ha)	VMP (FCFA/ha)	MBP (FCFA/ha)
SPPV									
Carotte	134063	183538	77150	47820	39076	103231	584877	1971724	1386847
CV	31,20%	26,75%	23,10%	20,01%	14,31%	15,40%	27,33%	23,45%	28,17%
% de CTP	23%	31%	13%	8%	7%	18%	100%	-	-
Oignon bulbe	96543	197779	110842	52964	16780	162231	637138	2580586	1943448
CV	15,00%	27,31%	18,40%	17,07%	25,21%	12,32%	20,52%	30,10%	19,74%
% de CTP	15%	31%	17%	8%	3%	26%	100%	-	-
SPT									
Carotte	161364	189585	107400	35412	44917	369920	908597	1893296	984699
CV	17,20%	10,89%	21,18%	9,58%	24,35%	19,23%	29,40%	15,41%	22,13%
% de CTP	18%	21%	12%	4%	5%	40%	100%	-	-
Oignon bulbe	100077	186686	119989	36122	13267	392031	848172	2448808	1600636
CV	25,10%	10,25%	16,11%	13,15%	19,80%	27,12%	23,10%	14,47%	23,10%
% de CTP	12%	22%	14%	4%	2%	46%	100%	-	-

3.2. Analyse du coût du mètre cube d'eau pompé

Le Tableau 3 présente les valeurs de l'amortissement annuel et la charge de fonctionnement annuelle des différents systèmes de pompage pour la mobilisation d'un volume d'eau équivalent à 7350 m³ correspondant au volume d'eau pompé annuellement par les deux systèmes ; étant donné que les caractéristiques des pompes sont identiques pour les deux types de systèmes de pompage et de même pour les valeurs estimées du temps de pompage.

Tableau 3. Valeurs des paramètres de calcul du coût du mètre cube d'eau pompé

Libellé	SPPV	SPT
ATA (FCFA)	284 928	108 903
CFA (FCFA)	136 017	484 585
CV (%)	28	13
CETA (FCFA)	420 945,13	593 489
Volume d'eau annuel (m ³)	7 350	7 350
CMEP (FCFA/m ³)	57,27	80,75

Il ressort de l'analyse de ce tableau que le montant d'amortissement total annuel du système de pompage thermique ne représente que 38,22% de celui du pompage solaire. Ceci corrobore les résultats de nombreuses études qui ont souligné le coût élevé des investissements initiaux pour l'acquisition des SPPV (Sonou et Abric, 2010 ; Maurya *et al.*, 2015 ; Hossain, 2015 ; Aliyu *et al.*, 2018 ; Shouman *et al.*, 2018 ; Deli *et al.*, 2018). Cela est souvent considéré comme une contrainte qui rend difficile l'accessibilité de ces systèmes de pompage photovoltaïque aux petits producteurs (Wydra *et al.*, 2019a ; Wydra *et al.*, 2019b ; Diop *et al.*, 2020 ; Wazed *et al.*, 2018). Par ailleurs, les CMEP obtenus sont similaires à ceux de Nonbondieu *et al.* (2018) mais supérieurs à ceux de Ibrik (2020) pour le cas du SPPV. Par contre, pour le SPT, les CMEP sont nettement inférieurs à ceux présentés par World Bank (2018) et ceux de Ibrik (2020). Toutefois, les CMEP du SPT sont plus élevés que ceux du SPPV bien que son coût d'investissement initial soit le plus faible. Cela se justifie par la très faible charge de fonctionnement annuelle du système solaire qui a correspondu à seulement 28% de celle du système thermique, conduisant ainsi à une charge d'exploitation totale annuelle faible (soit 71% de celle du système thermique). Ce qui est en harmonie avec les résultats obtenus par Shinde et Wandre (2015) et Ibrik (2020).

La Figure 2 présente la variation des valeurs simulées du CMEP du système de pompage thermique en fonction du coût de l'essence.

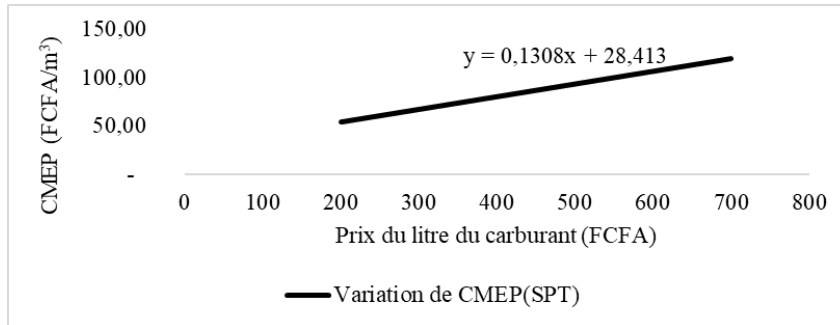


Figure 2. Valeurs simulées du CMEP avec le SPT en fonction du prix de l'essence

On observe que le CMEP s'accroît avec l'augmentation du prix de l'essence. Par ailleurs, on constate que le CMEP du SPT correspond à celui du SPPV seulement si le prix du litre de l'essence équivaldrait à 220,63 FCFA, ce qui est très loin des réalités du marché (minimum 250 FCFA le litre sur le « marché noir »).

4. Conclusion

Cette étude présente les performances du système de pompage solaire comparativement à celles du pompage thermique du périmètre irrigué de Soumarana au Niger. La marge brute des principales cultures a été meilleure en système de pompage solaire. De même, malgré son coût d'investissement initial plus élevé, le pompage solaire s'est avéré moins cher, avec un coût du pompage du mètre cube d'eau de seulement 71% de celui du système de pompage thermique. Les équipements de pompage solaire pourraient de ce fait constituer une bonne alternative aux producteurs dudit périmètre irrigué. Cela est aussi valable pour l'ensemble de la zone du Sahel où les coûts liés à la consommation d'énergie pour la mobilisation et la distribution de l'eau d'irrigation sont l'une des principales charges de production. Ces charges sont difficilement supportables et constituent un des facteurs limitants à l'essor des cultures irriguées notamment au Sahel avec des producteurs à faible capacité financière. Elles conditionnent la rentabilité et la durabilité des systèmes de production irriguées. Toutefois, une étude technico économique plus poussée doit être conduite afin d'approfondir les résultats.

Conflit d'intérêt

Les auteurs déclarent qu'il n'existe pas de conflits d'intérêts entre eux ni par rapport à aucune information de cette étude

References:

1. Abdoul Habou, AZ., Boubacar, MK, Abam, T. (2016). Les systèmes de production agricoles du Niger face au changement climatique : défis

- et perspectives. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 (3), 1262-1272. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i3>.
2. Aliyu, M., Hassan, G, Said, SA, Siddiqui, MU, Alawami, AT et Elamin, I.M. (2018). A review of solar-powered water pumping systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 87, 61-76. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.010>.
 3. Andres, L., Dambo, L, Bode, S, Babousouna, A, Populin, M, Yamba, B et Lebailly, P. (2019). Irrigated food system in Maradi, Republic of Niger: A compararison between operating accounts. *VII International Scientific Agriculture Symposium*, Jahorina october 06-09, 2019. 2763-2767
 4. Banque Africaine de Développement. (2018). Perspectives économiques en Afrique de l'Ouest. https://www.afdb.org/fileadmin/uploads/afdb/Documents/Publications/2018AEO/Perspectives_economiques_en_Afrique_2018_Afrique_de_l'Ouest.pdf
 5. Banque mondiale. (2009). Développement de l'irrigation au Niger, Diagnostics et options stratégiques, Washington DC, 139p. <http://documents.banquemondiale.org/curated/fr/567611468096572899/pdf/493790FRENCH0p1ent0irrigation0niger.pdf>
 6. Belaud, G., Mateos, L, Aliod, R, Buisson, MC, Faci, E, Gendre, S, Ghinassi, G, Gonzales Perea, R, Lejars, C, Maruejols, F, et Zapata, N. (2020) IRRIGATION AND ENERGY: ISSUES AND CHALLENGES. *Irrig. and Drain*, 69 (S1), 177– 185). <https://doi.org/10.1002/ird.2343>.
 7. Bouzidi, B., Malek, A et Haddadi, M. (2006). Rentabilité économique des systèmes de pompage photovoltaïques. *Revue des Energies Renouvelables*, 9 (3), 187 – 197. <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/118188>
 8. Carrillo-Cobo, M., Camacho-Poyato, E, Montesinos, P et Rodríguez Díaz, J. (2014). Assessing the potential of solar energy in pressurized irrigation networks. The case of Bembézar MI irrigation district (Spain). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12 (3), 838-849. doi:<http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2014123-5327>
 9. Chandel, S.S., Naik, MN et Chandel, R. K. (2015). Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 49, 1084-1099.
 10. Dalla K., Abdoua M., Maman Abdou M., Guéro M., Ibrahima Inkaye O. et Patrick D. (2016). Résultats du conseil de gestion à l'exploitation

- agricole pour la culture du poivron / campagne 2015 – 2016, Partie (1).
Chambre Regionale Agriculture de Diffa. Niger.
11. Deli, K., Djongyang, N, Njomo, D et Tamba, J. (2018) “Photovoltaic water pumping systems as alternative to gasoline water pumping systems in agriculture in Cameroon: CO2 emissions assessment”, *Journal of Renewable Energies*, 21(2), 279-294. Available at: <https://revue.cder.dz/index.php/rer/article/view/688>
 12. Diop, L., Sar, A, Diatta, I, Wane, YD, Diallo, DM, Bobian, A, Seck, MS, Mateos, L et Lamaddalena, N. (2020). TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF SOLAR IRRIGATION PUMPING SYSTEM: A REVIEW. *Knowledge-Based Engineering and Sciences*, 1 (01), 1–22. <https://doi.org/10.51526/kbes.2020.1.01.1-22>
 13. Ehrnrooth, A. Dambo, L. Jaubert, R. (2011). Projets et programmes de développement de l’irrigation au Niger (1960-2010) : Eléments pour un bilan. Centre d’Etude et d’Information sur la Petite Irrigation (CEIPI). 115p.
 14. Hartung, H., et Pluschke, L. (2018). The Benefits and Risks of Solar-Powered Irrigation-A Global Review. Rome, Italy. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. <https://www.fao.org/3/I9047EN/i9047en.pdf>
 15. Hossain, M.A., Hassan, MS, Mottalib, MA et Ahmed, S. 2015. Technical and economic feasibility of solar pump irrigations for eco-friendly environment. *Procedia Engineering*, 105, 670 – 678. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.05.047>
 16. Ibrik, I.H. (2020). Techno-economic Feasibility of Energy Supply of Water Pumping in Palestine by Photovoltaic-systems, Diesel Generators and Electric Grid. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 10 (3), 69-75. DOI: <https://doi.org/10.32479/ijeep.8816>
 17. Isaías, D.H., Cuamba, BC, Leão, A. J. (2019). A Review on Renewable Energy Systems for Irrigation in Arid and Semi-Arid Regions. *Journal of Power and Energy Engineering*, 07, 21-58.
 18. Maïga Djibril I.G. et Boubacar S. (2021). Analyse de la Rentabilité Économique du Maraîchage d’hivernage dans les Communes d’Imanan et de Tagazar au Niger. *European Scientific Journal, ESJ*, 17(17), 362. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n17p362>
 19. Maurya, V.N., Ogubazghi, G, Misra, BP, Maurya, AK et Arora, D.K. (2015). Scope and Review of Photovoltaic Solar Water Pumping System as a Sustainable Solution Enhancing Water Use Efficiency in Irrigation. *American Journal of Biological and Environmental Statistics*, 1 (1), 1-8. doi: 10.11648/j.ajbes.20150101.11

20. Ministère de l'Agriculture. (2015). Stratégie de la petite irrigation au Niger (SPIN). https://reca-niger.org/IMG/pdf/SPIN_FINALE_Niger.pdf
21. Nazoumou, Y. Favreau, G. Adamou, M. M. et Maïnassara, I. (2016). La petite irrigation par les eaux souterraines, une solution durable contre la pauvreté et les crises alimentaires au Niger. *Cahiers Agricultures* (vol. 25, No 1). <https://doi.org/10.1051/cagri/2016005>
22. Noubondieu, S., Flammini, A et Bracco, S. (2018). Costs and benefits of solar irrigation systems in Senegal. Dakar, FAO. 28 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://www.fao.org/documents/card/es/c/CA2209EN/>
23. PARM. (2016). Evaluation des risques agricoles. Focus sur l'accès des petits producteurs aux services financiers, aux marchés et à l'information. Rapport Final. https://p4arm.org/app/uploads/2017/03/niger_risk-assessment-study_full-report.pdf.
24. Rocamora, C., Vera, J, et Adadía, R. (2013). Strategy for Efficient Energy Management to solve energy problems in modernized irrigation: analysis of the Spanish case. *Irrigation Science*, 31(5), 1139-1158. <https://doi.org/10.1007/s00271-012-0394-5>
25. Shah T., Rajan A, Rai GP, Verma, S et Durga, N. (2018). Solar pumps and South Asia's energy-groundwater nexus: exploring implications and reimagining its future. *Environ. Res. Lett*, 13 (11). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae53f>
26. Shinde V.B. et Wandre, S.S. (2015). Solar photovoltaic water pumping system for irrigation : A review. *African Journal of Agricultural Research*, 10 (22), 2267-2273. DOI: 10.5897/AJAR2015.9879
27. Shouman, E.R., Ezz, H et Bakhoun, E.S. (2018). Economic Analysis of the Using of Traditional Fuel and Solar Energy to Power Irrigation Pumps in Egypt. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 38, 87-99. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/jera.38.87>
28. Sonou, M. et Abric, S. (2010). Capitalisation d'expériences sur le développement de la petite irrigation privée pour des productions à haute valeur ajoutée en Afrique de l'Ouest. Rapport Final. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/arid_fao_iwmi_practica_capitalisation_d_experiences_sur_le_developpement_de_la_petite_irrigation_privée_pour_des_productions_a_haute_valeur_ajoutée_en_afrique_de_l_ouest_2010.pdf
29. Tillie, P., Louhichi, K et Gomez., Y.P.S. (2019). Impacts ex-ante de la Petite Irrigation au Niger : Analyse des effets micro-économiques à l'aide d'un modèle de ménage agricole, EUR 29836 FR, Publications

- Office of the European Union, Luxembourg, 2019, doi:10.2760/70964, JRC115744.
30. Wazed, S. M., Hughes, BR, O'Connor, D et Calautit, J.K. (2018) A review of sustainable solar irrigation systems for Sub-Saharan Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81 (Part 1), 1206-1225. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.039>
 31. WFP. 2010. Chocs et vulnérabilité au Niger : Analyse des données secondaires. Rapport global. Siège social : Via C.G. Viola 68, Parco de Medici, 00148, Rome, Italie. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/94F37FF998FE15CD852577D60061C898-Rapport_complet.pdf
 32. World Bank, 2018. Solar pumping. The Basics. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/880931517231654485/pdf/123018-WP-P159391-PUBLIC.pdf>
 33. Wydra, K., Becker, P et Aulich, H. (2019a). Sustainable solutions for solar energy driven drinking water supply for rural settings in Sub-Saharan Africa: a case study of Nigeria, *J. Photon. Energy*, 9(4), doi: 10.1117/1.JPE.9.043106
 34. Wydra, K., Jaskolski, M, Wagner, L et Mohamed, E.S. (2019b). Nexus approach to solar technology for energy and water supply for sustainable rural development in Egypt: a review. *J. Photon. Energy*, 9 (4), doi: 10.1117/1.JPE.9.043108