

Étude de faisabilité d'une unité de dessalement d'eau de mer alimentée par énergie solaire pour de petites communautés isolées

Daniel R. ROUSSE*, Vincent DEBLOCK, Misagh IRANDOOSTSHAHRESTANI, Patrick TURCOTTE

Groupe de recherche en technologies de l'énergie et en efficacité énergétique (t3e),
École de technologie supérieure, 1100, rue Notre-Dame Ouest, Montréal, Canada H3C 1K3
*(auteur correspondant : daniel.rousse@etsmtl.ca)

Résumé - La croissance démographique et l'évolution des modes de consommation intensifient l'utilisation d'eau douce, même en régions isolées. Les solutions envisageables aux pénuries croissantes consistent à diminuer la consommation et/ou à augmenter l'offre à l'aide de sources non conventionnelles comme le dessalement d'eau de mer. Cette étude numérique de deux types de bassins solaires, conventionnel et double étage, montre que la production par m² des deux bassins solaires reste relativement faible. Néanmoins, lorsque l'espace au sol est disponible, le bassin solaire apparaît comme une source d'eau potable robuste, résiliente et abordable à petite échelle.

Nomenclature

c_p	capacité thermique massique, J/kg.K	k	conductivité thermique, W/m.K	Indices	
e	épaisseur, m	l, L	distance, m	a	annuel
g	accélération de la pesanteur, m/s ²	m	masse, kg	amb	ambient
Gr	nombre de Grashof	Nu	nombre de Nusselt	B	direct
h	coefficient de transfert de chaleur, W/m ² .K	n	jour de l'année	b	bassin
h_{fg}	enthalpie spécifique d'évaporation, J/kg	n^*	constante	c	caractéristique
h_f	enthalpie spécifique du liquide saturé, J/kg	N	nombre d'années	cond	conduction
h_g	enthalpie spécifique de la vapeur saturée, J/kg	p	pression partielle, Pa	conv	convection
i	taux d'intérêt, %	P	pression, Pa	D	diffus
I	irradiance, W/m ²	Pr	nombre de Prandtl	ev	évaporation
		q	transfert de chaleur, W	fw	eau d'alimentation
		Ra	nombre de Rayleigh	g	vitre
		t	taux d'actualisation, %	h	horaire
		T	température, °C	in	intérieur
		V	vitesse, m/s	is	isolant
				l	inférieur

1. Introduction

Bien que l'eau douce soit un élément vital à la survie, cette ressource représente seulement 2,5 % de toute l'eau sur Terre, face aux 97,5 % occupés par l'eau salée. Parmi les 17 objectifs de développement durable (ODD) de l'ONU, l'ODD 6 a pour mission de « garantir l'accès de tous à des services d'alimentation en eau et d'assainissement gérés de façon durable » alors que les enjeux autour de l'eau ne cessent de croître. D'un côté, la quantité d'eau douce disponible diminue, que ce soit par le réchauffement climatique qui accélère l'évaporation, entraîne la fonte des glaciers et augmente le niveau de la mer, ou bien par la pollution, principalement les rejets industriels, agricoles et domestiques. De l'autre côté, la pression démographique entraîne une augmentation des besoins et donc de la consommation. Cet écart entre l'offre et la demande, qu'on appelle pénurie d'eau ou stress hydrique, pose de nombreux risques, comme la

transmission de maladies tel le choléra, des décès prématurés, des mouvements migratoires ou encore des conflits directement liés à l'accès à l'eau [1].

L'objectif principal du projet dont cet article fait l'objet consiste donc à concevoir une unité de dessalement d'eau de mer alimentée par de l'énergie solaire, de manière à réduire les coûts et l'empreinte environnementale, et de vérifier ses performances à l'aide d'un outil de simulation numérique. Cette unité sera destinée à la production d'eau potable pour de petites communautés isolées (c'est-à-dire qui ne sont pas raccordées à un système fiable de distribution d'eau potable, et pour lesquelles les options d'alimentation en eau potable sont limitées et/ou coûteuses) situées en bordure de mer.

Cet article est découpé en quatre sections : 1) une brève revue de littérature qui permet d'exposer les principaux articles sur l'état des connaissances actuelles sur le dessalement ; 2) la méthodologie employée pour répondre aux objectifs du projet ; 3) certains des résultats obtenus, en mettant l'accent sur les aspects techniques et économiques ; et 4) une analyse plus globale qui aborde les enjeux environnementaux et sociaux liés à ce cas d'étude. Une conclusion vient clore cet article.

2. Revue de la littérature abrégée

Deux grandes familles de procédés de dessalement existent : celles avec changement de phase de l'eau, et celles sans changement de phase. La présente revue ne peut mentionner que quelques références aux technologies disponibles et propose plutôt ensuite des références sur l'état du dessalement dans le monde. Le Tableau 1 présente quelques-unes des études revues afin de préparer cet article.

Avec changement de phase		Sans changement de phase	
Procédé	Référence	Procédé	Référence
Distillation à multiples effets	Guimard, 2019 [2],	Osmose inverse	Kim, 2019 [8]
Distillation flash	Darawsheh et al., 2019 [3]	Électrodialyse	Akther, Habib, Qamar, 2018 [9]
Compression de vapeur	Jorge R. Lara, 2005 [4]	Nanofiltration	Wafi et al., 2019 [10]
Congélation	Kadi & Janajreh, 2017 [5]	Osmose directe	McCutcheon et al., 2019 [11]
Distillation par membrane	Saadat et al., 2018 [6]	Échange d'ions	Subban, 2019 [12]
Dessalement solaire direct	Chauhan et al., 2021 [7]		

Tableau 1 : Les procédés de dessalement avec et sans changement de phase

Pour dresser un état des lieux de la situation actuelle du dessalement dans le monde, quelques études récentes, dont plusieurs parues en 2023, peuvent être recommandées [13-16]. Le format d'un article de conférence ne permet pas une discussion approfondie de l'état de l'art sur le dessalement. Toutefois, ce qu'il faut retenir est qu'en raison de l'importance prépondérante de l'eau pour l'humanité et des croissantes difficultés d'approvisionnement abordées en introduction, ce domaine connaît une activité de recherche exceptionnelle, comme en témoignent les 1580 publications de type « *review papers* » et plus de 12 000 articles de recherche disponibles sur Elsevier seulement en 2021 et 2022.

3. Méthodologie

3.1. Données

Afin de choisir un lieu pour simuler le système de dessalement parmi les 15 pays non enclavés les plus exposés au risque de stress hydrique, la méthode employée fut une comparaison multicritère de différents pays selon trois indicateurs : 1) le stress hydrique ; 2)

l'Indice de développement humain (IDH) ; et 3) le taux de mortalité attribué à une alimentation en eau insuffisante, un assainissement inadéquat ou une hygiène insalubre. Ainsi, la modélisation est effectuée pour la ville d'Assab, en Érythrée.

Quatre sources différentes de données météorologiques ont été sélectionnées afin de les comparer (Climate-One Building ; European Commission, SoDa, RETScreen) : puis un fichier météorologique horaire type fut constitué. 50 L/j/personne sont recommandés comme volume minimal pour assurer un risque moyen pour la santé (100 L/j/p est optimal alors que 20 L/j/personne présente un risque élevé). En dessalement, il est également important de connaître les caractéristiques de l'eau de mer locale : ici, une salinité moyenne de 35 g/L est assumée.

Parmi les technologies inventoriées au Tableau 1, le dessalement solaire direct s'avère le plus approprié pour de petites communautés isolées sises en bordure de mer. Deux types de bassin sont étudiés : la Figure 1 et la Figure 2 illustrent schématiquement les transferts thermiques associés au bassin conventionnel à un étage et à deux étages avec vitrage simple. Dans les deux cas, la surface horizontale du collecteur est de 2m x 0,5 m ou 1 m² d'emprise au sol.

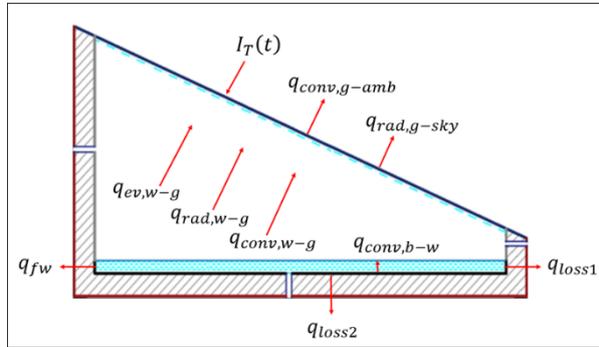


Figure 1 : Bilan sur bassin conventionnel

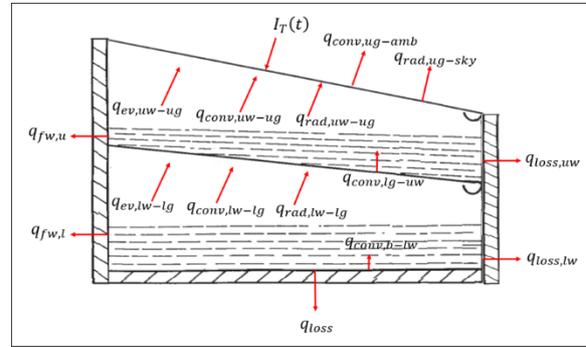


Figure 2 : Bilan sur bassin à deux étages

Le bilan d'énergie sur le couvercle vitré (indice g) du bassin conventionnel est :

$$m_g c p_g \frac{dT_g}{dt} = I_T(t) \alpha_g A_g + q_{conv,w-g} + q_{ev,w-g} + q_{rad,w-g} - q_{conv,g-amb} - q_{rad,g-sky} \quad (1)$$

Le bilan à la surface de l'eau salée (indice w) est alors :

$$m_w c p_w \frac{dT_w}{dt} = I_T(t) \tau_g \alpha_w A_w + q_{conv,b-w} - q_{conv,w-g} - q_{ev,w-g} - q_{rad,w-g} - q_{fw} - q_{loss1} \quad (2)$$

Le bilan sur le volume du bassin (indice b) est :

$$m_b c p_b \frac{dT_b}{dt} = I_T(t) \tau_g \tau_w \alpha_b A_b - q_{conv,b-w} - q_{loss2} \quad (3)$$

Chacun des termes est familier au thermicien et le lecteur désirant obtenir l'ensemble du modèle mathématique comportant 49 équations est invité à contacter les auteurs. Un bilan semblable peut être explicité pour le bassin illustré à la Figure 2.

3.2. Dimensionnement

Les résultats de productivité annuelle moyenne du système de dessalement sont obtenus en kg/m²/jour, ce qui permet ensuite de déterminer la surface au sol nécessaire pour subvenir aux besoins d'une communauté entière.

Les équations (4) et (5) permettent d'obtenir la productivité horaire, en kg/m²/h, pour le bassin simple et le bassin à double étage, respectivement

$$\dot{m}''_h = 3600 \times \frac{q_{ev,w-g}}{A_w h_{fg}} \quad (4)$$

$$\dot{m}''_h = 3600 \times \left(\frac{q_{ev,lw-lg}}{A_{lw} h_{fg}} + \frac{q_{ev,uw-ug}}{A_{uw} h_{fg}} \right) \quad (5)$$

La production unitaire quotidienne, en kg/m², est simplement la somme cumulée de l'équation (4) ou (5) sur 24 heures. L'efficacité de récupération quotidienne des bassins est définie pour les deux types de bassin telle que :

$$\eta_d = 100 \times \frac{\sum_1^{24} \dot{m}''_h h_{fg}}{\sum_1^{24} I_T(t) \Delta t} \quad (6)$$

Par ailleurs, il importe de spécifier les hypothèses formulées lors de l'implantation pour les deux types de bassins (Figure 1 et Figure 2): 1) Il n'y a aucune fuite d'air et le bassin est étanche à l'eau ; 2) La vapeur d'eau ainsi que l'air sec agissent comme des gaz parfaits ; 3) Il n'y a pas de gradients de température selon l'axe vertical, la température est considérée comme uniforme dans l'enceinte et au départ les températures de toutes les surfaces sont égales à la température ambiante ; 4) Les surfaces de l'eau et du bassin sont d'égales dimensions ; 5) La conduction est négligée dans la vitre et dans la plaque absorbante, en raison de leurs faibles épaisseurs et la condensation n'a lieu que sur la surface interne de la vitre, qui est supposée propre ; 6) Pour un bassin profond, la réduction de masse d'eau due à l'évaporation est négligeable. On suppose donc que la masse évaporée est continuellement remplacée et que le volume d'eau dans le bassin est ainsi constant. L'eau remplacée est à température atmosphérique et échange de la chaleur avec l'eau du bassin.

Pour chaque bassin, le modèle mathématique a été développé puis implanté sur l'outil MATLAB. Ce modèle permet de résoudre les systèmes d'équations différentielles ordinaires présentés partiellement plus haut, de manière à obtenir les températures des différents composants du bassin solaire (vitre-g, eau-w et plaque absorbante du bassin-b) et en déduire sa productivité instantanée et cumulée, ainsi que son efficacité en fonction du temps.

Habituellement, il est conseillé d'utiliser le solveur *ode45*, basé sur une formule explicite de Runge-Kutta (d'ordre 4 et 5), plus précisément la méthode Dormand-Prince. Néanmoins, ce solveur n'est pas recommandé dans le cas d'un système d'équations différentielles dit « raide », pour lequel le solveur *ode15s* est un choix plus approprié. Mais il s'agit cette fois d'une méthode implicite. Ce solveur calcule la solution à l'instant $t + \Delta t$ en prenant en compte la valeur de la fonction en t et en $t + \Delta t$. Cette méthode utilise également un pas de temps variable, qui permet donc d'alléger les temps de calcul.

Le moteur du système est l'irradiance, I_T en W/m², qui percute la surface vitrée inclinée. La méthodologie employée pour calculer I_T est tirée du livre classique de Duffie et Beckmann. Les équations sont implantées dans TRNSYS en pré-calcul des apports radiatifs qui est employé pour alimenter le code MATLAB. La théorie et les équations relatives aux modèles de rayonnement ne sont pas reproduites ici puisqu'elles sont standards.

3.3. Estimation des coûts

Pour une communauté, il est également important d'étudier la viabilité économique d'un bassin solaire tout au long de sa durée de vie afin de justifier l'intérêt de cette solution potentielle. Le coût de l'eau produite dans un bassin solaire dépend de plusieurs paramètres, principalement l'investissement initial (CAPEX), les coûts d'opération, de maintenance, de stockage et de réparation, la durée de vie du bassin et sa capacité de production d'eau douce. Habituellement, le dessalement d'eau de mer implique des coûts d'opération (OPEX) élevés en raison d'un large coût de l'énergie. Cependant, dans le cas du bassin solaire, l'énergie est

directement puisée du rayonnement solaire et par conséquent ne coûte rien. Les coûts d'opération et de maintenance (O&M) du bassin solaire doivent être aussi bas que possible pour respecter les objectifs définis au début de l'étude. Il est intéressant de comparer le coût du bassin solaire avec d'autres approches, de manière à positionner son intérêt économique. Parmi les autres options possibles, on pense à l'acheminement d'eau douce en provenance d'une source conventionnelle, ou encore à l'utilisation d'une autre technique de dessalement.

On peut trouver le coût spécifique de production d'eau douce, CPL en \$/L, avec l'équation (7).

$$CPL = \frac{CAPEX \times \left[\frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \right] (1 + x\%) - y\% \times CAPEX \times \frac{i}{(1+i)^N - 1}}{1000 \times \frac{\dot{M}'_a}{\rho_w} \times A} \quad (7)$$

Le dénominateur de l'équation (7) désigne la production annuelle moyenne, en L/an, que l'on peut exprimer en fonction de la production annuelle massique par unité de surface, \dot{M}'_a , la densité de l'eau, ρ_w , ainsi que de la surface du bassin solaire étudié, A .

Le premier terme du numérateur désigne les coûts fixes annuels, en \$/an, que l'on exprime en fonction du CAPEX du bassin solaire étudié, en \$, du taux d'intérêt i et de la durée de vie estimée du système, N , en années. $FAC = CAPEX \times [f(i, N)]$. Le terme $x\%$ indique que les coûts annuels de maintenance et opération, en \$/an, sont exprimés en pourcentage des coûts fixes annuels. $O\&M = x\% \times CAPEX \times [f(i, N)]$.

Le dernier terme du numérateur désigne la valeur résiduelle annuelle du bassin solaire étudié, que l'on exprime en fonction de VR , la valeur résiduelle du bassin solaire à la fin de sa durée de vie, en \$, ainsi que d'un facteur de fonds d'amortissement. Ici, VR est exprimé comme un pourcentage du CAPEX du bassin solaire étudié i.e. $VR = y\% \times CAPEX$.

4. Résultats choisis

Dans le cadre de ce projet, le bassin solaire est orienté vers le sud puisque la déclinaison magnétique, δ_{mag} , est très faible à Assad. Les besoins en eau potable étant supposés constants durant l'année, la valeur de l'angle d'inclinaison de la vitre, β , est égale à la valeur de la latitude φ de manière à obtenir une irradiance optimale à l'année. Cette inclinaison est suffisamment importante pour permettre l'écoulement de l'eau condensée. Le 20 septembre et le 21 décembre ont été sélectionnés pour les simulations, car ces journées fournissent respectivement un fort et un faible ensoleillement. Avec ces paramètres choisis, l'outil TRNSYS peut alors extraire et lire le fichier EPW fourni et donner en sortie l'irradiance sur plan incliné pour les deux journées types sélectionnées.

4.1. Validation

Avant de s'intéresser aux résultats obtenus à la suite de l'utilisation des modèles MATLAB implantés, il convient de comparer les résultats des simulations numériques. Les résultats ne sont pas présentés ici. L'adéquation avec la première étude [17] est correcte avec des écarts maximaux de 10%, et l'écart ne dépasse pas 2% dans le cas des résultats proposés dans une autre étude [18].

4.2. Quelques résultats pour la ville d'Assab, Érythrée

Le Tableau 2 présente un résumé des données requises pour effectuer les simulations.

Système	Paramètre	Valeur	Système	Paramètre	Valeur
Lieu	φ	13,00°	Eau du bassin	ϵ_w	0,02 m
	L_{loc}	42,74°		α_w	0,05
	L_{st}	45°		τ_w	0,9
	ρ_g	0,2		ϵ_w	0,95
Système global	L	2 m	Plaque absorbante du bassin	x	0,035
	l	0,5 m		cp_b	871 J/kg,K
	H	0,20 m		e_b	0,0015 m
	γ	0°		α_b	0,9
Vitre	β	13°	Isolant	ρ_b	2719 kg/m ³
	cp_g	840 J/kg,K		L_{is}	0,08 m
	e_g	0,003 m		k_{is}	0,04 W/m,K
	α_g	0,05	Autres	P_{ref}	101325 Pa
	τ_g	0,88		g	9,81 m/s ²
	ϵ_g	0,90		σ	5,67e-08 W/m ² ,K ⁴
	ρ_g	2500 kg/m ³			

Tableau 2 : Principales caractéristiques techniques des bassins simulés

La Figure 3 et la Figure 4 présentent l'évolution journalière des productivités instantanées et cumulées des deux types de bassin solaire pour les deux journées étudiées.

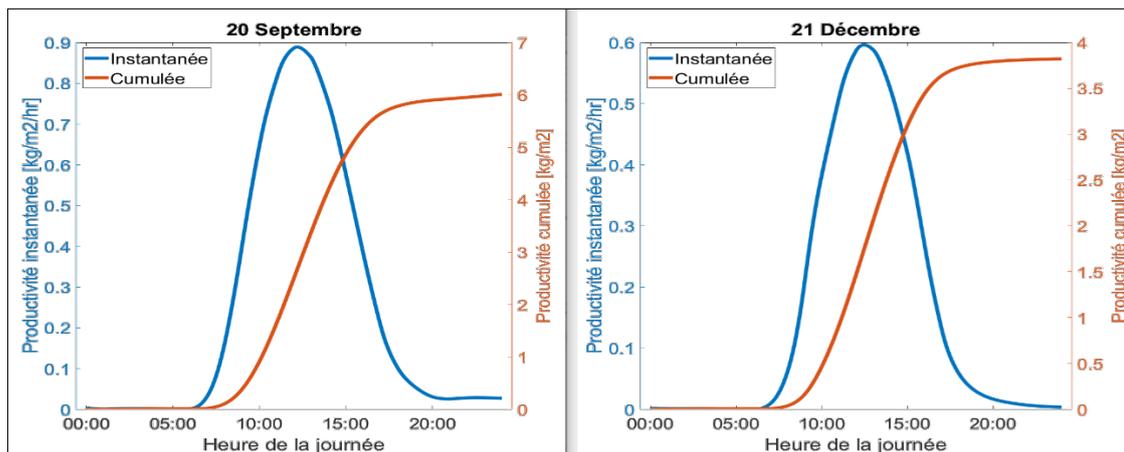


Figure 3 : Évolution des productivités pour le bassin conventionnel

Concernant le bassin conventionnel, sa productivité maximale est de 0,89 kg/h/m² aux environs de midi, le 20 septembre, avec une production journalière totale de 6 kg/m², contre 3,8 kg/m² pour le 21 décembre. Le 20 septembre, sa production commence entre 6h30 et 7h00 et se termine vers 19h45. Concernant le bassin à double étage, sa productivité maximale est de 0,93 kg/h/m² vers 13h30, le 20 septembre, avec une production journalière totale de 7,9 kg/m², contre 4,7 kg/m² pour le 21 décembre. Le 20 septembre, sa production commence entre 6h30 et 7h00 et se termine vers 20h00 pour le bassin inférieur, et de 9h00 à 21h00 pour le bassin supérieur. Le bassin 2 présente une augmentation de production journalière de 31,7 % par rapport au bassin 1 pour le 20 septembre, et de 23,7 % pour le 21 décembre. Une étude paramétrique a par la suite été effectuée. Les résultats en seront discutés lors de la présentation au congrès.

L'estimation des coûts en matériel et main d'œuvre pour les bassins simulés est de 200\$ CA pour le bassin conventionnel et de 295\$ CA pour celui qui comporte deux étages. Ces coûts de référence ont été obtenus en consultant des fournisseurs de Montréal et en supposant une très faible production. Ainsi, les coûts unitaires pourraient baisser avec une production plus

importante et une optimisation de la conception. Avec une durée de vie estimée à 10 ans et une valeur résiduelle de 20% des CAPEX pour les deux types de bassin, on obtient pour le bassin solaire conventionnel un coût spécifique de 21,2 \$ CA/m³ contre 25,5 \$ CA/m³ pour le bassin solaire à deux étages.

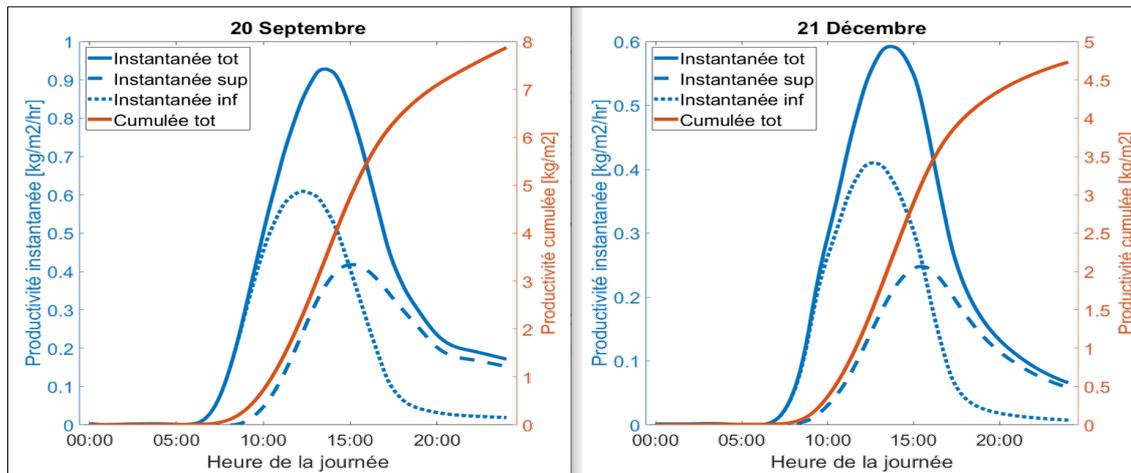


Figure 4 : Évolution des productivités pour le bassin à deux étages

5. Discussion

D'un point de vue technique, le bassin solaire semble être une solution viable pour fournir de l'eau potable à des communautés isolées en bordure de mer. De plus, les zones présentant un stress hydrique élevé bénéficient souvent d'un ensoleillement important.

La simulation indique que la production par m² de surface des deux bassins solaires reste relativement faible ; leur implantation demande donc qu'un grand espace soit disponible.

L'analyse démontre également que si le bassin à double étage offre une meilleure productivité que le bassin conventionnel, il présente néanmoins un coût spécifique plus élevé en raison de son coût supérieur de fabrication. On privilégierait ainsi le bassin conventionnel.

6. Conclusion

Cette étude a tenté de répondre aux besoins domestiques en eau potable d'une petite communauté isolée située en bordure de mer en effectuant une simulation numérique de deux types de bassins solaires afin de produire de l'eau douce.

De manière générale, la productivité d'un bassin solaire reste relativement faible ; la technologie demande donc de grandes surfaces pour combler entièrement les besoins d'une communauté. De plus, elle présente un coût spécifique élevé en comparaison avec d'autres technologies. Cependant, l'isolement et la taille de ces communautés sont souvent des freins à l'implantation des autres options qui nécessitent des productions importantes pour être rentables, faisant du bassin solaire une solution envisageable pour les communautés isolées de petite taille. La comparaison des coûts et de la production des deux technologies permet également de conclure que le bassin conventionnel est la meilleure approche, du moins dans le cas étudié.

Si l'espace au sol est disponible, le bassin solaire apparaît comme une source d'eau potable robuste, résiliente et ne générant que très peu de gaz à effet de serre, qui peut également être exploitée en complément à d'autres sources. Son utilisation contribuerait ainsi à libérer une

partie du temps consacré à la recherche et au transport d'eau potable dans plusieurs communautés, notamment par les femmes et les enfants.

Références

- [1] OMS. Eau. World Health Organisation. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>, 2019
- [2] L., Guimard, *Étude du comportement et modélisation d'une installation de dessalement d'eau de mer par distillation soumise à des régimes transitoires* [Université de Lyon]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02091474/document>, 2019.
- [3] I. Darawsheh, M. Islam, F. Banat, Experimental characterization of a solar powered MSF desalination process performance. *Thermal Science and Engineering Progress*, 10 (2019) 154-162.
- [4] Jorge R. Lara, *An advanced vapor-compression desalination system*, Ph.D. thesis, Texas A&M University, 2005
- [5] K.E. Kadi, I. Janajreh. Desalination by Freeze Crystallization : An Overview. *Int. J. Thermal & Environmental Engineering*, 15-2 (2017) 103-110
- [6] A.H. Saadat, M.S. Islam, F. Parvin, A. Sultana, A. (2018). Desalination Technologies for Developing Countries : A Review. *J. Sci. Res.* 10 (1), 77-97 (2018)
- [7] V.K. Chauhan, S. K., Shukla, J.V. Tirkey, P.K. Singh Rathore. A comprehensive review of direct solar desalination techniques and its advancements. *Journal of Cleaner Production*, 284, 124719 (2021)
- [8] J.A. Kim. A comprehensive review of energy consumption of seawater reverse osmosis desalination plants. *Applied Energy*, 16. (2019).
- [9] M. Akhter, G. Habib, S.U. Qamar, S. U.. Application of Electrodialysis in Waste Water Treatment and Impact of Fouling on Process Performance. *Journal of Membrane Science & Technology*, 08(02), (2018)
- [10] M.K. Wafi, N. Hussain, N., O. El-Sharief Abdalla, M.D. Al-Far, N. A. Al-Hajaj, K.F. Alzonnikah. Nanofiltration as a cost-saving desalination process. *SN Applied Sciences*, 1(7), 751 (2019)
- [11] J. McCutcheon, L. Xia, N.N. Bui. *Forward Osmosis*. In J. Kucera (Éd.), *Desalination Wiley*, (2019) 209-243.
- [12] C.V. Subban. Electrically regenerated ion-exchange technology for desalination of low-salinity water sources. *Desalination*, 465(2019) 38-43
- [13] Z.M.Ghazi and 5 other authors, An overview of water desalination systems integrated with renewable energy sources, *Desalination*, 542 (2022) 116063
- [14] I. Janajreh, H. Zhang, K. El Kadi, N.Ghaffour, Freeze desalination: Current research development and future prospects, *Water Research* 229, (2023) 119389
- [15] Y. Li and 6 other authors, Desalination by membrane pervaporation: A review, *Desalination*, 547 (2023) 116223
- [16] S. Sinha Ray and 5 other authors, A holistic review on how artificial intelligence has redefined water treatment and seawater desalination processes, *Desalination*, 547 (2023) 116221
- [17] Raj Kamal, M. D., Parandhaman, B., Madhu, B., Magesh Babu, D., & Sathyamurthy, R. Experimental analysis on single and double basin single slope solar still with energy storage material and external heater. *Materials Today: Proceedings*, S2214785320401610 (2021)
- [18] A.A. El-Sebaili, A. A., Al-Ghamdi, F.S., Al-Hazmi, A. S. Faidah, A. S.. Thermal performance of a single basin solar still with PCM as a storage medium. *Applied Energy*, 86(7), (2009)1187-1195

Remerciements

Les auteurs remercient M. Michel Trottier pour son soutien financier indéfectible des activités du Groupe de recherche et les organismes FRQ-NT et CRSNG pour le financement public accordé au groupe de recherche t3e.