

Dessalement de l'eau de mer par l'énergie solaire en vue de l'irrigation d'une serre agricole

¹T. Tahri, ¹A. Bettahar, ¹M. Douani, ²S.A. Abdul-Wahab, ²H. Al-Hinai, ³Y. Al-Mulla

Résumé - Les ressources limitées de l'eau douce dans des zones arides comme les pays du Moyen Orient et du Nord d'Afrique (MENA), ont amené à l'utilisation de l'eau de mauvaise qualité dans l'irrigation de l'agriculture. Cette eau de mauvaise qualité, peut réduire le rendement des récoltes et risque d'endommager l'environnement. L'agriculture représente 70% de la consommation des pays du MENA en matière d'eau douce. C'est ainsi que le dessalement est, par excellence, l'une des technologies qui s'est avérée efficace pour répondre aux besoins de l'agriculture, l'industrie et les besoins alimentaires et domestiques. Les procédés de dessalement par énergies solaire thermique et éolienne, sont des applications les plus prometteuses des énergies renouvelables pour le dessalement de l'eau de mer.

Mots clés— Dessalement, Eau de mer, Energie solaire, La serre.

1. INTRODUCTION

Le développement industriel et agricole des pays du tiers monde s'est accompagné d'une exploitation intense des ressources naturelles d'eau et d'une modification profonde des conditions environnementales. Depuis très longtemps et dans beaucoup de pays du tiers monde, des dommages quasi irréparables ont été infligés aux ressources hydriques du dépouillement du sol de sa couverture végétale par la prolifération des activités industrielles (déforestation, pâturage etc...) [1].

T. Tahri, Faculty of Sciences and Engineering Sciences, Hassiba Ben Bouali University, P.O. Box 151, Chlef 02000, Algeria Tel. +213 551591304; Fax +213 721794; email: ntahritoufik@yahoo.fr

A. Bettahar, Faculty of Sciences and Engineering Sciences, Hassiba Ben Bouali University, P.O. Box 151, Chlef 02000, Algeria Tel. +213 551591304; Fax +213 721794;

M. Douani, Faculty of Sciences and Engineering Sciences, Hassiba Ben Bouali University, P.O. Box 151, Chlef 02000, Algeria Tel. +213 551591304; Fax +213 721794;

S.A. Abdul-Wahab, College of Engineering, P.O. Box 33, Sultan Qaboos University, Al-Khod 123, Sultanate of Oman;

H. Al-Hinai, College of Engineering, P.O. Box 33, Sultan Qaboos University, Al-Khod 123, Sultanate of Oman;

Y. Al-Mulla, College of Engineering, P.O. Box 33, Sultan Qaboos University, Al-Khod 123, Sultanate of Oman;

L'eau est une nécessité de base pour toutes les espèces vivantes. Son importance s'est considérablement accrue avec l'augmentation des besoins alimentaires. Depuis

les temps les plus reculés, l'homme s'est concentré autour des rivières, des lacs et des réservoirs d'eau souterraine pour couvrir ses besoins hydriques afin de répondre à ses besoins domestique, agricole et industriel [2]. Tous les pays sont concernés par le problème de l'eau; les pays pauvres manquent d'eau et les pays développés la polluent. L'eau va devenir un formidable enjeu durant le siècle à venir [3].

Le problème de l'eau dans le monde est un problème globalement non pas de quantité, mais de qualité, ce qui vient à l'encontre des affirmations alarmistes de ceux qui prétendent qu'une époque viendra où le monde dans son ensemble manquera d'eau. L'épineux problème est sa répartition aussi bien à l'intérieur d'un pays qu'à travers le globe terrestre [1].

Dans la région de l'Asie Pacifique où vit 60% de la population mondiale, un habitant sur trois n'a pas accès à l'eau potable et le manque d'eau sera un facteur qui limitera la production de la nourriture dans ces régions. Quatorze pays africains souffrent du manque ou de la mauvaise qualité des eaux et les études les plus optimistes révèlent que le nombre de ces pays peut aller jusqu'à 25 en 2025, soit près de la moitié de la population future du continent noir [4]. La sauvegarde des ressources en eau est au premier rang des priorités.

2. Problématique de l'eau en Algérie

Il est important de prendre en considération la grande diversité du climat et son irrégularité dans l'espace et dans le temps. De par sa situation géographique particulière (région aride et semi aride), l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydro-climatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresse chronique. Les changements climatiques observés et la sécheresse qui a régné pendant plusieurs décennies en Afrique du nord, et particulièrement en Algérie, ont eu un impact négatif sur les ressources d'eau du pays.

En fait l'utilisation de l'eau dans l'irrigation représente plus de 55 % de toute l'eau douce consommée en Algérie et ne cesse toujours de s'amplifier (Fig. 1).

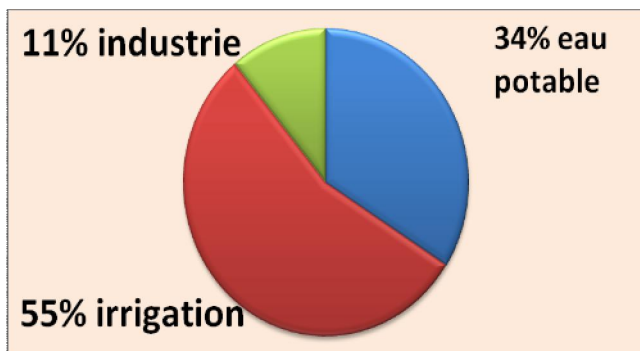


Fig. 1 Distribution des ressources hydriques en Algérie [20].

L'agriculture est la première victime de la sécheresse. Toutefois, environ 95 % des recherches dans le domaine du dessalement ont pour but d'améliorer les techniques de production d'eau potable.

3. Sources d'eau

L'eau est abondante sur terre ; elle représente 1,4 milliards de km³. Toutefois, l'essentiel est constitué d'eau de mer (97,2 %) et de glace (2,15 %) directement inutilisables. L'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ un million de km³. Mais, la répartition de cette eau est très inégale. En effet, dix pays se partagent 60 % des réserves d'eau douce et vingt-neuf autres principalement en Afrique et au Moyen-Orient, sont au contraire confrontés à une pénurie chronique d'eau douce. Dans ces pays, selon le Water Resources Institute, 250 millions d'individus, ne disposent pas aujourd'hui du minimum vital d'eau, défini à 1000 m³ par habitant et par an. Quatre cent (400) millions de personnes vivent en situation de stress hydrique, estimé entre 1000 et 2000 m³ par habitant et par an. On estime également que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau en 2050 compte tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau [5].

4. Evolution des besoins en eau

4.1. Les besoins de l'irrigation et l'élevage

L'agriculture et l'élevage sont de grands consommateurs d'eau douce. Ils ont un droit inaliénable sur l'eau car ils fournissent à l'homme ses aliments nutritionnels de survie : fruits, légumes, produits laitiers et carnés. Ils ont ainsi besoin de 1500 litres d'eau pour produire un kilogramme de blé et de seulement 400 litres pour un kilogramme de maïs. Ainsi, l'agriculture progresse grâce à l'irrigation qui utilise environ 70 % de l'eau douce disponible sur terre [6]. L'élevage, à son tour, permet aux éleveurs de bovins de s'enorgueillir d'un succès à forte valeur ajoutée en eau, là où il serait préférable de s'intéresser aux ovins afin de réduire la consommation hydrique [6]. Aussi, devraient-ils être adaptés aux richesses hydriques afin de ne pas les épuiser. Ils pourraient, par la seule volonté de leurs professionnels ou avec l'aide de l'Etat ou celle de la communauté internationale, promouvoir des techniques de

gestion parcimonieuse de l'eau telles que l'arrosage au goutte-à-goutte ou l'enfouissement de canalisations dans des zones de grande chaleur, afin de réduire sa consommation [7].

4.2. Les besoins du secteur l'industriel

L'industrie est également consommatrice d'eau douce, puisqu'elle absorbe quelques 20% des volumes disponibles. Elle utilise l'eau pour refroidir, dissoudre, séparer les constituants de ses productions, enfin pour éliminer les résidus. Elle a besoin de 100 litres pour un kilogramme de sucre, de 250 litres pour un kilo de papier, voire de 1000 litres pour un kilo d'aluminium. Malheureusement, pour produire toujours plus, l'industrie absorbe des volumes d'eau de plus en plus élevés qui pourraient au moins doubler dans les trente prochaines années à venir. Elle suscite également les craintes de la population face à une pollution accrue des rivières et des lacs, par suite des rejets résiduels chimiques. Elle exige, par conséquent, des mesures préventives, afin de renforcer le filtrage des eaux usées et de réduire la consommation d'eau douce. Une industrie, destinée à satisfaire les besoins du confort et du bien être de la population, ne doit pas être source d'insécurité alimentaire [7].

4.3. Les besoins alimentaire et domestique

Indispensable à la survie de son enveloppe corporelle, l'homme doit perpétuellement renouveler les 60 % de matières liquides qui s'évaporent ou qu'ils transpirent par les pores de sa peau. Il doit remplacer ses constituants chimiques disparus par un apport en eau, de manière interne par ingestion et de manière externe par mesure d'hygiène [6].

Sur les 6 milliards d'habitants de la terre, un milliard n'a pas accès à l'eau potable et 3 milliards sont privés d'installations sanitaires. De façon plus précise, ceux qui disposent de moins de 1700 m³ par personne et par an se trouvent dans une situation difficile, dénommée stress hydrique. Ceux qui ont accès à moins de 1000 m³ par an et par personne sont confrontés à la pénurie hydrique, source de désespérance et de dépérissement physique. Au-dessous de 1700 m³, les habitants connaissent des carences hydriques qui engendrent des carences nutritionnelles, conduisant inexorablement à des maladies souvent irréversibles. A l'horizon du prochain demi-siècle, 4 milliards de gens sur les 8 milliards de l'humanité devraient vivre dans des situations d'insuffisance hydrique [6]:

- 2,3 milliards dans le stress hydrique
- 1,7 milliard dans la pénurie hydrique.

L'objet d'un Etat doit donc garantir à sa population l'accès à une eau douce. [4]. La mission existentielle de l'Etat est d'assurer la sécurité globale de ses habitants, incluant bien évidemment la sécurité hydrique.

L'Algérie, située dans une zone semi aride, a toujours vécu un déficit en eau. Après l'indépendance, elle est directement confrontée au problème du manque d'eau à la fois pour l'agriculture, l'industrie et les besoins des populations. Ce problème se pose avec plus d'acuité encore

pour les deux tiers du territoire national où il tombe moins de 100 mm de pluie par an [8].

Pour faire face à cette pénurie annoncée d'eau, de nouvelles techniques de production d'eau potable devront être mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Une des techniques prometteuses pour certains pays est le dessalement de l'eau de mer ou des eaux saumâtres. Les techniques de dessalement de l'eau de mer sont opérationnelles depuis de nombreuses années. Mais leur coût (de 1 à 2 euros/m³) limite souvent leur utilisation aux pays pauvres. Cependant, dans les dernières années, la capacité des usines de dessalement s'est fortement accrue et les coûts de production du m³ ont connu de forts replis.

5. Principaux procédés de dessalement des eaux.

Il existe actuellement plusieurs procédés de dessalement, que l'on peut regrouper en trois grandes familles [5]:

- procédés de distillation et de congélation ;
- procédés membranaires ;
- procédés d'échange d'ions et d'extraction.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent.

On peut classer les méthodes de dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres comme suit (Fig. 2):

Fig. 2 Classification des différents procédés de dessalement [5]

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagée, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

- ❖ la prise d'eau de mer avec une pompe et une filtration grossière ;
- ❖ le prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte ;
- ❖ le procédé de dessalement lui-même ;
- ❖ le post-traitement avec une éventuelle reminéralisations de l'eau produite.

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre [5].

5.1. Procédés de dessalement par changement de phase

5.1.1. Procédés de distillation

Dans les procédés de distillation, il s'agit de chauffer de l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient pas de sels ; il suffit alors de condenser cette vapeur pour obtenir de l'eau douce liquide. Il s'agit en fait d'accélérer le cycle naturel de l'eau. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'Antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce sur les bateaux.

L'inconvénient majeur des procédés de distillation est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. En effet, pour transformer un kg d'eau liquide en un kg d'eau vapeur à température constante et à pression atmosphérique, il faut environ 2250 kilojoules. Afin de réduire la consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés à multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation, ont été mis au point.

Deux procédés se partagent le marché du dessalement thermique: le procédé de distillation à détentes successives (Multi-Stage Flash distillation MSF) et le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effets distillation MED) [9].

5.1.1.a. Procédé de distillation par détentes successives (MSF)

Ce procédé dit Flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation partielle instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore (Fig. 3) pour se condenser sur les tubes du condenseur placé en haut de l'enceinte et l'eau liquide est recueillie en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation. L'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène Flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détentes successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

Pour chauffer l'eau de mer jusqu'à 120°C, celle-ci circule d'abord dans les tubes des condenseurs des différents étages en commençant d'abord par le dernier étage où la température est la plus faible, elle est alors préchauffée en récupérant la chaleur de condensation de la vapeur d'eau. Elle est finalement portée à 120 °C grâce à de la vapeur à une température supérieure à 120°C produite par une chaudière ou provenant d'une centrale de production d'électricité.

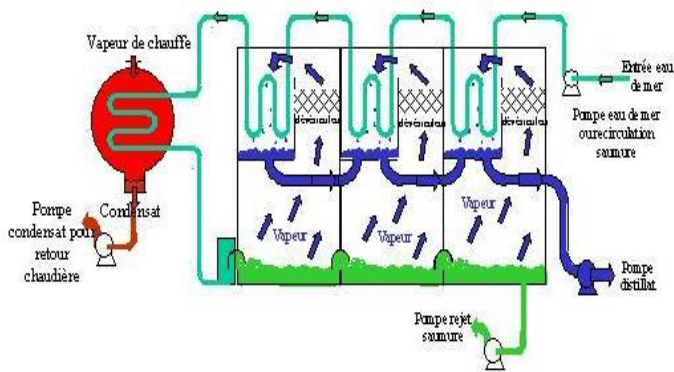


Fig. 3 Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) [9]

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique fournie à la chaudière. Cette énergie peut être peu coûteuse si on récupère de la vapeur basse pression à la sortie d'une turbine de centrale électrique. Il faut également fournir de l'énergie électrique pour alimenter les pompes de circulation de l'eau de mer.

5.1.1.b. Procédé de distillation à multiples effets (MED)

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, contrairement au procédé précédent, où elle est assurée par détente à travers les étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le deuxième effet et ainsi de suite (Fig. 4).

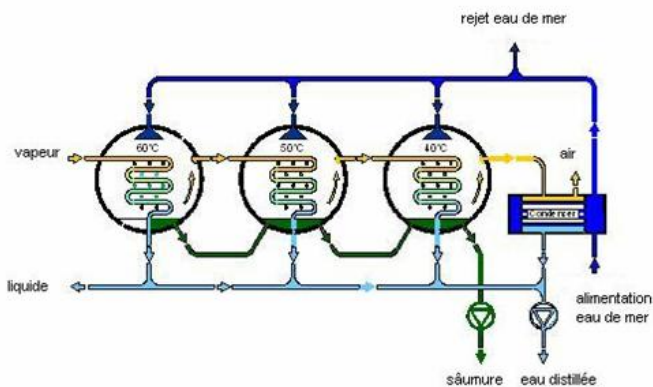


Fig. 4 Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets [9]

Alors, seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du

nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m³ d'eau douce produite).

5.1.1.c. Distillation par compression de vapeur (VC)

Son principe est celui d'une pompe à chaleur (Fig. 5). L'eau de mer est évaporée après avoir été préchauffée dans un échangeur récupérateur de chaleur.

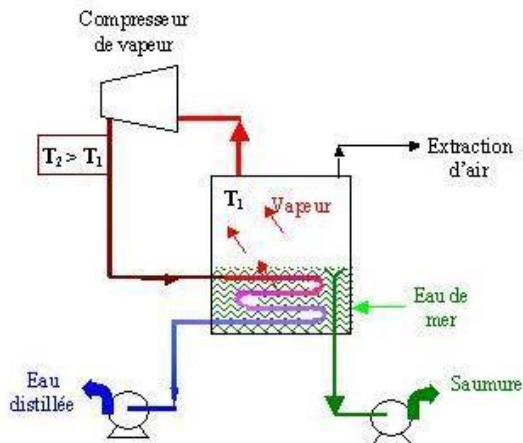


Fig. 5 Schéma de principe d'une unité d'évaporation avec compression de vapeur [9].

La vapeur d'eau produite est comprimée après avoir été débarrassée des gouttelettes entraînées par le séparateur. Sa pression ayant été élevée, la vapeur se condense alors à une température supérieure à celle qui règne dans l'évaporateur, grâce au transfert de la chaleur latente de condensation. L'eau douce est extraite ainsi que la saumure à travers tout le cycle d'évaporation-condensation.

V.1.2. Procédé de congélation

C'est un autre procédé de dessalement qui se base sur la différence entre les points de congélation de l'eau douce et de l'eau salée. Ce procédé est particulièrement intéressant dans les régions où la température de l'eau de mer est souvent inférieure à 0°C. Lorsque la température est suffisamment basse, on remplit des bassins à des profondeurs allant de 1 à 1,5 cm. Les cristaux de glace sont séparés de la saumure, lavés du sel puis fondus ; on obtient de l'eau douce [10].

5.2. Procédés membranaires

Les techniques dites de séparation par membranes, constituent une révolution dans le domaine du traitement de l'eau. Leur principe consiste non pas à éliminer chimiquement les microorganismes mais à les extraire physiquement. Elles n'utilisent aucun réactif chimique, sauf pour leur entretien. Très fiables, elles permettent de produire une eau très pure et de qualité constante [10].

5.2.1 Osmose inverse

L'osmose inverse est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action de pression (54 à 80 bars). Ce procédé fonctionne à température ambiante et n'implique pas

de changement de phase. Les membranes polymères utilisées laissent passer exclusivement les molécules d'eau et ne laissent pas passer les particules, les sels dissous, les molécules organiques de taille supérieure à 10^{-7} mm (Fig. 6). L'énergie requise par le procédé d'osmose inverse est uniquement de type électrique, consommée principalement par les pompes hautes pressions. La teneur en sels de l'eau osmosée est de l'ordre de $0,5 \text{ g.l}^{-1}$.

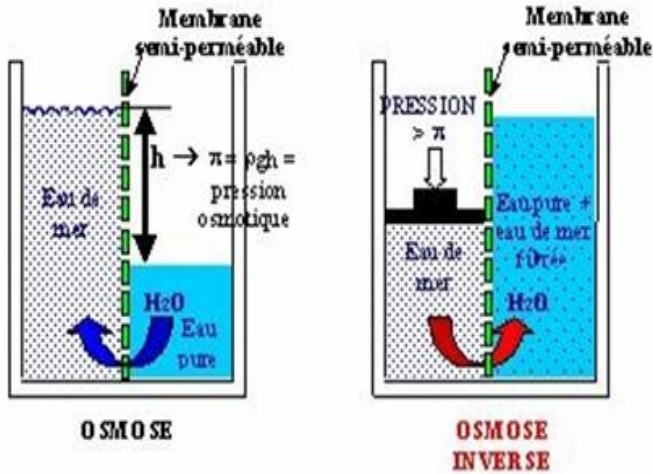


Fig.6 Principe de fonctionnement d'un osmoseur [5]

5.2.2. Electrodialyse

L'électrodialyse est une technique électromembranaire qui permet le transfert des ions à travers des membranes à perméabilité sélective. Le but de l'opération est d'extraire les sels d'une solution, d'où on l'obtient alors, d'un côté une solution saumure très concentrée et de l'autre une solution dessalée (Fig. 7).

Fig. 7 Unité d'électrodialyse alimentée en parallèle [5]

Sous l'effet d'un courant électrique appliqué dans les bacs externes, les ions Na^+ sont attirés vers l'électrode négative et les ions Cl^- vers l'électrode positive. En raison de la sélectivité des membranes, les ions Na^+ peuvent uniquement traverser les membranes cathodiques et les ions

Cl^- , traversent les membranes anioniques. On obtient de l'eau douce dans deux des quatre compartiments [5].

5.3. Dessalement solaire

Les régions les plus nécessitées en matière d'eau douce, sont également celles qui ont le rayonnement solaire le plus intense et le potentiel éolien le plus considérable. Pour cette raison, les procédés de dessalement par énergie solaire thermique et énergie éolienne, devraient être les applications les plus prometteuses des énergies renouvelables pour le dessalement de l'eau de mer [11].

Cependant, la situation actuelle est différente, puisque seulement 0,02% de la capacité globale de dessalement est produite par les énergies renouvelables [12]. Puisque les stations de dessalement par énergies renouvelables sont caractérisées par un coût d'opération insignifiant. Cette technologie est, d'autre part, appropriée à des stations de dessalement de petites tailles, particulièrement dans les régions arides éloignées et des îles, où l'approvisionnement en énergie conventionnelle est rare et onéreux [13; 14].

5.3.a. Distillateur solaire simple.

La technique de dessalement de l'eau de mer, exploitant l'énergie solaire en utilisant un distillateur simple, basée sur le principe de l'effet de serre n'est pas nouvelle; ce processus d'évaporation a été pour la première fois utilisée à grande échelle en 1872 à Las Salinas au nord du désert chilien. Le distillateur et le capteur solaire font partie de la même unité et l'énergie thermique n'est utilisée qu'une fois. Une telle installation se compose d'un bassin recouvert d'une couche noire absorbante et d'un recouvrement transparent en verre ou parfois en plastique incliné. L'augmentation de la température due à l'effet de serre fait réchauffer l'eau qui s'évapore (Fig. 8).

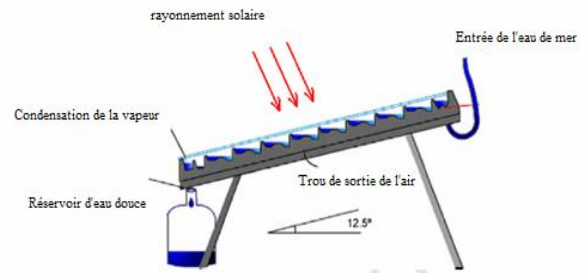


Fig. 8 Schéma d'un distillateur solaire simple [15].

La vapeur d'eau qui contient l'air chaud est refroidie par les conditions régnant dans le milieu ambiant pour se condenser au vitrage. Il y a formation de gouttes d'eau qui s'écoulent à la partie inférieure du vitrage dans une gouttière qui conduit au réservoir de stockage.

5.3.b. Distillateur solaire d'eau de mer à étages multiples avec récupération de chaleur

Contrairement au distillateur simple décrit précédemment, le système de distillation se compose ici de deux unités différentes (Fig. 9) :

- Source de chaleur (un capteur solaire ou de la chaleur provenant de la cogénération)
- Unité de distillation

Le distillateur est basé sur la construction d'un bâti constitué de plusieurs bassins contenant de l'eau saline, superposés les uns sur les autres qualifiés d'étages. Seul le bassin inférieur est alimenté en énergie thermique. Lorsque l'eau du bassin est réchauffée, elle s'évapore et se condense à la surface inférieure du bassin conique situé au-dessus. Il y a formation de gouttes d'eau qui s'écoulent vers une gouttière qui les conduit au stockage. A la condensation de la vapeur d'eau, l'énergie de transformation de phase, dite enthalpie d'évaporation, est libérée.

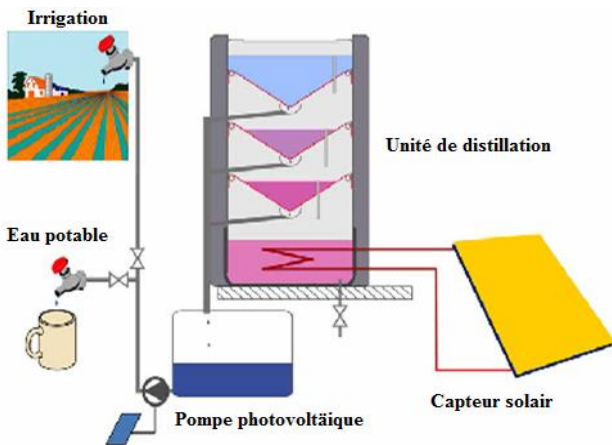


Fig. 9 Installation solaire de dessalement à étages multiples [16].

Cette énergie réchauffe l'eau contenue dans l'étage supérieur qui s'évapore à son tour et se condense à la surface inférieure de l'étage suivant et ainsi de suite. De cette manière, l'énergie, prévue pour réchauffer l'eau du bassin inférieur, est récupérée, du moins en grande partie, pour être plusieurs fois utilisée. Ce processus de récupération de chaleur a un effet multiplicateur sur la production d'eau potable.

5.3.c. Serres agricoles avec distillateur solaire intégré

Les serres combinées avec les distillateurs solaires représentent une alternative intéressante pour le développement de la culture de petite taille dans les endroits où on ne dispose que de l'eau saline ou de l'eau saumâtre. Un modèle de ce système a été construit et analysé par Chaïbi et col [16; 17], où la toiture de la serre a été configurée comme distillateur solaire (Fig. 10). Pendant le jour, l'eau saline est pompée d'un réservoir placé au-dessus du toit de la serre, d'où elle s'écoule sur la surface d'évaporation du distillateur dont la couverture supérieure est une feuille de verre. Alors que le fond est composé d'un matériau transparent partiellement léger, qui absorbe une quantité substantielle de la radiation solaire, mais transmet les longueurs d'onde qui sont favorables pour la photosynthèse de la végétation (le rayonnement actif photosynthétique, RAP :

rayonnement de longueur d'onde comprise dans l'intervalle 380-710 nm).

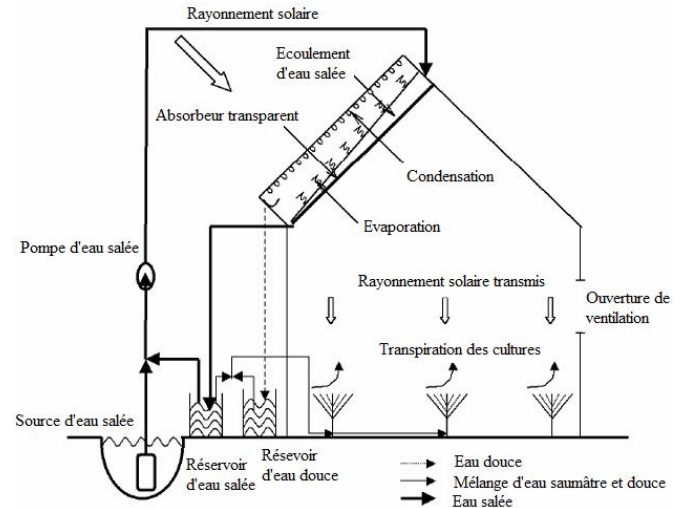


Fig. 10 Principe de la serre avec système de dessalement solaire intégré [17]

Puisque la majeure partie du rayonnement thermique a été absorbée dans le distillateur, la température de l'air à l'intérieur de la serre est abaissée, ce qui mène à améliorer le climat interne et diminuer la consommation de l'eau d'irrigation. La vapeur d'eau formée est condensée le long du mur intérieur de la couverture supérieure, puis emmagasinée dans un réservoir d'eau douce pour l'irrigation.

5.3.d Humidification-déshumidification en cycle ouvert

Dai et Zang [18] ont proposé un système de dessalement avec un cycle d'air ouvert, dans lequel l'eau de mer est chauffée par le soleil dans un collecteur puis pulvérisée sur le mur de l'humidificateur qui a la forme d'un nid d'abeilles (Fig. 11). De l'air est soufflé au travers de l'humidificateur, où il ressort chaud et humide. Il est ensuite canalisé vers la section de condensation, où il est refroidi. L'eau douce est ensuite stockée dans un réservoir.

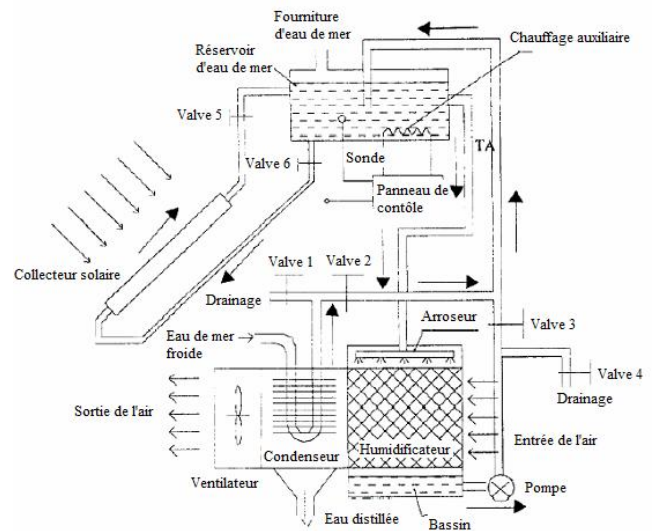


Fig. 11 Schéma de dessalement par humidification déshumidification en cycle ouvert [17]

5.3.e. Serre solaire de dessalement (SWG H)

La serre solaire de dessalement (SWG H) est un procédé facile à mettre en œuvre, offrant une solution peu coûteuse pour la production d'eau douce et la culture des sols. Elle répond également à trois préoccupations:

1. Assurer la croissance des végétaux
2. Produire l'eau douce nécessaire aux cultures
3. Climatiser

L'intérêt de la serre (Fig. 12) est double:

- Assurer localement une base alimentaire en nourriture fraîche
- Fixer les populations en valorisant leurs terres.

Fig. 12. Schéma descriptive de la serre solaire de dessalement de l'eau de mer [6]

6. Production d'eau douce par dessalement

Pour faire face à cette demande, le dessalement de l'eau mer (et à moindre échelle, celui des eaux saumâtres) est une solution attrayante et économique, contribuant à un développement durable des pays concernés et ce, pour plusieurs raisons :

- les immenses réserves d'eau de mer disponibles, et inépuisables ;
- la chute notable du coût de dessalement ;
- le fait que le dessalement apporte une solution aux besoins divers : usages domestiques et industriels, usages agricoles, traitement des eaux.

Il n'est donc pas surprenant que le marché de dessalement soit actuellement en pleine croissance (Fig. 13) avec un taux annuel d'environ 7 %.

Fig. 13. Capacité de production de l'eau douce par dessalement dans le monde [19].

7. Résultats et discussions

La figure (14) montre la variation de l'intensité du rayonnement solaire avec le temps. Les valeurs de l'intensité du rayonnement solaire sont représentées toutes les demi-heures pendant la période allant du 30 Décembre 2005 au 20 Janvier 2006. On remarque que les valeurs de l'intensité du rayonnement solaire sont très importantes seulement dans l'intervalle de 08h 00 de la matinée à 18h 00. Ces valeurs sont quasiment nulles pendant la nuit.

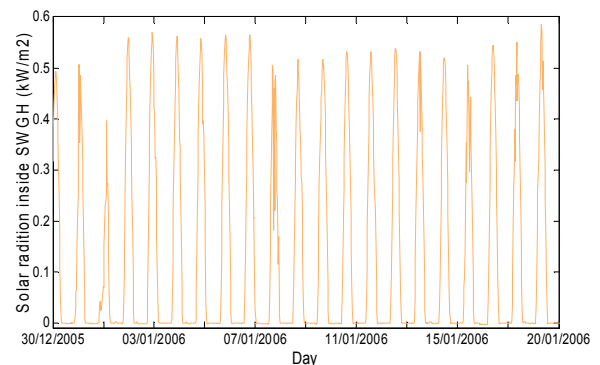


Fig. 14. Variation de l'intensité du rayonnement solaire à l'intérieur de SWGH avec le temps (30 décembre 2005 au 20 janvier 2006) [20].

Les valeurs du flux massique quotidien du condensât mesuré, résultant de la condensation de l'eau de mer dans le condenseur de la serre de dessalement au cours de la période allant du 30 décembre 2005 au 20 janvier 2006 sont présentées dans la figure (15). Il convient de noter que la masse du condensât mesuré est prise du réservoir d'eau douce par une sonde.

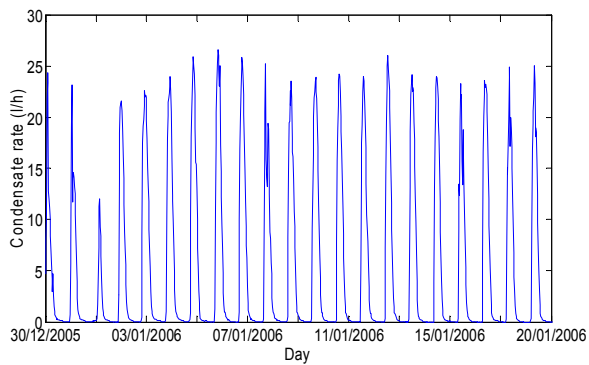


Fig. 15. Variation du flux massique du condensât mesuré avec le temps (30 décembre 2005 au 20 janvier 2006) [20].

En général, on peut noter que l'évolution du flux massique du condensât mesuré suit la même tendance que celle de l'intensité du rayonnement solaire [20].

8. CONCLUSION

Dans cet article, on a établi l'impact du problème de manque d'eau dans le monde et les possibilités qu'il faut mettre en œuvre pour assurer un approvisionnement correct en eau. On a étudié les besoins en eau pour les différents secteurs : l'irrigation et l'élevage, l'industrie, les besoins alimentaires et domestiques. Pour faire le choix adéquat, on a présenté les principales technologies de dessalement des eaux marines à savoir : procédé par changement de phase, membranaire, agissant sur les liaisons.

On a étudié l'impact de l'intensité du rayonnement solaire sur le débit du condensât mesuré. Les résultats ont montré l'intérêt de ce paramètre sur le débit du condensât. On note que le débit du condensât mesuré croît avec l'intensité du rayonnement solaire.

Compte tenu du coût élevé des différents procédés classiques de dessalement, l'analyse de la faisabilité technique et de la rentabilité du procédé solaire de dessalement semble être la solution future pour les régions arides et semi-arides.

REMERCIEMENTS

Le présent article a été élaboré sous la direction du Professeur **Bettahar Ahmed**, département de mécanique, université de Chlef. Je tiens à le remercier vivement pour ses conseils très utiles, ses encouragements et sa disponibilité. Ce travail a été réalisé sous la co-direction du Professeur **Hilal Ali Al-Hinai**, département de mécanique de l'Université Sultan Qaboos à Mascate, Oman. A ce dernier, j'adresse mes profonds et sincères remerciements aussi bien de m'avoir facilité et donné l'occasion de travailler au sein du département, que pour son enthousiasme et sa gentillesse. Par la même occasion, je me permets de présenter également mes vifs remerciements au Dr **Sabah Abdul-Wahab** et au Dr **Mustapha Douani**, respectivement enseignants chercheurs à l'université de Mascate et l'université de Chlef, pour leurs conseils très utiles, et leurs prodigieux encouragements.

REFERENCES

- [1] C. Paton and P. Davies, The seawater greenhouse cooling, fresh water and fresh produce from seawater, in: The 2nd International Conference on Water Resources in Arid Environments, Riyadh 2006.
- [2] J.S. Perret, A.M. Al-Ismaili, S.S. Sablani, Development of Humidification-dehumidification System in a Quonset Greenhouse for Sustainable Crop Production in Arid Regions, *Biosystems Engineering* 91(3) (2005) 349-359.
- [3] M.T. Chaibi, An overview of solar desalination for domestic and agricultural water needs in remote arid areas, *Desalination* 127 (2000) 119-133
- [4] E. Delyannis and V. Belessiotis, *Advances in Solar Energy*, 14 (2001) 287-330.
- [5] E. Delyannis, *Solar Energy*, 75 (2003) 357-366.
- [6] C. Paton, A. Davis, The seawater greenhouse for arid lands, in: Proc. Mediterranean Conf. on Renewable Energy Sources for Water Production, Santorini, 10-12 June 1996.
- [7] C. Fernandes, J.E. Cora, J.A.C. Araujo, Reference evapotranspiration estimation inside greenhouses, *Scientia Agricola* 60(3) (2003) 591-594.
- [8] M.F.A. Goosen, H. Al-Hinai, S.S. Sablani, Capacity building strategies for desalination: Activities, facilities and educational programs in Oman, *Desalination* 141 (2001) 181-190
- [9] H. Mahmoudi, S.A. Abdul-Wahab, M.F.A. Goosen, S.S. Sablani, J. Perret, A. Ouagued, N. Spahis, Weather data and analysis of hybrid photovoltaic-wind power generation systems adapted to a seawater greenhouse desalination unit designed for arid coastal countries, *Desalination* 222 (2008) 119-127.
- [10] B. Dawoud, Y.H. Zurigat, B. Klitzing, T. Aldoss, G. Theodoridis, On the possible techniques to cool the condenser of seawater greenhouse, *Desalination* 195 (2006) 119-140.
- [11] M. Poppe, H. Rögener, *Berechnung von Rückkühlwerken, VDI-Wärmeatlas*, 6. Auflage, VDI Verlag GmbH, Berlin, Germany, 1991.
- [12] J.R. Vaillant, "Accroissement et gestion des ressources en eau" Paris, (1977) 2-8.
- [13] M.A.S. Malik, G.N. Tiwari., A. Kumar, M.S. Sodha, "Solar distillation", Indian Institute of Technology, New Delhi, India, Pergamon Press, 1^{ère} Edit.(1982) 33-76.
- [14] Monod-Mémento., J. "Technique de l'eau" (tome I), Dégremet. 9^{ème} Edition du Cinquantenaire (1989) 5-35.
- [15] dessalement de l'eau de mer .html.
- [16] Éducation pour un avenir viable Enjeux mondiaux de l'eau.html.
- [17] Arnoult et Fournier. "Le dessalement de l'eau de mer", Année : 2000/2001.
- [18] www. Accueil BEIERE.htm
- [19] Simon Nisan, dessalement de l'eau de mer par les reacteurs nucleaires, Conf. Int. Marrakech, 16-18 octobre, 2002
- [20] T. Tahri "Simulation du condenseur de la serre de dessalement de l'eau de mer par humidification-deshumidification : Application à la serre agricole de Mascate (Sultanat D'Oman) " Thèse de Doctorat Es-Sciences, 2010.