

Amélioration des procédés traditionnels de production de sel alimentaire (NaCl) par l'utilisation d'un distillateur solaire d'eau de mer

J. Dossou¹³, Y. E. Kpoclou¹³, V. Y. Ballogou¹³ et G. Ouikoun¹⁴

Résumé

L'étude vise l'évaluation comparée des performances des équipements de saliculture traditionnelle sur pani, d'un cristalliseur sur batch et d'un distillateur solaire d'eau de mer mis au point et expérimenté pour la production de sel marin. Le rendement en sel, la granulométrie et les paramètres physico-chimiques des sels obtenus à travers ces différents dispositifs sont déterminés et comparés. Les résultats ont montré que le distillateur solaire d'eau de mer avait les meilleures performances par comparaison au cristalliseur solaire à géomembrane et au cuiseur à évapocristallisation sur feu de bois. Avec un rendement en sel de 84 % contre 48,25 % pour le cristalliseur à géomembrane et 80 % pour le cuiseur à évapocristallisation sur feu de bois, le sel du distillateur solaire a présenté des caractéristiques physicochimiques globalement plus appréciables. Sa teneur en NaCl était plus élevée soit 88,5 % contre 88 % et 82,5 % respectivement pour le sel produit sur géomembrane et le sel ignigène. Le sel marin obtenu par distillation solaire contenait moins d'impuretés insolubles soit 1,62 % contre 2,59 % pour le sel marin obtenu du cristalliseur à géomembrane et 3 % pour le sel ignigène. La teneur en iode était identique pour les trois sels. Au regard des critères standards la qualité le sel de distillation est globalement améliorée mais il reste à justifier la faible teneur en NaCl de tous les sels béninois (82,5 à 88,5 % en moyenne) et à prendre les dispositions technologiques requises afin d'atteindre la valeur normative de 97 à 98 % de NaCl exigée par la norme Codex-Stan 150-1985.

Mots clés : Bénin, zone littorale, saliculture, distillation solaire, cristalliseur.

Improvement of traditional production processes of salt (NaCl) using a solar distillator of sea water

Abstract

This study aims to evaluate and compare the performance of traditional salt production equipments to those of a batch crystallizer and a solar distillator implemented for salt yielding from sea water. Salt yield, size distribution and physical and chemical parameters of obtained salts from these different equipments were determined and compared. The results showed that the solar distillator had better performances by comparing to a batch crystallizer and to a traditional salt cooked system. With a yield of 84 % against 48.25 % for the batch crystalliser and 80 % for traditional salt cooked system the solar distillator salt has also better physical and chemical characteristics. Its sodium chloride content was higher that is to say 88.5 % against 88.0 % and 82.5 % respectively for batch crystalliser and traditional salt. The solar distillator salt contained less non soluble impurities (1.62 %) than the batch crystallised (2.59 %) and the traditional one (3 %). The iodine content remained the same and identical. Even if the distillator improves the quality of the salt, in regards of standard criteria, the too low level of NaCl content of Benin's salts (82.5 % to 88.5 %) must be clarified by previous studies and adequate measures have to be taken in order to attend the normative value of NaCl content (97 to 98 %) expected from Codex-Stan 150-1985.

Key words: Benin, littoral area, salt production, solar distillation, crystalliser.

INTRODUCTION

Dans la zone côtière du Sud du Bénin se pratique depuis des siècles une activité artisanale de production de sel alimentaire (chlorure de sodium, NaCl). Jusqu'à nos jours, la production de ce sel reste l'une des principales activités génératrices de revenus des populations de cette zone. Toutefois, la filière sel n'est pas organisée au Bénin. L'activité salicole rencontre beaucoup de difficultés. Les

¹³ Dr Ir. Dossou Joseph, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Recette Principale, Cotonou 01, République du Bénin, Tél. : 97086266, E-mail: jokdossou@yahoo.fr

Kpoclou Y. Euloge, Msc., Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Recette Principale, Cotonou 01, République du Bénin, Tél. : 97133909; E-mail: euloyenou@yahoo.fr

Ballogou Y. Vénérande, Msc., Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Recette Principale, Cotonou 01, République du Bénin; Tél. 97181504, E-mail: yoffou_250@yahoo.fr

¹⁴ Ir. Gaston Ouikoun, Laboratoire des Sciences du sol, de l'Eau et de l'Environnement, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin, 01 BP 884 Recette Principale, Cotonou 01, Recette Principale, République du Bénin; Tél. : 97489802 ; E-mail: ouikoungaston@yahoo.fr

jeunes s'en désintéressent à cause de sa pénibilité (LIFAD, 2000). Alors, la survie de la filière sel marin et de ses acteurs est compromise si dès maintenant la stratégie de développement de cette zone n'est pas repensée. Des actions spécifiques de promotion de la saliculture sont indispensables, puisque dans certains villages de la localité concernée, comme Togbin, presque toutes les femmes âgées d'au moins vingt ans exercent cette activité. Le sel de cuisine lui-même est un produit de consommation courante. C'est le premier condiment disponible dans les ménages mêmes les plus pauvres. C'est en particulier pour cette raison que le Bénin a opté pour la stratégie de l'iodation universelle du sel pour lutter contre les troubles dus à la carence en iode (TDCI) au Bénin (MCT, 1994).

Au Bénin, le sel alimentaire est produit par évapocristallisation sur feu de bois, à partir des saumures obtenues par lixiviation des terres salées, récoltées aux abords de la lagune côtière. Ce sont les remontées capillaires de la nappe phréatique qui déterminent la teneur en sel des terres, récoltées par grattage pour préparer la saumure (LIFAD, 2000). Selon Delbos (2004), les aires de grattage sont des étendues de marais dépourvues de végétation arborée et soigneusement dégagées, au préalable, de leur couvert de *Sesuvium portulacastrum* L. L. (plante rampante halophyte). L'initiative béninoise des années 90, consistant à substituer la production sur bassins cristallisoirs sous l'action du soleil et du vent selon la méthode guérandaïse au procédé de traitement des saumures sur pani, n'a pas connu le succès attendu. Le faible pouvoir évaporant de l'air avec une humidité relative supérieure à 70 % en toutes saisons, n'autorise pas des techniques de production par voie solaire comme c'est le cas à Kéta, à Adanfoa ou à Saltpond dans l'est du littoral du Ghana où les conditions atmosphériques sont plus sèches (Toffi, 2010). Les possibilités d'utilisation des nappes phréatiques pour la production de sel sont limitées et les caractéristiques physico-chimiques de la saumure de base qui en dérive ainsi que celles du sel produit sont peu satisfaisantes (Dossou, 2000).

Par rapport à l'écosystème de la zone exploitée, les activités salicoles sont destructrices de l'environnement, notamment de la mangrove, à cause de l'utilisation abusive de bois pour la cuisson de la saumure dans la méthode ignigène (Dossou, 2000). Il y a désalinisation périodique des terres et neutralisation de salinité de la nappe par suite d'inondations accentuées, dues à l'impact négatif du barrage de Nangbéto. L'accès aux terres salées de plus en plus difficile à cause de la forte pression démographique et foncière et de la vente anarchique des terres disponibles. Alors que la mangrove occupait l'ensemble du littoral d'est en ouest, il y a environ 5000 ans, elle ne s'étend aujourd'hui que sur le secteur occidental présentant actuellement de forts indices d'indigence physiologique et floristique (Toffi, 2008 ; Toffi et Akoègninou 2008 ; Toffi, 2010). Aussi, l'absence d'une démarche qualité dans la ligne de production du sel au Bénin et des difficultés d'iodation et de commercialisation de ce sel sont-elles notées, en raison de sa forte teneur en eau (10 à 15 %) et de son taux d'impuretés organiques hors norme (Dossou, 2000). Par contre, l'eau de mer est disponible en permanence et en abondance au Bénin et a une forte teneur en sel alimentaire de 35 à 36 g/l (Hounkponou, 2002). Il convient d'explorer la production de sel à partir de l'eau de mer en remplacement de la saumure de lixiviation des terres salées. C'est dans cette optique que s'inscrit la présente étude qui évalue et compare la qualité du sel d'eau de mer produit dans un distillateur solaire à celle des sels traditionnels. Plus spécifiquement, il s'agit de :

- évaluer les techniques existantes pour la production de sel à base de l'eau de mer ;
- proposer une technologie améliorée de production basée sur l'utilisation d'un distillateur solaire ;
- évaluer les performances techniques de l'équipement proposé ;
- comparer la qualité du sel produit au distillateur solaire à celle du sel obtenu des procédés traditionnels existants.

MATERIEL ET METHODES

Les expérimentations ont porté sur l'eau de mer, utilisée pour la production du sel marin et sur des échantillons de sel ignigène de lixiviation, prélevés sur les sites de production traditionnelle.

Matériel technique

Les deux dispositifs ci-après ont servi à conduire les expérimentations :

Un bassin cristallisoir solaire : il est construit en forme de parallépipède rectangle, de 10 m², en briques de ciment, posé à même le sol et recouvert d'une bâche plastique appelée géomembrane. Le bassin a une profondeur de 10 cm environ. Les rebords de la géomembrane sont assez larges pour recouvrir la surface du bassin après le durage. De l'eau de mer est versée sur la géomembrane du bassin. Un tel cristallisoir fonctionne sous l'effet du soleil et du vent (Delbos, 2004) et pour que ces

deux facteurs exercent pleinement leur action, le bassin est installé à proximité de la mer dans un endroit non ombragé et bien ventilé. Le bassin est laissé ouvert dans la journée aux effets de ces deux facteurs pour provoquer l'évaporation de l'eau. En fin de journée, le bassin est fermé en repliant les rebords de la géomembrane vers l'intérieur pour protéger la saumure concentrée contre l'humidité nocturne et la rosée.

Un distillateur solaire : c'est une enceinte close de forme parallélépipédique, surmontée d'une cage trapézoïde. L'ensemble constitue un boîtier en contreplaqué supportant une plaque de plexiglas translucide de 4 mm d'épaisseur. Cette plaque ferme le boîtier et joue le rôle de capteur solaire. Elle est inclinée suivant une pente abrupte de 35° et est fixée au sommet du dispositif par des charnières qui offrent la possibilité d'ouverture et de fermeture. L'intérieur du caisson recevant l'eau de mer est tapissé d'une toile plastique noire, jouant le rôle d'absorbeur. La paroi du caisson est constituée d'une double couche de contreplaqué de 4 mm d'épaisseur intercalée d'une couche d'isolant en polystyrène de 1 cm d'épaisseur. L'ensemble boîtier et capteur est supporté par un cadre en bois d'une hauteur de 1 m du sol. Le dispositif ainsi monté (figure 1) est alimenté en eau de mer et soumis au rayonnement solaire aux fins de l'évaporocristallisation du sel marin par effet de serre.

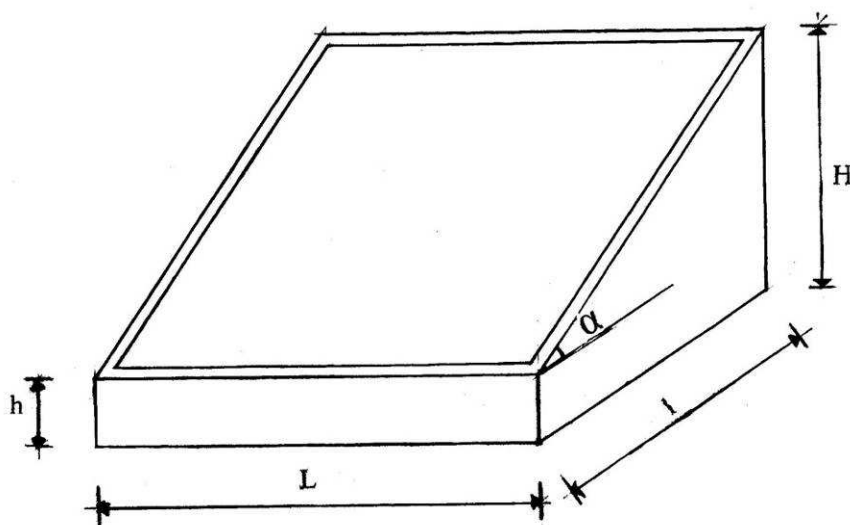


Figure 1. Schéma du distillateur solaire (sans le support) : L = longueur du caisson ; l = largeur du caisson ; H = hauteur du boîtier ; h = hauteur du caisson ; α = angle d'inclinaison du capteur solaire

Méthodes de production des sels

Le sel est produit selon la méthode traditionnelle, la méthode guérandaïse et la distillation solaire qui les trois méthodes expérimentées ici.

Méthode ignigène traditionnelle : Des échantillons du sel ignigène sont prélevés chez les productrices traditionnelles. Le procédé de fabrication de ce sel est décrit par le diagramme technologique de la figure 2.

Les terres salées sont récoltées sur les aires de grattage du littoral et lixiviées dans des paniers étanchéifiés avec de l'argile. Le lessivage s'est fait à l'aide de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre de lagune ; la saumure obtenue, d'une densité de 1,163 environ, s'écoule du panier par un orifice aménagé à sa base. Elle est ensuite collectée dans de grosses marmites et concentrée par chauffage sur un foyer à feu de bois jusqu'à la cristallisation du sel.

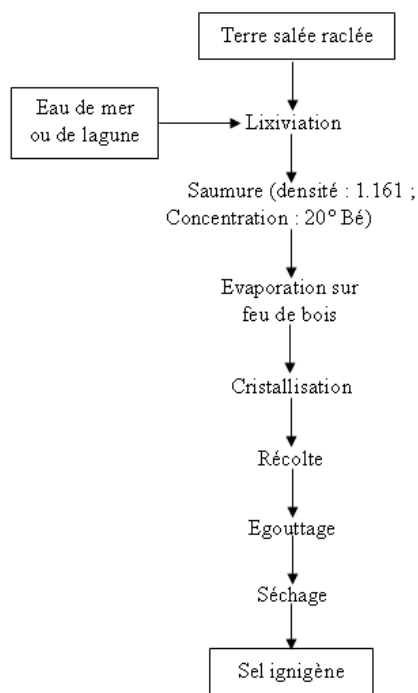


Figure 2. Procédé de cristallisation du sel ignigène sur pani

Méthode guérandaise du bassin cristallisateur à géomembrane : De l'eau de mer directement puisée de l'océan a servi à faire le douage du bassin. Une lame d'eau de 5 cm de hauteur dans le bassin est constituée. Le bassin est resté ouvert la journée et fermé le soir pendant toute la durée de la cristallisation jusqu'à la récolte du sel. La fermeture du bassin s'est fait en rabattant les rebords de la géomembrane sur la saumure la protégeant ainsi contre l'humidité nocturne et la rosée matinale. L'opération commençait le matin à 9 heures et s'achevait le soir à 18 heures. La figure 3a résumait le procédé utilisé. Ce procédé d'extraction de sel marin, est inspiré du modèle guérandais en France et a été introduit et expérimenté au Bénin en 1989 par des paludiers de Guérande, dans le but de remédier aux conséquences néfastes sur l'environnement causées par la technologie ignigène traditionnelle (PIRATTES, 1989 ; Delbos, 1995).

Méthode de distillation solaire d'eau de mer : De l'eau de mer prélevée à la plage est versée dans le distillateur, formant une lame d'eau de 5 cm de hauteur destinée à la cristallisation. Le diagramme technologique de production est indiqué par la figure 3 b. Le distillateur est exposé au soleil dans une zone non ombragée. Le dispositif étant hermétiquement fermé, l'effet de serre a provoqué le réchauffement et l'évaporation de la saumure. Par conséquent, l'intérieur était saturé de vapeur d'eau douce. Cette vapeur se condensait au contact de la paroi interne du capteur transparent relativement plus froide. Les gouttelettes d'eau produites glissaient le long de la paroi inclinée pour être recueillies dans une gouttière. A terme, il ne restait dans le dispositif qu'une saumure concentrée qui a évolué pour donner d'abord une mince pellicule de germes, appelée la fleur de sel et ensuite des cristaux grossissant de sel. Le principe de fonctionnement de ce distillateur est semblable à celui décrit par Tleimat (1978), Améré (2002) et Hounkponou (2002), à la nuance que ceux-ci l'ont utilisé pour la production d'eau douce à partir de l'eau de mer (Kpoclou, 2005).

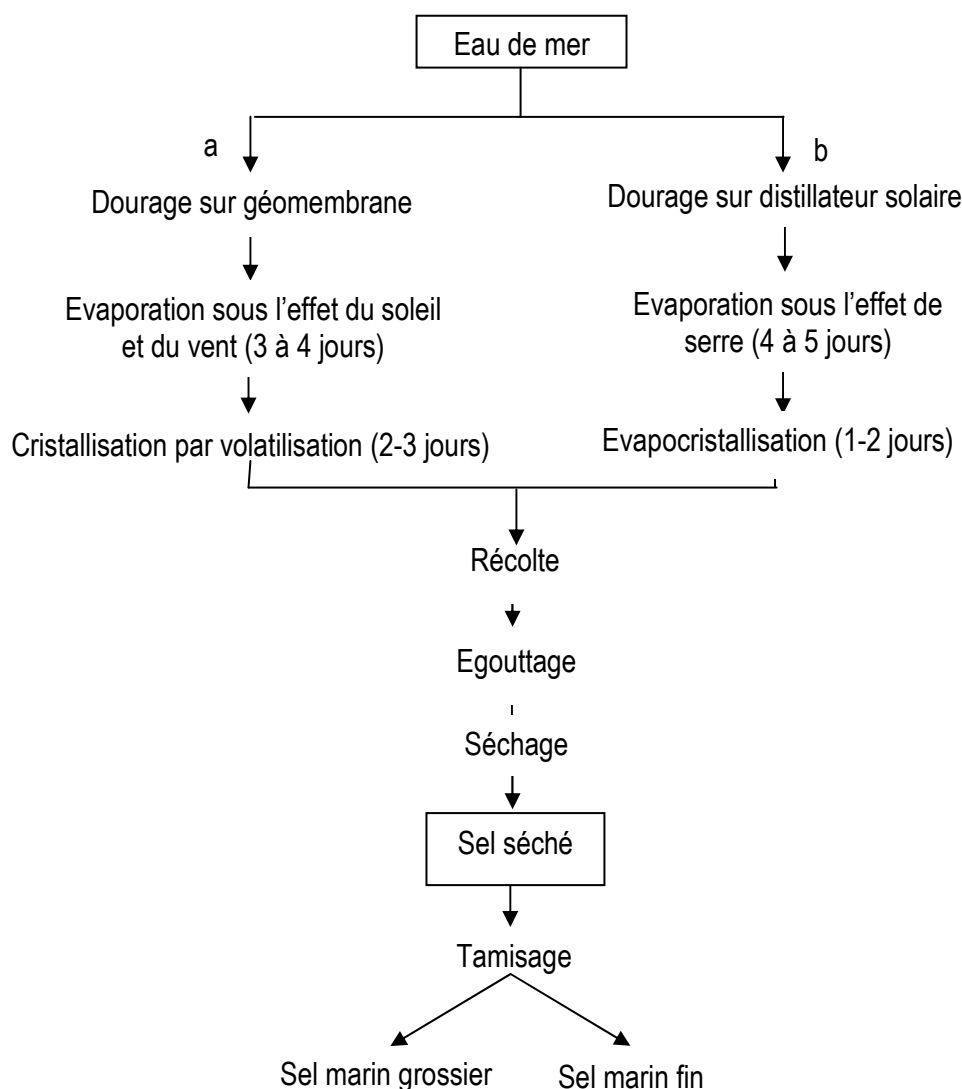


Figure 3. Procédés de production de sel marin : a = cristallisateur à géomembrane et b = distillateur solaire

Analyses physico-chimiques des sels

Les analyses physico-chimiques sont effectuées pour apprécier les paramètres de qualité des sels. Les valeurs trouvées pour ces différents paramètres analysés sont comparées aux valeurs fixées par la norme Codex-Stan 150-1985 pour le sel alimentaire (Mannar et Dunn, 1995). Les analyses sont faites sur des échantillons des trois différents sels, à savoir : le sel ignigène, produit par les saliculteurs traditionnels à base de saumure de lixiviation (Sel 1) ; le sel marin fabriqué sur cristallisateur solaire à géomembrane (Sel 2) ; le sel marin produit sur distillateur solaire (Sel 3). Les paramètres ci-après sont analysés sur les échantillons de chacun de ces sels.

Teneur en NaCl : Cette analyse est faite par la méthode de Mohr, qui consiste à dissoudre le sel dans l'eau et à titrer cette solution avec du nitrate d'argent de 1,1 M en présence du chromate de potassium à 0,5 % jusqu'au premier virage de couleur. Après lecture du niveau de nitrate d'argent dans la burette, le résultat est déterminé par lecture sur un tableau de correspondance où 1 ml de nitrate d'argent utilisé correspond à 0,005844 g de NaCl dans l'échantillon analysé.

Teneur en iode : Elle est déterminée par titration selon la méthode standard respectant le principe et la procédure de détermination de l'iode dans le sel, retenus par l'ICCDD/OMS/UNICEF (1996) et basés sur une normalité de thiosulfate de sodium de la burette. Le résultat final est déterminé comme dans l'analyse précédente au moyen d'un tableau de correspondance.

Teneur en matières insolubles : La teneur en matières insolubles est déterminée par la méthode de filtration décrite par Rodier (1979). Dans cette méthode, le sel est dissout dans de l'eau distillée. Cette

solution est filtrée et le poids des matières retenues par le filtre est déterminé par pesée différentielle suivant la formule qui suit : $TMI = [(Me - Ms) / V] \times 100$, où :

Me = masse en gramme du filtre avant utilisation ; Ms = masse en gramme du filtre après utilisation ; V = volume de solution utilisée ; TMI : Teneur en matières insolubles.

Granulométrie des sels : Le tamisage à sec est fait afin d'étudier la distribution granulométrique des échantillons des produits. La masse traitée pour chaque échantillon était de 100 g. Cette prise d'essai est soumise à une série de 5 tamis de mailles comprises entre 250 et 2.000 μm , sur un appareil de type "ratap", vibré pendant 10 mn. Pour les différentes fractions obtenues, les pourcentages respectifs sont calculés par rapport à la masse totale traitée. Les résultats obtenus sont utilisés pour construire les histogrammes granulométriques des sels.

Rendement de production : Le rendement R , c'est-à-dire le pourcentage de NaCl extrait au cours de la production d'une quantité q de NaCl est un paramètre déterminé à partir de Q_t considérée comme la quantité totale de NaCl contenu dans un volume V_e d'eau de mer utilisée. Le rendement R est calculé par la formule suivante : $R = (q / Q_t) \times 100$.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les travaux réalisés ont permis de caractériser la production et la consommation nationales de sel, de décrire et de comparer les différents procédés de production, ainsi que la qualité des sels obtenus.

Production du sel au Bénin

La production artisanale de sel alimentaire au Bénin date de plusieurs siècles. La technique utilisée est vieille de plus de 5 à 6 siècles. Même si les connaissances sur l'historique de ce système restent imprécises, la tradition orale affirme qu'on le doit au peuple Xwla (ou Pla), originaire du plateau d'Adja, qui, du fait des guerres intertribales est venu s'établir sur les lagunes du littoral du sud du Bénin (PIRATTES, 1989). Le début approximatif de la saliculture ignigène sur le littoral béninois se situe entre 1420 et 1550 et coïncide avec la période approximative de l'occupation du littoral par les Xwla (Toffi, 2010). Les Xwla ont longtemps conservé le monopole de l'industrie et du commerce du sel dans la région. C'est pourquoi le sel a pour nom local xwla-djè (sel des Xwla) ou xwla-cô (terre des Xwla). La méthode de production du sel pratiquée ici et consistant en une concentration de la saumure de lixiviation sur pani, c'est-à-dire dans un cuiseur sur feu de bois, est unique et n'existe ailleurs en Afrique qu'en Guinée (Delbos, 1999). En 1995, la production mondiale de sel est estimée à 181,5 millions de tonnes dont 73,6 millions pour l'Europe, 62,2 pour l'Amérique, 36,5 pour l'Asie, 5,9 pour l'Océanie et 3,3 pour l'Afrique (Mannar et Dunn, 1995). Zocli (2001) indique que les 95 % des 555.320 t de sel produites en Afrique de l'Ouest et du Centre en 1999, proviennent de la méthode de production par évaporation de l'eau de mer, à l'exception de la Mauritanie où des mines de sel gemme sont exploitées. La production locale de sel au Bénin, dominée à 95 % par le sel ignigène, est estimée à environ 4.000 t et ne couvre qu'environ 10 % des besoins nationaux. Cette technique est aujourd'hui menacée de disparition, en raison de l'occupation anarchique des terres autrefois exploitées et surtout de la raréfaction du bois pour le chauffage de la saumure. Déjà en 1988, le Centre Béninois de Recherches Scientifiques et Techniques (CBRST) a alerté sur ces menaces, à la suite d'une étude intégrée des systèmes côtiers (la mangrove) pour caractériser le cadre géographique global des exploitations salicoles au sud du Bénin (Toffi, 1988). Parmi les alternatives envisagées pour garantir la durabilité de ces exploitations, les cristallisoirs solaires de type guérandais paraissent plus efficaces, d'où le choix de cette option. Cependant, la méthode guérandaise, bien que très simple et réduisant la pénibilité du travail ainsi que la consommation d'énergie, n'a pu évincer la technique traditionnelle, malgré les efforts intenses déployés par des acteurs béninois et des paludiers français à travers la conception et l'exécution de plusieurs projets, notamment, le PIRATTES (Projet Intégré de Recherches sur l'Amélioration des Techniques Traditionnelles d'Extraction du Sel), le PAFIS (Projet d'Appui à la Filière Sel sur les côtes du Bénin) et le PASOP (Projet d'Appui à la Structuration d'Organisations Paysannes dans les villages salicoles de la lagune béninoise). Hormis l'attachement des productrices à la technique traditionnelle, des contraintes d'ordre économique, notamment leur faible pouvoir d'achat et les revenus insuffisants, limitent aussi l'adoption de l'alternative guérandaise. L'étude de Hèdihon (1994) révèle la résistance des salicultrices traditionnelles à l'introduction de toute autre méthode de production. Pourtant, le point fait sur ces activités en 2001 ainsi que les recommandations qui en découlent, insistent, entre autres, sur la nécessité de rechercher des sources d'énergie alternatives pour la production du sel au Bénin (DNA, 2001). C'est ce qui justifie la mise au point du distillateur d'eau de mer pour la production de sel marin dans le cadre de la présente étude. La crise énergétique actuelle confirme également l'opportunité d'une telle étude mais le mérite revient plutôt à Mustacchi et Cena (1978) qui ont postulé déjà, il y a

30 ans, que le prix de l'énergie fossile comme nucléaire augmenterait de 50 % tous les 10 ans et qu'à ce rythme, la distillation solaire serait une alternative économique particulièrement intéressante.

Consommation du sel au Bénin

L'importance accordée par l'état béninois à la consommation du sel, en particulier du sel iodé, au Bénin se justifie par le choix de ce produit comme support de l'iode dans le cadre de la lutte contre les troubles dus à la carence en iode (TDCI). La prévalence en goitre total dans certaines poches de formes sévères de TDCI, en particulier au nord du Bénin est estimée à plus de 20 % (Fanou, 2000). Toutefois, la stratégie d'iodation universelle de sel adoptée depuis 1994 rassure qu'aujourd'hui plus de 90 % des ménages béninois consomment le sel iodé (UNICEF/BRAOC, 2000). Chaque béninois consomme environ pour 50 FCFA de sel par mois, soit environ 0,2 % du salaire minimum garanti (SMIG). Sur la base de 10 g/personne/jour, l'ensemble des sept millions de béninois en consomment aujourd'hui environ 25.500 t/an et pour un cheptel de 3,7 millions de têtes, à raison de 4 kg/tête/an, nous ajouterons environ 15.000 t, soit un besoin national total de sel de 40.000 t/an. En 2001, environ 3.000 vendeurs sont dénombrés dont le chiffre d'affaire global est estimé à 3 milliards de FCFA/an (LIFAD, 2000 ; DNA, 2001). Au rythme de croissance démographique actuelle de 3,3 % l'an, le besoin national en sel atteint 46.000 t dont 30.000 t pour la consommation humaine en 2010 et le chiffre d'affaire annuel est de 6 milliards de FCFA/an environ. Ceci équivaut à une sortie de devises de 5 milliards de FCFA pour acheter les 90 % du besoin national couverts par l'importation. C'est pourquoi la recherche de technologies alternatives conciliant l'augmentation de la production nationale et la sauvegarde de l'environnement est un impératif de développement.

Paramètres de production des sels

Densité, température et durée de production

Le processus d'évapocristallisation des différents sels produits au cours des nos expérimentations est contrôlé à travers le suivi de la densité et de la température de la saumure utilisée, ainsi que la durée de l'opération. D'une valeur initiale de 1,021 au début du processus, la densité de la saumure passe à 1,21 à l'apparition des cristaux de sel. Ce qui est conforme aux analyses de Delbos (1995) qui trouve que la densité de la saumure augmente progressivement avec l'évaporation jusqu'à 1,240 avant de commencer à décroître, en raison de la formation d'autres sels indésirables, en l'occurrence les sels de magnésium ($MgCl_2$ et $MgSO_4$) qui ont un goût amer. Les germes de cristaux apparaissent environ 60 à 72 h après le दौरage. L'allure de cette progression de concentration est identique aussi bien pour le bassin cristallisateur que pour le distillateur solaire. Toutefois, l'apparition des cristaux est différée d'une dizaine d'heures au niveau du distillateur solaire bien que la température moyenne de l'effet de serre dans ce dispositif atteigne 70 °C contre 40 à 45 °C dans le bassin cristallisateur à géomembrane. Ce retard de cristallisation est dû à la faible circulation de l'air dans le distillateur et au fait que certaines gouttelettes d'eau condensées à la surface interne du capteur retombent dans la saumure en la réhydratant ainsi. Après cette phase de nucléation s'en suit la phase de grossissement des germes de cristaux qui a duré ici environ 48 à 72 h avant la récolte, soit une durée totale de 4 à 5 jours d'opération pour le cristallisateur à géomembrane et de 5 à 6 jours pour le distillateur solaire.

Rendements en sel

Pour les différents sels produits, les rendements moyens calculés sont indiqués dans le tableau 1. De ce résultat, on retient que le rendement moyen de production à l'aide du distillateur solaire est supérieur à celui du bassin cristallisateur solaire sur géomembrane ; il est de 80 % contre 48, 25 % pour le cristallisateur solaire et 84 % pour le sel ignigène. Le dispositif proposé a donc amélioré, presque du simple au double, le rendement de production locale de sel marin sur géomembrane ; il reste cependant à améliorer la qualité du sel, en augmentant sa pureté et en réduisant sa teneur en impuretés insolubles, afin de le rendre conforme à la norme. Mais la méthode ignigène épuise mieux la saumure à cause de la forte température de traitement (température >100°C)

Paramètres physico-chimiques des sels

Les Teneurs en NaCl, en iode et en impuretés insolubles des sels analysés sont indiquées dans le tableau 1. Pour ce qui est de la teneur en NaCl des sels produits, les valeurs obtenues ne respectent pas la norme qui prescrit un taux minimum supérieur à 97 %. Ceci pose un problème de qualité du sel local béninois. La valeur de la teneur en NaCl de 88 % trouvée pour le sel 3 avoisine celle obtenue par des études du PIRATTES (1989), soit 87 % pour le sel solaire sur géomembrane contre 82 % pour le sel ignigène de saumure de lixiviation.

Tableau 1. Paramètres physico-chimiques des sels produits

Type de sels produits	Rendement moyen (%)	Teneur en NaCl (%)	Teneur en iode (ppm)	Impuretés insolubles (%)
Sel1	84	82,5	1,0	3
Sel2	48,25	88	1,1	2,59
Sel3	80	88,5	1,1	1,62
Norme	-	> 97	-	0,2

Nous présumons que cette importante différence entre la pureté réelle des sels béninois et la pureté normative (>97 %) est compensée par d'autres sels comme des sels de magnésium, d'ammonium, de potassium, etc. qui se forment en compétition avec le sel de sodium au cours du processus de cristallisation. Ceci est plausible surtout au cours de la dernière phase de la cristallisation où la sursaturation en NaCl de la saumure s'abaisse au profit de l'accroissement des cristaux formés (Dossou, 1992). Toutefois, ces écarts de puretés des sels posent une question de recherche à venir, notamment celle de leur cause et surtout de leurs effets éventuels sur la santé du consommateur.

L'analyse révèle des teneurs en iode respectivement de 1,1 ppm pour les sels 2 et 3 et de 1,0 ppm pour le sel 1. Dans tous les cas ces quantités sont très faibles. Il faut noter cependant que l'iode est un produit volatil très sensible à la chaleur car il s'évapore même à la température ambiante (Zocli, 2001). Ainsi, lorsque les saumures sont réchauffées pour obtenir l'évaporation conduisant à la cristallisation du sel, l'iode se volatilise. Ce qui justifie les faibles teneurs révélés pour cette substance. Zocli (2001) affirment que la presque totalité de l'iode de l'eau de mer naturelle s'élimine lors de l'extraction du chlorure de sodium. Il convient par conséquent, dans toute évaluation quantitative de l'apport supplémentaire en iode, de considérer comme négligeable la teneur initiale en iode du sel de consommation humaine. Aussi, aucune norme ne fixe une teneur en iode pour le sel à l'état brut. Les normes n'abordent cette question que sur le sel prêt à être consommé conformément à la norme Codex-Stan 150-1985 (Mannar et Dunn, 1995) et à l'arrêté interministériel béninois N°160/MCT/MS/MDR/MIPPME/DCE/SRE du 21/11/1994. De ce fait, les résultats obtenus ne peuvent être incriminés. Néanmoins, il faut retenir que le sel doit être iodé avant sa commercialisation, du moins avant sa consommation, au taux recommandé de 20 à 40 mg d'iode /kg de sel sur le lieu de conditionnement (OMS/UNICEF/ICCIDD, 1996).

Pour la teneur en impuretés insolubles, les analyses ont révélé 3 % pour le sel 1 contre 2,59 % pour le sel 2 et 1,62 % pour le sel 3. Alors que selon la norme Codex-Stan 150-1985, le sel destiné à la consommation ne doit contenir plus de 0,2 % d'impuretés insolubles par rapport à la matière sèche. Les résultats obtenus dans le cadre du présent travail ne répondent pas à cette attente. Pour le sel de lixiviation (sel 1), certaines des impuretés proviennent des terres salifères exploitées et d'autres sont apportées par le vent au cours de l'évaporation de la saumure et du séchage solaire du sel. Pour le sel 2, produit à base d'eau de mer, les impuretés sont apportées soit par l'eau utilisée, soit par le vent lorsque l'eau de mer est sur la géomembrane et/ou lors du séchage du sel. Le sel 1, obtenu par évaporation au distillateur solaire, ne présente qu'une faible teneur en impuretés insolubles apportées probablement par l'eau de mer non filtrée avant son utilisation et les poussières au cours du séchage. En filtrant l'eau de mer avant le दौरage, le taux d'impuretés insolubles des sels 2 et 3 sera réduit.

Granulométrie des sels

Les résultats relatifs à la granulométrie ont permis de tracer les histogrammes des figures 4, 5 et 6. L'analyse granulométrique a montré que pour les trois sels, la taille des grains varie entre 250 et 2000 µm. Nous retenons que les sels 2 et 3 ont à peu près les mêmes granulométries car la taille moyenne de la fraction des grains dominante est de 1.000 µm et le sel 1 est un peu plus fin car la taille moyenne de la fraction de grains dominante est de 500 µm). Ces résultats granulométriques confirment les analyses de Delbos (1995) qui indique que le sel solaire a des grains grossiers tandis que le sel ignigène est plus fin. Signalons que dans les pratiques courantes de l'utilisation des sels au Bénin, les sels 2 et 3 dont les grains sont plus grossiers, sont surtout recherchés dans salage à sec des aliments, notamment la viande et le poisson. Cependant, les sels 2 et 3 peuvent être obtenus sous forme de grains fins et cela ne dépend que de la conduite de la cristallisation. Ainsi, dans ce cas il ne s'agit que de remuer la saumure dès l'apparition de la fleur de sel à la surface de la saumure, puisque l'agitation induit la formation spontanée de germes de cristaux (Mullin, 1976 ; Schneider, 1985 ; Austmeyer, 1985 ; Heffels, 1986 ; Dossou, 1992) et dont la vitesse de grossissement reste faible (Austmeyer, 1982). Les cristaux obtenus à cet effet demeurent toujours fins.

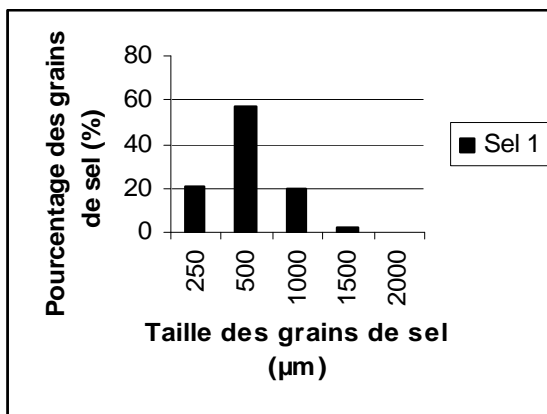


Figure 4. Granulométrie du sel ignigène

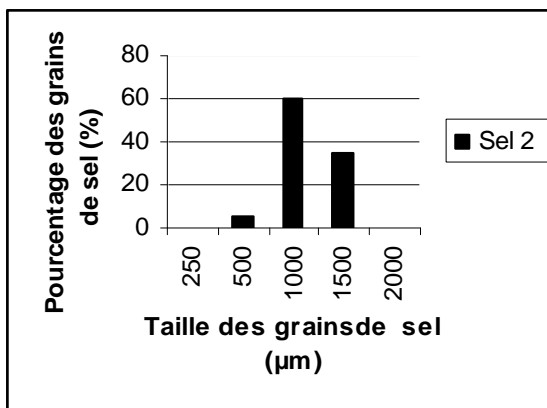


Figure 5. Granulométrie du cristallisât du sel produit sur cristalliseur à géomembrane

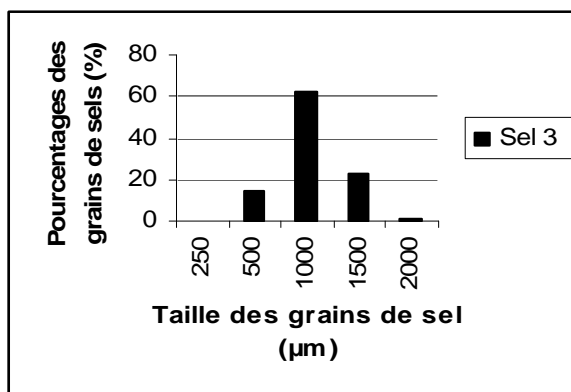


Figure 6. Répartition granulométrique du cristallisât de sel marin produit sur distillateur solaire

CONCLUSION

Pour améliorer la production de sel local béninois, les paramètres opératoires des procédés traditionnels sont comparés à ceux d'un distillateur solaire d'eau de mer, conçu et expérimenté en vue de l'obtention de sel marin. Les résultats suggèrent que l'utilisation du distillateur solaire pour la production de sel marin a plusieurs avantages. Ainsi, le distillateur solaire utilisé améliore les conditions de travail des productrices, protège l'environnement en supprimant le grattage des terres salées et la destruction de la mangrove pour bois de chauffe, augmente le rendement de production du sel. Par ailleurs, le faible encombrement de ce distillateur et la possibilité de le déplacer d'un site de production à un autre constituent des atouts supplémentaires pour cette méthode de saliculture par distillation solaire. Cependant, il reste à tester le distillateur solaire d'eau de mer en milieu réel et étudier les conditions de son adoption par les productrices traditionnelles de sels au Bénin.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Améré, O.J.-U., 2002: Etude et conception d'un distillateur solaire d'eau de mer: application pour les régions afférentes à la station météorologique de Cotonou. Mémoire de fin de cycle, CPU/UNB, Cotonou, Bénin, 176 p.
- Austmeyer, K.E., 1982: Die kontinuierliche Kristallisation der Saccharose aus heutiger Sicht ; Zuckerindustrie 107, 401 – 414.
- Austmeyer, K.E., 1985: Kristallisation in Bewegung: physikalische Grundlagen und technische Entwicklungen; Zuckerindustrie 110, 875-884.
- Codex-Stan 150-1985, 1995: Codex specifications for food grade salt. In Mannar M. G. V. and Dunn J. T., 1995: Salt iodization for the elimination of iodine deficiency. International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders Amsterdam, New York, p 126.
- Delbos, G., 1995 : Producteurs de sel et la technique sur bêche: paroles dites. Programme d'Appui à la Filière Sel sur les côtes du Bénin (PAFIS), Compte rendu d'entretien, Cotonou, (Bénin); 46 p.
- Delbos, G., 1999 : Une saison pour apprendre : première campagne de démonstration dans les sites de mangrove de Guinée de l'alternative par évaporation naturelle des saumures sur cristalliseur bûché à la production ignigène de sel sur pani. Rapport de synthèse de projet; Conakry, Guinée, 104 p.
- Delbos, G., 2004 : Saline guinéenne, référentiel technique d'extraction de sel. Rapport d'activité, Univers-Sel, Terre de Sel, Conakry, Guinée, 42 p.
- Diarra, D., 2000 : Système de contrôle et d'information de l'iode de sel au Bénin; rapport de consultation, UNICEF, Cotonou, Bénin, 70 p.
- DNA (Direction Nationale de l'Artisanat), 2001 : Rapport du séminaire-atelier de restitution de l'étude sur les possibilités de renforcement de l'iode de la production locale du sel ; Ministère du Commerce, de l'artisanat et du tourisme ; Cotonou, Bénin ; 12 p.
- Dossou, J., 1992 : Etude de la formation de germes de cristaux en solutions de saccharose soumises à l'effet mécanique. Thèse de doctorat (Ph.D), FB13, N° 313 ; TU Berlin, 145 p.
- Dossou, J., 2000 : Amélioration de la qualité du sel de production locale en relation avec la redynamisation du programme d'iode de sel au Bénin. Rapport de Projet de recherche; FSA/UNB; 14 p.
- Fanou, N.M.L., 2000 : Analyse du programme national de lutte contre les troubles dus à la carence en iode. Thèse d'ingénieur agronome, FSA/UNB, Cotonou, Bénin, 71 p.
- Hèdihon, A., 1994 : Attitude des femmes face à la méthode hwésvodajè : le cas salicultrices des Djègbadji dans la circonscription de Ouidah ; mémoire pour diplôme d'Etat en Assistance Sociale, ENAS/UNB, Bénin. 61p.
- Heffels, K.S., 1986: Product size distribution in continuous and batch sucrose crystallisers; Dissertation, TU Delf, Niederlande. 140 p.
- Hounkponou, S.B., 2002 : Réalisation d'un distillateur solaire plan d'eau de mer : mise en fonctionnement et contrôle de performance. Mémoire pour diplôme d'ingénieur, CPU/UAC, Cotonou, Bénin, 108p.
- Kpoclou, Y.E., 2005 : Amélioration des techniques traditionnelles de production de sel alimentaire (NaCl) par utilisation de géomembrane sous effet de serre. Mémoire de maîtrise professionnelle de biotechnologie des Industries Agroalimentaires ; FAST/UAC, Cotonou, Bénin, 73 p.
- LIFAD (Laboratoire d'Ingénierie de Formation et d'Assistance en Développement Local), 2000: Etude sur les possibilités de renforcement de l'iode de la production locale de sel en République du Bénin ; rapport de consultation, UNICEF/OMS, Cotonou (Bénin), 107 p.
- Mannar, M.G.V., Dunn, J.T., 1995: Salt iodization for the elimination of iodine deficiency. International Council for Control of Iodine Deficiency Disorders Amsterdam, New York; p 126.
- MCT (Ministère du Commerce et du Tourisme), 1994 : Arrêté interministériel N°106/ MCT/MSIMF/MDR/MIPME/CAB/DCE/SRE du 21/11/94 portant réglementation de l'importation et de la consommation du sel iodé en République du Bénin.
- Mullin, J. W., 1976: Industrial crystallisation; Verlag Butterworths; London
- Mustacchi, C., Cena, V., 1978: Solar water distillation; in Technology for solar energy utilization; United nations. Industrial development organisation. Development and transfer of technology series N°5. United Nations, New York.
- OMS/INUCEF/CCIDD (Organisation Mondiale de la Santé/Fonds des Nations Unies pour l'Enfance/Conseil International pour la Lutte Contre les Troubles Dus à la Carence en iode), 1996: Taux recommandés d'iode de sel et Directives pour la surveillance de leur adéquation et de leur efficacité; Division de l'Alimentation et de la Nutrition, OMS; Genève (Suisse).
- PIRATTES (Projet Intégré de Recherche d'Amélioration des Techniques Traditionnelles d'Extraction de Sel), 1989 : Rapport d'Activité ; Centre Béninois de Recherche Scientifiques et Techniques; Cotonou, Bénin, 78 p.
- Rodier, J., 1996 : Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8^e édition. Dunod, Paris, 1.383 p.
- Schneider, M., 1985: Die Sekundärkeimbildung und ihr Einfluss auf die Kristallkorngrößenverteilung bei der Kristallisation von Weisszucker; Dissertation, TU Berlin.

Tleimat, B.W., 1978: Solar distillator: the state of the art; Sea water conversion laboratory, Richmond, California. In Technology for solar energy utilization; United Nations Industrial Development Organization. Development and transfert of technology; United Nations, New York. Series N°5.

Toffi, M., 1988 : Approche socioéconomique de l'activité salicole des milieux lagunaires à mangroves du littoral du Bénin. Rapport de recherche ; CBRST, Cotonou. Bénin.

Toffi, D. M., 2008 : Le climat, l'homme et la dynamique des écosystèmes dans l'espace littoral du Bénin. Thèse de doctorat unique de Géographie, option Gestion de l'Environnement, FLASH, Université d'Abomey-Calavi, 390 p.

Toffi, D. M., 2010 : Etat de la mangrove béninoise et les causes naturelles et anthropiques de sa dégradation ; communication scientifique au séminaire sur l'état de la Biodiversité en République du Bénin ; Centre CIEVRA ; 05-07 juillet 2010, Bénin. 17 p.

Toffi, D. M., Akoègninoou, A., 2008 : Les fondements morphoclimatiques d'un contraste floristique en milieu littoral : la disparition de la mangrove dans l'est et sa persistance dans l'ouest du littoral du Bénin. Revue Sc. Env., LaBRE, Univ. Lomé (Togo) ; N° 004 ; ISSN 1812-1403 ; pp. 53-74.

UNICEF/BRAOC (Fonds des Nations Unies pour l'Enfance /Bureau Régional de l'Afrique de l'Ouest et du Centre), 2000 : La situation du sel en Afrique de l'Ouest et du Centre. Rapport d'évaluation ; Accra, Ghana, 3-4 Avril, 19 p.

Zocli, I.S., 2001: Impact des pratiques de manipulation et de conservation du sel iodé sur sa qualité : étude de cas des villes de Cotonou et de Porto-Novo; thèse d'ingénieur agronome; FSA/UNB ; Cotonou, Bénin ; 104 p.