

# Décarbonation, histoire et perspectives du SWAC (*Sea Water Air Conditioning*)

Par Richard H. BAILEY

Président de Pacific Beachcomber (PBSC)

Et Franck LUCAS

Université de Polynésie française

Le conditionnement de l'air à partir de l'eau de mer a fait l'objet d'une expérimentation sur l'île de Bora Bora, à l'issue d'une conversation sur l'île de Tetiaroa entre Richard H. Bailey et Marlon Brando ; une expérimentation qui s'est avérée nécessaire pour le développement touristique de l'île et économiquement rentable compte tenu des prix locaux de l'électricité, et ce tout en réduisant drastiquement les émissions carbonées par rapport aux procédés usuels de climatisation (systèmes à détente directe ou systèmes centralisés de groupe à eau glacée). Le retour d'investissement de cette expérimentation est évalué entre cinq et sept ans. Le procédé pourrait être étendu à d'autres cas. Il présente un intérêt certain dans un contexte où l'Agence internationale pour l'énergie estime que la consommation électrique mondiale liée à la climatisation va tripler d'ici à 2050 et la recherche de son efficacité revêt un haut degré de priorité.

Nous aborderons l'intérêt du SWAC (*Sea Water Air Conditioning*) en matière de décarbonation au travers de la restitution d'une conversation que nous avons eue avec Marlon Brando, et au cours de laquelle il a affirmé, sans ambiguïtés, que : « Non, je n'autoriserai aucun combustible fossile sur mon île (de Tetiaroa) ».

Nous sommes en 1999, moi-même (Richard H. Bailey) et Marlon sirotions un bourbon tard dans la nuit, dans sa maison de Beverly Hills, en Californie. La santé de Brando est chancelante. Il s'inquiète de l'avenir de son île privée, Tetiaroa, en Polynésie française, un lieu d'une beauté à couper le souffle, un écosystème fragile et vierge à peine modifié par l'homme et espace de retraite exclusif des rois de Polynésie depuis des siècles. Avant que les mots « durabilité » et « réduction des émissions de carbone » n'entrent dans le langage courant, Brando a compris qu'un nouveau type de tourisme était nécessaire. Un tourisme en symbiose avec la conservation, la recherche et l'éducation, afin que les générations futures de visiteurs puissent continuer à profiter de la beauté naturelle et du patrimoine culturel de la Polynésie, deux choses que les visiteurs viennent chercher en premier lieu. Cette rencontre a été l'occasion pour nous d'imaginer un nouveau paradigme de développement des stations balnéaires. En 2014, cette vision se concrétisera sous la forme du Brando Resort et de la Tetiaroa Society, société chargée de l'intendance de Tetiaroa.

« Mais Marlon », ai-je répondu, « vous pouvez oublier la climatisation si nous devons compter uniquement sur les énergies renouvelables, cela étant trop consommateur d'énergie. Vous vous rendez bien compte que 75 % de l'énergie nécessaire dans une station balnéaire tropicale sont consacrés à la climatisation ? »

« Non, non et non. Pour nous, le recours à la climatisation s'impose. Nos clients en ont besoin sous les tropiques. C'est essentiel, si nous voulons que ce projet soit rentable. Mais cette climatisation nous l'obtiendrons de l'océan », m'a-t-il dit.

« De l'océan ? ! », répondis-je. « Bien sûr », me rétorqua Marlon.

En mai 2000, sur recommandation de Brando, je rends visite au Dr. John Craven, au Laboratoire national de l'énergie à Kona, à Hawaï (NELHA). Le NELHA possède une conduite en eau profonde, qui a été utilisée pour prouver le principe de l'énergie thermique des mers (ETM) (ou OTEC, pour *Ocean Thermal Energy Conversion*) après la formation de l'OPEP en 1972, alors que le monde était à la veille d'un nouvel avenir énergétique. L'ETM utilise l'écart de température entre l'eau de surface et l'eau profonde pour créer de l'électricité grâce au cycle de compression/détente d'un fluide de travail qui entraîne une turbine. La conduite NELHA n'a jamais été utilisée pour servir au refroidissement. Quoi qu'il en soit, et selon les propos de M. Craven, il s'avère que si l'on veut produire du froid, l'ETM est 1 000 fois moins efficace que le simple transport d'une eau réfrigérée dans un

bâtiment<sup>(1)</sup>. Le problème est que l'eau de mer est très corrosive. Pour illustrer ce problème, M. Craven me montre un vieux radiateur Toyota rouillé fixé sur le mur de son bureau, lequel est alimenté par de l'eau de mer brute et froide. C'est son système de climatisation. Il explique que si l'on a accès à de l'eau de mer profonde, le seul défi consiste dès lors à transférer cette source froide dans une boucle d'eau douce et à diffuser ensuite cette eau refroidie dans l'ensemble du lieu de villégiature. Cela n'avait jamais été fait auparavant, mais le principe de la climatisation à l'eau de mer (le SWAC) semblait en lui-même assez simple.

Ma société est la Pacific Beachcomber ; elle est basée à Tahiti. Nous développons, possédons et exploitons des complexes touristiques en Polynésie française. Nous ne sommes pas des investisseurs en capital-risque ou des ingénieurs de *start-up* technologiques, et encore moins un fonds d'investissement privé ou des fournisseurs d'énergie. Cependant, nous sommes chaque jour confrontés aux défis qui se posent à une petite économie insulaire située dans une région du monde incroyablement éloignée, qui est un tout petit point dans l'immensité de l'océan Pacifique et qui est à des milliers de kilomètres de toute ressource continentale. Les difficultés opérationnelles rencontrées en termes de chaîne d'approvisionnement, d'expertise technique, de logistique, de main-d'œuvre, de préoccupations environnementales et, bien sûr, d'énergie sont notre lot quotidien, des difficultés qui sont toutes exacerbées par l'éloignement et donc l'isolement extrêmes de ces îles du Pacifique.

Le coût commercial moyen du kWh d'électricité à Paris est d'environ 9,75 centimes d'euros. À Tahiti, il est d'environ 28,5 centimes d'euros, soit 3 fois plus. Pour toute innovation technologique de substitution énergétique, l'horizon de retour sur investissement à Tahiti est donc d'un tiers supérieur à ce qu'il serait en France. Les projets d'énergie renouvelable gérés en fonction des risques, qui ne se justifieraient pas dans une économie continentale comme la France, deviennent incontournables dans une économie insulaire comme Tahiti. De manière surprenante, la distance et l'éloignement font de Tahiti, ainsi que d'autres sites du « continent bleu » de l'Outre-mer français, les candidats les plus logiques pour mobiliser des capitaux privés en faveur de technologies durables innovantes.

En outre, le coût environnemental de l'électricité dans ces régions est beaucoup plus élevé, avec un niveau d'émission de CO<sub>2</sub> de 632 grammes par kWh à Tahiti, contre seulement 22 gCO<sub>2</sub>/kWh en France.

C'est sur la base de ce constat que nous avons donc décidé d'expérimenter le processus de refroidissement SWAC dans l'un de nos nouveaux complexes hôteliers en construction à Bora Bora, celui de l'Intercontinental Thalasso Resort & Spa qui a été le premier en 2006

à être doté dans le monde du système SWAC. Les négociations menées avec Marlon Brando ont finalement progressé, et c'est ainsi que nous avons installé le deuxième système SWAC du monde dans le complexe hôtelier The Brando, en 2013. Les résultats ont été satisfaisants d'un point de vue technique dans les deux cas d'implantation précités, bien qu'à Bora Bora, la technologie d'ancrage se soit avérée inadéquate et ait nécessité la pose d'un nouveau tuyau en 2022. Les défauts de conception de ce système ont permis d'améliorer la conduite du SWAC alimentant l'hôtel The Brando.

Financièrement, le rendement des deux systèmes SWAC installés a été satisfaisant, avec des retours sur investissement se situant entre 5 et 7 ans. Nous avons soumis une demande au ministère des Finances français dans le but d'obtenir un financement fiscalement avantageux, comme le prévoit la loi. Dans le cas de Bora Bora, nous avons essuyé un refus, car le système SWAC ne figurait pas sur la liste des technologies Énergies renouvelables publiée sur le site Internet de l'Ademe ; de fait, le SWAC n'était pas considéré comme une énergie renouvelable. Dans le cas de Tetiaroa, le projet a été lui aussi rejeté, car le système SWAC a été considéré comme un fournisseur d'énergie n'ayant qu'un seul client, le complexe hôtelier, il était dès lors inéligible au bénéfice du dispositif fiscal envisagé.

Sur le plan commercial, les deux systèmes installés ont été des opérations couronnées de succès. En tant que société de construction de stations de villégiature, nous avons pu promouvoir l'empreinte carbone réduite de cette source d'énergie propre, non fossile et entièrement renouvelable. En outre, nous avons créé des expériences uniques pour nos clients en leur offrant l'extrême pureté de l'eau dans leurs traitements spa de type thalasso, ainsi que le froid nécessaire pour réaliser la thérapie par l'eau froide. Enfin, la facilité d'accès aux eaux profondes qu'offre cette technique a suscité un grand intérêt scientifique dans les domaines de la chimie des océans, de la séquestration du carbone bleu, de la résilience des récifs coralliens et dans bien d'autres domaines de la recherche scientifique.

D'un point de vue technique, le procédé SWAC est effectivement très simple dans sa conception. Il consiste à transporter de l'eau froide en phase liquide depuis les grandes profondeurs (- 960 m pour le cas de Brando) jusqu'à la surface pour la faire passer dans un échangeur de chaleur et la renvoyer dans l'océan à une profondeur où sa température est proche de celle du milieu marin. L'échangeur qui est alimenté par une boucle primaire d'eau de mer, permet de refroidir une boucle secondaire d'eau douce glacée qui est distribuée dans les bâtiments pour assurer la climatisation. Ce procédé particulier permet d'échapper à la limite physique à laquelle les installations de climatisation « conventionnelles » sont confrontées. Celles-ci fonctionnent suivant un cycle thermodynamique à compression de vapeur permettant de prélever de la chaleur sur une source froide pour la céder à une source chaude. Ce transfert est possible grâce à un apport d'énergie mécanique au niveau du

<sup>(1)</sup> Avant prise en compte de l'énergie électrique de pompage. Mais le résultat reste extrêmement favorable en l'intégrant, en particulier si cette énergie est de source renouvelable.

compresseur. Ces procédés « conventionnels » sont limités par la deuxième loi de la thermodynamique ou principe de Carnot, qui représente l'efficacité d'un cycle idéal basé sur quatre transformations réversibles : deux transformations isobares et deux transformations adiabatiques. Les recherches actuelles sur les cycles permettant de produire du froid ont pour objectif de s'approcher au plus près de cette « efficacité de Carnot »... sans pouvoir l'atteindre dans la réalité. Pour un cycle frigorifique de Carnot fonctionnant entre une source chaude à une température de 35°C et une source froide à une température de 25°C, l'efficacité de Carnot est de 30, mais l'efficacité théorique pour un cycle à compression de vapeur n'est plus que d'environ 8. L'efficacité réelle des machines récentes ne dépasse guère la valeur de 5. Avec le SWAC, cette limite n'existe plus...

Par ailleurs, le procédé SWAC comporte un autre avantage par rapport à la climatisation conventionnelle. Pour cette dernière, son efficacité est fortement affectée par les conditions de fonctionnement du cycle, notamment par les températures à l'extérieur des bâtiments et à l'intérieur de ceux-ci. Ce n'est pas le cas avec le SWAC. L'eau de mer puisée en profondeur présente une température constante ; de fait, l'efficacité du procédé ne dépend quasiment pas des conditions de températures intérieures et extérieures.

Alors, quelle est la véritable performance énergétique de la technologie SWAC ? Pour répondre à cette question, la seule alternative était d'instrumenter une installation existante et donc fonctionnant en conditions réelles. C'est ce qui a été fait sur l'installation du Brando, avec la mise en place d'équipements de mesure sur la boucle primaire d'eau de mer et sur la boucle secondaire d'eau glacée. Cette instrumentation complète permet d'évaluer les températures, les pressions, les débits d'eau, mais aussi, et surtout, les consommations électriques des deux boucles, dans le but de démontrer sans équivoque la performance du SWAC.

Mais la première question à se poser est celle-ci : comment évaluer la performance énergétique d'un tel procédé ? Pour exprimer celle des installations « conventionnelles », on calcule habituellement le ratio entre l'énergie froide produite dans les bâtiments et l'énergie électrique consommée par l'installation. Pour tenir compte des variations dans les conditions de fonctionnement, ce ratio est calculé sur une longue période d'activité. On définit ainsi un ratio d'efficacité frigorifique saisonnier ((ou Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER)). Deuxième question : quelle énergie électrique doit-on considérer ? Celle consommée par la boucle primaire et déterminer par une valeur notée  $EER_{\text{primaire}}$  ou les énergies de toutes les boucles (primaires et secondaires) et correspondant à une valeur notée  $EER_{\text{global}}$ . Pour répondre à cette question, il faut savoir avec quels systèmes « conventionnels », on doit comparer le SWAC.

Le SWAC peut être proposé comme une alternative à deux familles de procédés de climatisation conventionnels. La première famille regroupe les systèmes à détente directe. Il s'agit des installations de type

"split system" utilisées pour climatiser un unique local (c'est notamment le cas le plus courant dans les hôtels de la Polynésie) ou de type « à volume de réfrigérant variable (VRV) » destinés à climatiser des petits bâtiments. La deuxième famille est celle des systèmes centralisés de type « groupes à eau glacée » (« chiller ») qui sont adaptés au rafraîchissement des grosses installations et les grands bâtiments. Dans le premier cas, le froid est produit directement dans le local et donc nul n'est besoin de disposer d'un réseau de distribution auxiliaire. Dans le deuxième cas, il faut transporter l'eau glacée depuis un local technique jusqu'aux locaux à climatiser, par l'intermédiaire d'une boucle de distribution.

Le SWAC est une installation de type « centralisé » nécessitant une boucle de distribution d'eau glacée entre les échangeurs et les locaux à refroidir. Si l'on souhaite donc comparer le SWAC à une installation à détente directe qui distribue le froid directement dans les locaux, il faut donc considérer le  $SEER_{\text{global}}$ . Par contre, si l'on souhaite faire une comparaison avec un système centralisé de type "chiller", il suffit alors de comparer entre elles des valeurs  $SEER_{\text{primaire}}$ , puisque, dans les deux cas, une boucle de distribution sera nécessaire et identique.

Les performances énergétiques des procédés « conventionnels » sont établies sur la base de conditions d'essais normalisées par des organismes indépendants, tels que EUROVENT. La valeur moyenne du SEER est de 6,8 pour les *split systems* et de 6,5 pour les systèmes DRV. Pour les "chillers", la valeur moyenne est de 4,8 [1].

Les mesures effectuées, entre avril 2021 et avril 2022, sur l'installation SWAC de Tetiaroa ont donné une valeur moyenne de  $SEER_{\text{primaire}}$  de 135 et une valeur moyenne de  $SEER_{\text{global}}$  de 25 [2].

Le gain énergétique apporté par le SWAC est donc considérable et se traduit par des réductions massives des consommations électriques et des émissions de dioxyde de carbone. Mais l'intérêt de ces mesures est aussi dans le fait qu'elles laissent également entrevoir des améliorations potentielles des performances de la technologie elle-même. En premier lieu, une meilleure régulation des débits des boucles primaires et secondaires permettrait de diminuer encore plus leur consommation et de stabiliser la température de retour de la boucle secondaire d'eau glacée à 12°C (elle oscille actuellement autour de 11°C). Pour les futures installations, une élévation du régime de température de cette boucle secondaire conduirait à des améliorations substantielles des performances et à des réductions des coûts d'investissement. Elle permettrait également d'exploiter la technologie SWAC dans des zones où les bathymétries sont moins favorables. D'autres options sont envisageables pour élargir le potentiel du SWAC, comme l'utilisation ponctuelle d'un appoint par un "chiller" pour gérer les pics de demande de froid ou aussi l'utilisation d'un stockage thermique. Le couplage du SWAC avec une installation OTEC permettra de cogénérer du froid et de l'électricité et ainsi de valoriser au maximum l'eau froide prélevée.

Les pistes de déploiement sont nombreuses et prometteuses, mais des travaux de recherche importants seront nécessaires pour les valider. Ces premières analyses montrent que la technologie SWAC, là où elle pourra être appliquée, permettra de réduire significativement la consommation électrique mondiale liée à la climatisation. Une consommation, qui selon une étude de l'Agence internationale de l'énergie, pourrait être multipliée par 3 d'ici à 2050 [3].

## Références bibliographiques

- [1] Eurovent certification, <https://www.eurovent-certification.com/>
- [2] SANJIVY Kanhan, MARC Olivier, DAVIES Neil & LUCAS Franck (2023), "Energy performance assessment of Sea Water Air Conditioning (SWAC) as a solution toward net zero carbon emissions: A case study in French", Energy Reports 9, Polynesia, pp. 437-446.
- [3] International Energy Agency (2018), "Futur of cooling", OECD/IEA.