

Méthodologie d'étude des impacts d'une centrale d'énergie thermique des mers (ETM) en Martinique

Cedric AUVRAY¹, Sébastien LEDOUX², Bérénice DIAZ², Christophe YVON³, Adeline POUGET-CUVELIER³

¹ DCNS - e-mail: cedric.auvray@dcnsgroup.com

² ARTELIA Eau & Environnement - e-mail: sebastien.ledoux@arteliagroup.com

³ IMPACT MER - e-mail: cyvon@impact-mer.fr

RÉSUMÉ. – L'ETM (énergie thermique des mers) est une énergie marine renouvelable qui utilise la différence de température entre les eaux chaudes de surface et les eaux froides profondes. Dans le cadre d'un projet d'implantation d'une centrale ETM offshore en Martinique, une première étude d'impact environnemental a été réalisée afin d'alimenter le débat public à venir. Compte tenu de la nouveauté introduite par ce type de projet, des méthodes spécifiques ont été mises en œuvre, basées sur un travail bibliographique conséquent, associé à des mesures et des expertises très spécifiques. La méthodologie présentée ici a consisté en une première étape de recensement des données de site et bibliographiques sur les impacts de projets pouvant comporter des similitudes, afin de hiérarchiser le besoin en études complémentaires qui ont été menées par la suite : impacts acoustiques, impacts des remontées d'eau profonde, impacts du biofouling, etc. Certains de ces sujets font à présent l'objet de programmes de recherche scientifique lancés à l'issue de cette étude.

Mots-clés : énergies marines renouvelables, impacts environnementaux, ETM

Environmental impact assessment for an OTEC plant in Martinique Island

ABSTRACT. – The Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) is a marine renewable energy system that uses the temperature difference between the cold deep waters and warm surface waters to produce electricity. DCNS, a world-expert in naval defence and an innovator in energy has conducted technical, juridical and environmental feasibility studies of a plant offshore Martinique under an agreement with the Regional Council. In this context, DCNS realised a preliminary Environmental Impact Assessment in order to prepare public debate to be done further. Due to innovation of such a project, a specific methodology has been done for that. First step was to study bibliography in details, for site assessment of course, but also for impacts of other projects in the world that should present relevant similarities with OTEC (coastal thermal power plants for example). This bibliographic study dealt with thematic synthesis for each topic of physical, biological and human field that could be impacted by the project (total of 28 topics). The aim was to define priorities for specific assessments that have been done further: acoustic impacts, biogeochemical impacts of artificial upwelling, biofouling impacts, etc. Some of these topics are now on course with specific scientific research programs that have been launched at the end of this study. For each new topic, a specific methodology has been used or adapted for OTEC. These methods are made step by step, with a preliminary approach followed by a specific research program when it is necessary. Noise prediction has been done with a specific tool used for ship construction industry and a 3D propagation modelling. Biofouling has been assessed by a bibliographic approach and will be précised further with experimental moorings. Biogeochemical and biological impacts due to artificial and localised upwelling are now being studied in details with a double skill approach (physical modelling and plankton analysis), after preliminary water chemicals' analysis and modelling.

Key-words: marine renewable energy, environmental impact, OTEC

I. INTRODUCTION

Le développement récent des Energies Marines Renouvelables (EMR) implique de nouveaux usages dans le milieu marin, avec de nouveaux impacts potentiels, qu'ils soient positifs ou négatifs. Les études d'impact environnemental et sociétal de tels projets « pilotes » nécessitent bien souvent des approches méthodologiques spécifiques innovantes, parfois à la pointe de la recherche, pour la compréhension des processus physiques ou biologiques.

L'ETM (Energie Thermique des Mers) est une énergie marine renouvelable qui utilise la différence de température entre les eaux chaudes de surface et les eaux froides profondes pour produire de l'électricité. La prise en compte de l'environnement suscite de nombreuses questions et nécessite donc la mise en œuvre d'études variées et quelquefois délicates. Cette complexité est importante de par la nature du projet et ses conditions d'implantation : grands fonds, installation classée en mer, problématiques environnementales méconnues (effets des ondes internes, aspiration, upwelling

artificiel, impacts acoustiques sur les mammifères marins, ...) et jurisprudence inexistante dans le domaine.

Afin de relever ce défi, DCNS et la Région Martinique ont mis en œuvre un programme d'études et supervisé un panel d'experts des domaines considérés. Afin de l'accompagner dans cette tâche complexe et de manière plus spécifique sur le volet Environnement et Risques (et conséquences sur le plan réglementaire), DCNS s'est appuyé sur l'expertise du groupement de bureaux d'études constitué par ARTELIA Eau & Environnement et IMPACT MER dans le cadre d'une mission d'assistance environnementale et a lancé en parallèle un certain nombre d'études techniques et de programmes de recherches ayant pour objectifs de recenser les impacts potentiels de l'installation, identifier les principaux enjeux environnementaux, et définir les études nécessaires à la connaissance de l'état initial et au suivi en cours d'exploitation.

L'ensemble de ce programme d'étude avait comme objectif final la rédaction d'une étude d'impact et de danger préalable au débat public du projet. Ce travail a tout d'abord nécessité une analyse bibliographique important sur les impacts potentiels et sur les enjeux liés au site permettant de définir le programme des études à réaliser au regard des principaux enjeux du site puis a conduit au lancement à la fois d'études ou investigations spécifiques au projet et des travaux de recherche et développement sur plusieurs thématiques : modélisations acoustiques et analyse de l'impact sur les mammifères marins, modélisations des remontées d'eau et impacts biogéochimiques potentiels liés aux rejets, études sur le biofouling et l'effet DCP de la centrale, étude des risques industriels en mer.

Le programme général des études est présenté sur le schéma ci-dessous. Il consistait à étudier de manière préliminaire le site d'étude (mesures géophysiques, mesures des paramètres métocéaniques, modélisation des états de mer et des courants, cartographie des herbiers et des coraux) et les impacts potentiels du projet (modélisation acoustique,

étude des impacts biogéochimiques, biofouling, ...). Le détail des études environnementales est présenté dans les paragraphes suivants.

II. PRÉSENTATION DU PROJET

II.1. Le principe de l'ETM

Le procédé, d'une manière générale, consiste à pomper de l'eau à environ 5°C en grande profondeur (ici : à -1100m), et de l'eau à 25-30°C en surface. L'eau froide et l'eau chaude sont utilisées comme source froide et source chaude pour faire tourner une turbine dans un cycle fermé de Rankine, c'est-à-dire que l'eau chaude cède sa chaleur pour vaporiser un fluide et que l'eau froide récupère la chaleur libérée par la condensation de la vapeur turbinée.

II.2. Le projet ETM Martinique

Un projet de centrale pilote ETM en Martinique a été étudié (stade avant-projet) par DCNS et STX depuis 2010, dans le cadre d'une convention d'étude et de recherche avec la Région Martinique. L'objectif à terme est de pouvoir installer une centrale pilote au large de Bellefontaine, en Mer des Caraïbes, d'une puissance installée de 14 MWe bruts. Le projet sera situé sur des fonds de 1300m, à 5 km des côtes environ.

Il s'agira d'une plateforme flottante, ancrée, dotée de tuyaux d'aspiration qui ramèneront l'eau chaude de surface et l'eau froide profonde afin de produire de l'électricité. Le projet prévoit de pomper de l'eau de mer froide à -1100m à une température comprise entre 4 et 5°C (100 000 m³/h), et de l'eau de mer chaude à -10m à une température comprise entre 26,5 et 29°C (100 000 m³/h également). L'eau chaude serait rejetée à une profondeur de -15 m, et l'eau froide, entre -100 et -200 m selon les scénarios étudiés.

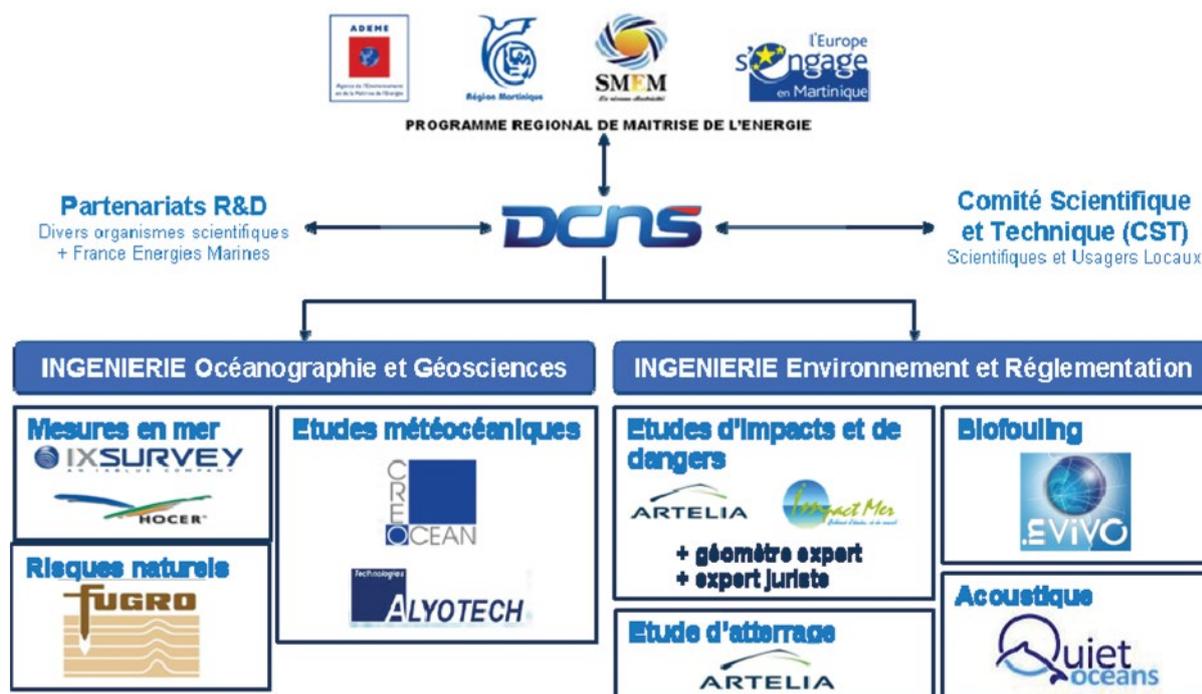


Figure 1 : Organisation des études et intervenants. Source : DCNS.

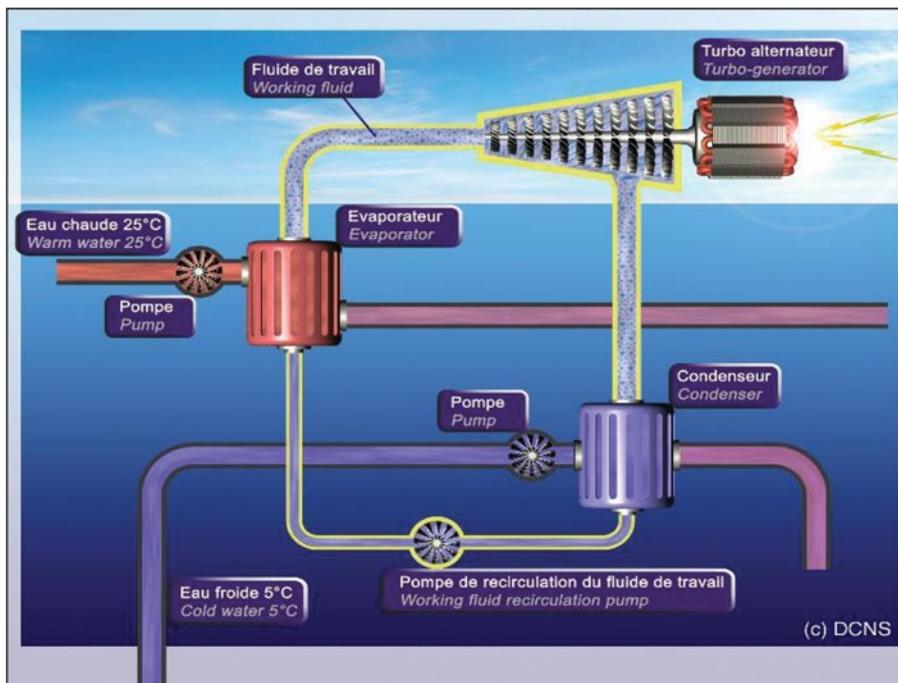


Figure 2 : Schéma de principe du procédé ETM. Source : DCNS.



Figure 3 : Localisation et vue d'artiste de la future plateforme ETM. Source : DCNS.

III. IDENTIFICATION DES ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX MAJEURS

La première partie de l'étude a consisté à recenser les données et la bibliographie disponible sur la zone du projet et sur les impacts potentiels, la difficulté étant le manque de retours d'expérience dans certains domaines (acoustique, biofouling et biogéochimie principalement). Le croisement entre les enjeux et les impacts potentiels a permis de hiérarchiser les différents impacts et de rédiger une première synthèse environnementale avant le lancement des expertises spécifiques. La méthodologie retenue est représentée de manière schématique sur la figure suivante.

III.1. Méthodologie d'analyse des impacts potentiels

L'objectif de la mission d'assistance aux études environnementales était de recenser les impacts potentiels de l'installation, identifier les principaux enjeux environnementaux, et définir les études nécessaires à l'état initial et au suivi d'exploitation.

Pour cela, le travail suivant a été effectué:

- Recensement des données disponibles sur la zone du projet, à partir de la bibliographie et des études sur site réalisées par DCNS dans le cadre du projet.
- Examen des impacts potentiels de l'ETM, à partir de la bibliographie spécifique à l'ETM et des retours d'expériences

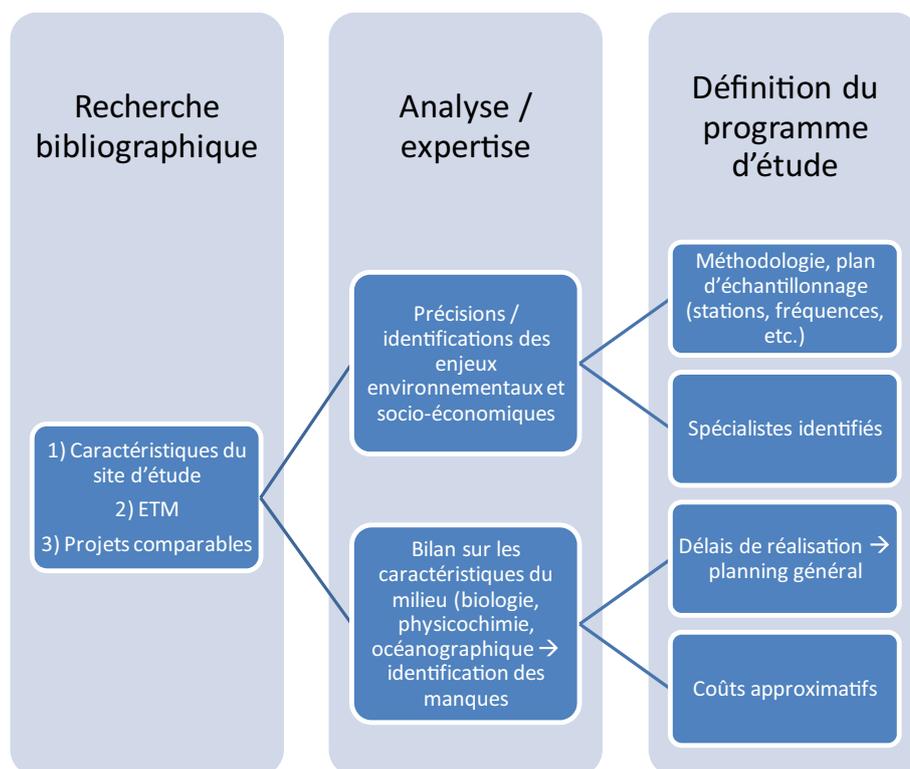


Figure 4 : Approche méthodologique préalable à la définition du programme d'études. Source : ARTELIA – IMPACT MER.

sur des phénomènes ou des procédés similaires (centrales thermiques de bord de mer, FLNG etc.). Les documents de référence principaux sont listés dans les références.

L'ensemble des références bibliographiques utilisées ont été recensées dans le cadre de fiches opérationnelles et bibliographiques détaillées pour chaque thématique et qui décrivent l'ensemble des impacts potentiels pour chacune des composantes du projet et du milieu naturel, permettant ainsi de disposer d'une base de données de publications scientifiques et techniques nombreuses.

Le recensement a ensuite consisté à décrire le fonctionnement du procédé ETM et lister les composantes techniques du projet (phase travaux et exploitation) en détail, et définir les interrelations entre le milieu et chaque sous-système ou étape du procédé, puis à partir de cela déterminer les impacts potentiels de chaque étape, en cherchant à être le plus exhaustif possible.

III.2. Etablissement d'une matrice des impacts potentiels

Le travail préalable réalisé a permis d'établir pour le projet une matrice des impacts potentiels. Comme cela a été explicité précédemment, chaque composante de cette matrice a fait l'objet d'une fiche bibliographique détaillée reprenant la bibliographie relative au domaine, les caractéristiques spécifiques du site, les enjeux et sensibilités particulières du site, les impacts potentiels génériques et l'applicabilité au projet ETM et le cas échéant la nature et le contenu des études complémentaires à réaliser.

Les principaux éléments de l'ETM susceptibles de provoquer des impacts sur le milieu sont les suivants :

- Aspiration d'eau et d'organismes marins (en surface et au fond) ;

- Rejet d'eau de physico-chimie différente (Température, nutriments, éléments métalliques) ;
- Rejet potentiel de contaminants (peinture anti-salissures, électrochloration, éléments métalliques) ;
- Présence d'une plateforme flottante (effet DCP potentiel) ;
- Bruit généré (centrale, conduites) ;
- Câble et champs électromagnétiques ;
- Impacts en phase Travaux (ancrage, atterrissage, conduite d'eau de mer).

A l'issue de ce travail préalable, les impacts potentiels et enjeux majeurs ont donné lieu à des études complémentaires afin de répondre aux questions posées et/ou dans un premier temps réduire le niveau d'incertitudes.

IV. DETAIL DES EXPERTISES SPECIFIQUES REALISEES

L'objet ici n'est pas de faire la synthèse de tous les impacts étudiés, mais de présenter succinctement les principales études réalisées dans le cadre de l'étude d'impact. Elles faisaient partie d'un programme d'études beaucoup plus vaste comprenant notamment les études géophysiques et météocéaniques, dimensionnantes pour le projet et sur lesquelles les études environnementales ont pu s'appuyer.

A noter également la réalisation d'une étude spécifique (ARTELIA, 2012) sur les conditions d'atterrissage du câble (forte sensibilité environnementale, complexité réglementaire et difficultés techniques du fait de la morphologie et de l'instabilité des fonds). Cette étude n'est pas décrite ci-après.

Seuls les études ou travaux traitant de la problématique des impacts potentiels du projet en exploitation sont présentés ici.

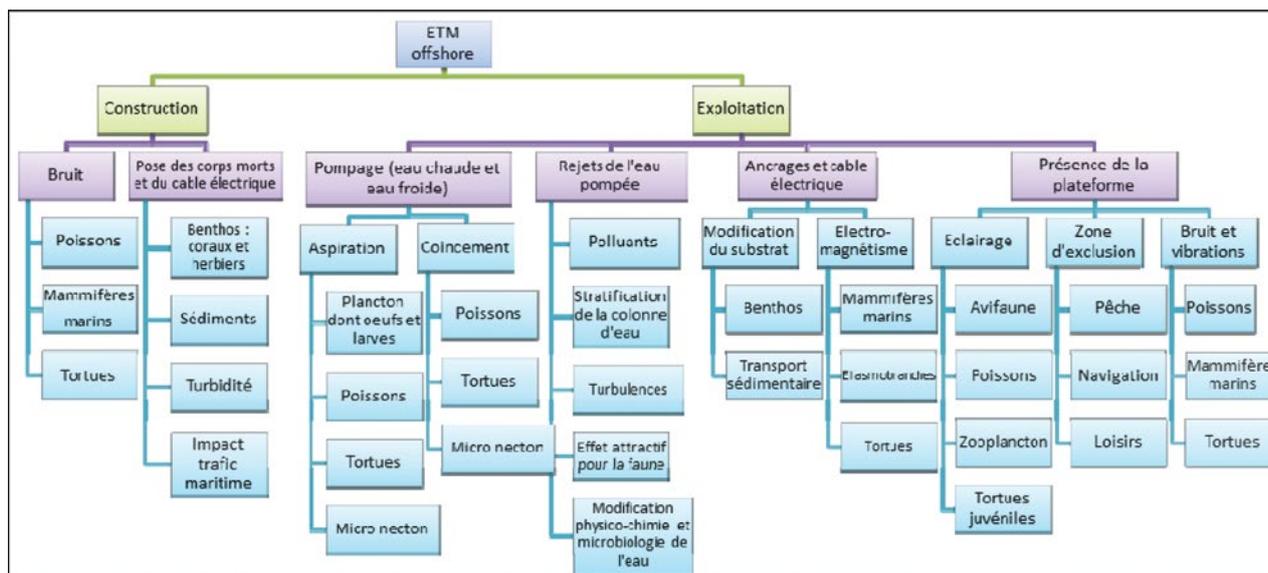


Figure 5 : Matrice des impacts potentiels du projet. Source : ARTELIA – IMPACT MER – DCNS.

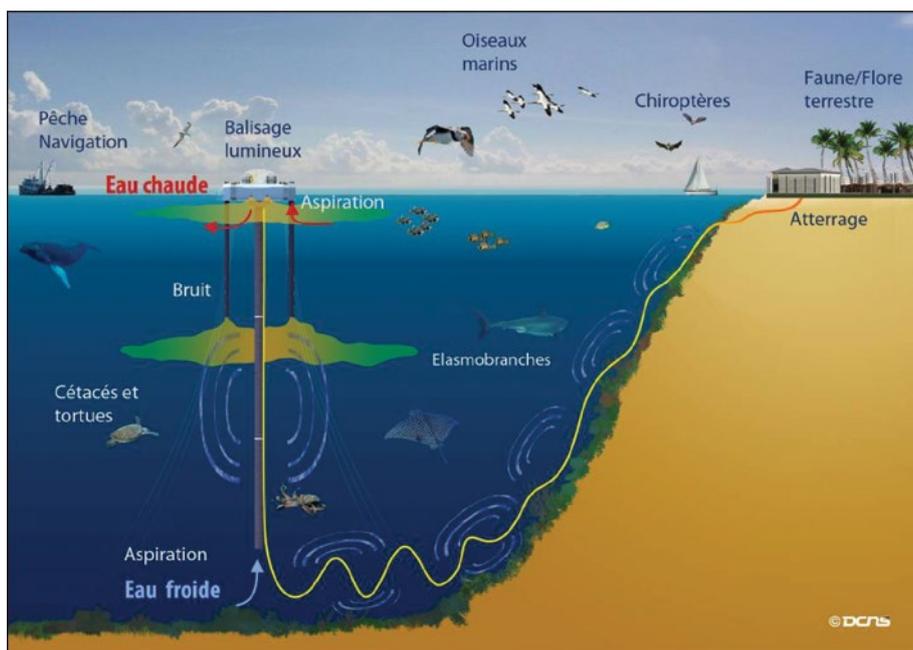


Figure 6 : Schéma simplifié des sources d'impacts potentiels et des enjeux environnementaux. Source : DCNS, d'après ARTELIA – IMPACT MER.

IV.1. Impacts biogéochimiques des rejets d'eau (upwelling artificiel)

L'eau froide, pompée en profondeur, présente des caractéristiques différentes de celles des eaux de surface. Après passage dans le « système énergie », le rejet se fera plus proche de la surface, entre -100 et -200 mètres (sous la zone photique) et il convient de s'interroger sur la façon de limiter son impact sur le milieu naturel en raison notamment des volumes considérés (2x 100 000 m³/h) :

- du point de vue thermique (l'eau rejetée a une température de 5 à 8°C, au sein d'une eau qui se trouve à des températures de l'ordre de 20°C) ;
- du point de vue physico-chimique (l'eau rejetée a une composition différente des eaux ambiantes).

Les impacts potentiels sont principalement liés à l'apport de sels nutritifs (au sein de la zone photique ceci peut conduire à une fertilisation artificielle favorisant le développement du phytoplancton) ; et à l'acidification des eaux de subsurface.

Des simulations 3D des rejets d'eau chaude et d'eau froide ont été réalisées, prenant en compte les processus physiques (courantologie et gradients de température/salinité, vent, ...) :

- modélisation du devenir du panache d'eau de mer froide pour différents cas-types de conditions météocéaniques et de stratégie de rejet. Ces résultats ont permis de définir une profondeur de rejet adéquate et d'alimenter l'étude des impacts environnementaux en croisant ces informations avec les analyses physico-chimiques d'eau de mer ;

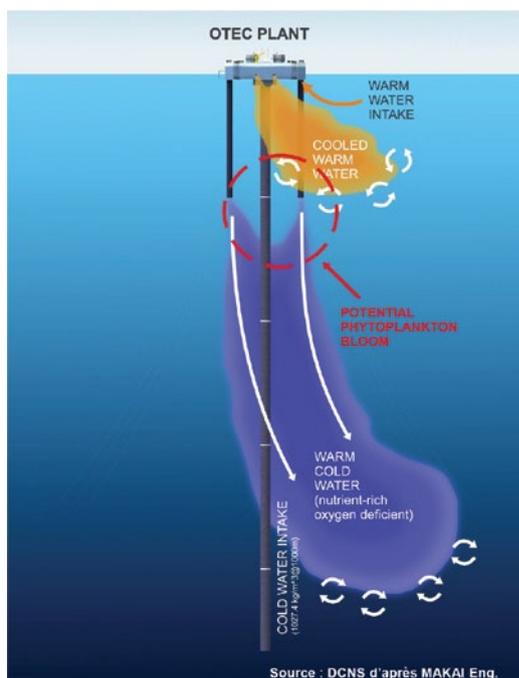


Figure 7 : Schéma de principe des rejets d'eau chaude et d'eau froide. Source : DCNS, d'après MAKAI Eng.

- modélisation du devenir du panache d'eau de mer chaude afin de vérifier qu'il ne vienne pas perturber (refroidir) l'aspiration d'eau de mer chaude proche de la surface.

Les résultats ont permis de mieux comprendre le devenir du panache thermique de la future centrale.

Des modélisations plus détaillées sont en cours dans le cadre d'un programme de recherche pluriannuel au sein de France Energies Marines (Institut de Transition Energétique). L'objectif principal de ce programme, baptisé IMPALA (Impacts sur le Micro-Plancton des Apports d'un upwelling Artificiel) est de mieux comprendre les processus bio-physico-chimiques liés à la mise en place d'un « upwelling » artificiel. Des outils analytiques et numériques seront

mis en œuvre afin d'étudier précisément les impacts du rejet (modélisations 3D associées à des prélèvements et analyses de bactéries et plancton).

IV.2. Biofouling et effet « DCP » (Dispositif de Concentration de Poissons)

Les différents sous-systèmes constituant la future centrale (plateforme et systèmes d'aspiration et de production d'énergie) sont susceptibles d'être impactés fortement par le phénomène de biofouling (biofilm, microfouling et macrofouling). Ce point est très important pour le dimensionnement (alourdissement, corrosion) et le rendement (encrassement), mais également pour tenter de comprendre l'impact biologique à plus long terme.

Les étapes de formation du biofouling sont bien connues : conditionnement physico-chimiques, développement d'un bio-film (micro-organismes), colonisation par les organismes (larves, spores), développement des communautés épi-benthiques. Plusieurs facteurs déterminent la cinétique du biofouling : surface des structures, saison, profondeur. Ce dernier paramètre est le plus influant car de nombreux paramètres varient avec la profondeur (température, lumière...).

Les principaux éléments sur lesquels se développera le biofouling sont :

- Les flotteurs,
- Les conduites d'aspiration d'eau froide et d'eau chaude,
- Les conduites de rejet d'eau froide et chaude,
- Les ancrages,
- Les échangeurs thermiques et le circuit eau de mer,
- Le câble électrique (partie externe).

L'objectif de l'étude était donc de définir une méthodologie permettant de caractériser le biofouling pour les différents éléments du projet (système énergie, conduite) et aux différentes profondeurs (0 à - 1 100 mètres), en réalisant une analyse de l'état de l'art et des données de site et en définissant une campagne d'essais ou de mesures pour l'étude du biofouling sur les parties externes (soumises au courant naturel).

A l'issue des études bibliographiques réalisées, le schéma de structuration du biofouling sur la plateforme flottante peut-être représenté comme suit :

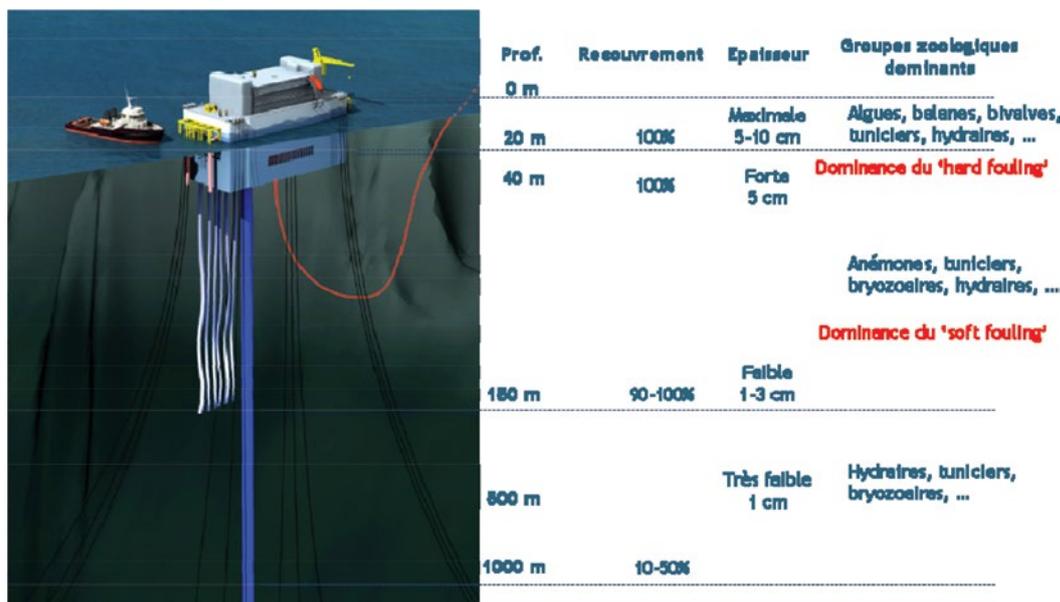


Figure 8 : Structuration estimée du biofouling sur les éléments de l'ETM. Source : DCNS, IN VIVO Environnement.

Ces éléments ont servi de base à l'étude d'impact environnementale afin d'estimer qualitativement l'effet de la présence de la plateforme sur l'écosystème. L'étape suivante, afin de préciser ces éléments, sera la réalisation et la mise à l'eau d'un mouillage expérimental pour tester différents matériaux en eau de mer par grands fonds sur le site. La définition du mouillage est en cours en fonction des objectifs scientifiques (fréquence et durée des observations, paramètres à mesurer) et des contraintes de site (moyens à la mer).

IV.3. Impacts acoustiques

Les énergies marines sont une nouvelle source potentielle de génération de bruit sous-marin. Compte tenu des forts enjeux liés à la présence de mammifères marins sur le site de projet (sanctuaire AGOA), une étude détaillée des impacts acoustiques et vibratoires a été réalisée.

Pour réaliser une étude d'impact acoustique, il est nécessaire de disposer d'une estimation du bruit rayonné dans l'eau par le système. Or, on ne dispose pas actuellement de données expérimentales, du fait qu'aucun système de ce type n'a encore été déployé. La première étape a donc été réalisée sur la base d'outils de calculs théoriques (modèles vibro-acoustiques) :

- **Estimation du bruit rayonné de la plateforme** (pompes et turbo-alternateur principalement). Pour cela, après identification des bruiteurs potentiels et de leur signature acoustique intrinsèque, une méthode de calcul habituellement utilisée en discrétion acoustique des navires a été mise en œuvre (calculs des fonctions de transfert depuis chaque équipement vers la coque et vers le milieu marin) afin de fournir pour chaque bande de fréquence le bruit estimé en phase d'exploitation, par voie solide et par voie acoustique.

- **Estimation du bruit rayonné de la conduite eau de mer froide** (bruit hydrodynamique). Pour ce faire, la conduite de 1000m de long a été assimilée à une source linéique de bruit au lieu d'une source ponctuelle, et découpée en tronçons élémentaires, dont le bruit rayonné a été estimé par un outil de calcul spécifique.

Une fois le bruit rayonné estimé, un outil simplifié d'analyse des impacts sur les mammifères marins a été mis en œuvre, en considérant les indicateurs spécifiques de SPL (Sound Pressure Level) et de SEL (Sound Exposure Level) pour chaque classe de mammifères marins définis par la bibliographie par une courbe de pondération fréquentielle (Southall *et al.*, 2007). Ces premiers éléments ont permis de définir les impacts potentiels à proximité de la centrale.

Afin de préciser les impacts potentiels et de valider la méthode simplifiée présentée ci-avant, une étude de propagation a été réalisée sur modèle numérique statistique. L'objectif était de :

- simuler les pertes de transmission dans le milieu marin, en prenant en compte les données environnementales disponibles sur le site et le bruit rayonné à 1m de la centrale.
- préciser les risques environnementaux associés au projet, en termes de niveau sonore d'exposition ressenti par les espèces marines cibles. Ces premiers résultats, présentés

dans l'étude d'impact préalable, ont permis de cartographier les risques pour les mammifères marins.

V. CONCLUSIONS

Compte tenu de la complexité et de la « nouveauté » introduite par le projet, l'analyse des impacts et de leur source a mis en évidence de nombreuses inconnues et des incertitudes. Cela est à rattacher au caractère « innovant » du projet et de l'évaluation des impacts associés (même si d'importants travaux ont été réalisés dans les années 1980 par les chercheurs et industriels américains dans le cadre des projets hawaïens mais aussi par IFREMER sur le projet de centrale à Tahiti). Cela est également à rattacher à la moindre connaissance dont nous disposons sur les grands fonds océaniques en particulier en zone intertropicale.

C'est pourquoi, pour chaque impact potentiel déterminé, ont été présentées des investigations et mesures complémentaires afin de mieux définir ces impacts dans les phases ultérieures du projet.

En outre, les suivis mis en place après l'installation de la centrale et qui permettront également de mieux apprécier, qualifier ou quantifier, les impacts une fois que la centrale sera opérationnelle, ont été décrits ; il s'agit, à ce stade du projet, de réflexions préliminaires. Ces suivis participeront à l'amélioration des connaissances (retours d'expérience) des impacts des EMR d'une façon générale.

VI. REFERENCES

- COASTAL RESPONSE RESEARCH CENTER (2010) — Ocean Thermal Energy Conversion: Assessing Potential Physical, Chemical And Biological Impacts And Risks. *University Of New Hampshire, Durham, Nh.* 39 And Appendices
- HARRISON J. (1987) — The 40 Mw, Otec Plant At Kahe Point, Oahu, Hawaii: A Case Study Of Potential Biological Impacts. *Noaa Technical Memorandum Nmfs, Noaa-Tm-Nmfs-Swfc.* 68 : 109
- IFREMER (1978) — Avant-projet Tahiti. Centrale E.T.M. 5 MW. Étude des impacts sur l'environnement. 207 p
- MYERS E., D. HOSS, W. MATSUMOTO, D. PETERS, M. SEKI, R. UCHIDA, J. DITMARS, R. PADDOCK (1986) — The Potential Impact Of Ocean Thermal Energy Conversion (Otec) On Fisheries. *Noaa Technical Report Nmfs.* 40 : 39 p
- NOAA (1981) — *Otec Final Environmental Impact Statement.* 284 p
- SOUTHALL B. L., BOWLES A. E.; ELLISON W. T., FINNERAN J.J., GENTRY R.L., GREENE JR. C. R., KASTAK D., KETTEN D. R., MILLER J. H., NACHTIGALL P.E., RICHARDSON W. J., THOMAS J. A., TYACK P. L. (2007) — Aquatic Mammals. *Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations.* 33 : 406-521
- US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2011) — Technical Development Document For The Proposed Section 316(B) Phase Ii Existing Facilities Rule. *Clean Water Act.* 316(B) : 428
- VEGA L. & C. COMFORT (2011) — Environmental Assessment Of Otec In Hawaii, Available Data And A Protocol For Baseline Monitoring. *University Of Hawaii.* 8 p