



HAL
open science

Plate-forme en bon état à vendre : vingt chambres, vue panoramique sur la mer, espace généreux pour hélicoptère

Louis Serin

► To cite this version:

Louis Serin. Plate-forme en bon état à vendre : vingt chambres, vue panoramique sur la mer, espace généreux pour hélicoptère. Architecture, aménagement de l'espace. 2021. dumas-04274923

HAL Id: dumas-04274923

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04274923>

Submitted on 8 Nov 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



**“PLATE-FORME EN
BON ÉTAT À VENDRE:
VINGT CHAMBRES,
VUE PANORAMIQUE
SUR LA MER,
ESPACE GÉNÉREUX
POUR HÉLICOPTÈRE”**

Louis Serin-Mémoire de Master-Janvier 2021

Remerciements

Je tiens à remercier l'équipe enseignante du séminaire "Habiter la transition écologique" Frédéric Barbe, Julie Gangneux et particulièrement Lucile Garnier pour son suivi et ses conseils tout au long du travail.

Je remercie également Alexander Chiffolleau pour avoir pris le temps de répondre à mes questions et pour m'avoir aidé dans la dernière partie du mémoire.

Louis SERIN

*Mémoire de Master-Janvier 2021
Séminaire "Habiter la transition écologique"*

*Directeur du mémoire: Lucile GARNIER
Autres enseignants: Julie GANGNEUX,
Frédéric BARBE*

ENSA Nantes

**“PLATE-FORME EN
BON ÉTAT À VENDRE:
VINGT CHAMBRES,
VUE PANORAMIQUE
SUR LA MER,
ESPACE GÉNÉREUX
POUR HÉLICOPTÈRE”**

Avant-propos

Le choix du sujet me vient tout d'abord de l'intérêt que je porte à la mer en général. Habitant au bord de la mer, j'ai, depuis petit, été familiarisé à ce milieu par la pratique sportive. De cette pratique sportive a découlé d'autres intérêts pour ce milieu. Exercer un sport en lien avec un environnement naturel nous sensibilise à tout ce qui fait cet environnement et à tous les enjeux qui lui sont associés, aussi bien écologiques qu'économiques et sociétaux. D'autre part, s'intéresser à la reconversion des plateformes pétrolières permet d'étudier le premier maillon d'une chaîne énergétique connue mais finalement peu renseignée. Dévoiler le fonctionnement de ces installations permet ainsi d'éveiller notre curiosité sur la manière dont nous produisons de l'énergie. Cette idée d'aller fouiller dans des domaines qui m'étaient assez flous me paraissait intéressante dans mon choix de sujet de mémoire.

Mon travail sur la reconversion des plateformes pétrolières permet de regrouper ces deux envies: étudier un objet architectural intrigant tout en étant lié au milieu maritime qui me tient à cœur. Ce sujet d'étude m'a permis d'aborder par ailleurs un problème actuel mais peu évoqué. La problématique énergétique et environnementale induite par cet objet est en effet très intéressante puisqu'elle met en liens différents sujets comme la sauvegarde des écosystèmes marins, mais aussi la transition énergétique entraînée par la disparition des puits de pétrole dans un futur plus ou moins proche. La question de la reconversion des plateformes pétrolières ne traite pas seulement de questions d'ingénierie ou d'architecture, elle traite aussi de la façon dont va évoluer notre manière de produire de l'énergie. Étudier la reconversion des plateformes offshore, c'est partir d'un objet pour évoquer plusieurs domaines et champs d'études et c'est aussi cela qui m'a convaincu dans le choix de ce sujet.

Sommaire

Introduction	10		
CONTEXTE DU PÉTROLE OFFSHORE	15		
I - L'ère moderne du pétrole	16		
a. La guerre 194-1918: les prémices de la future puissance du pétrole			
b. Le pétrole au cœur des conflits géopolitiques mondiaux			
c. L'omniprésence du pétrole			
II - La mise en place d'un forage pétrolier offshore	22		
a. La formation du pétrole			
b. L'exploration pétrolière			
III - Historique du pétrole offshore	26		
a. Les prémices			
b. Les chocs pétroliers			
c. La conquête des profondeurs			
IV - Des enjeux multiples	34		
a. Les acteurs de l'industrie pétrolière			
b. Enjeux socio-économiques			
c. Enjeux environnementaux			
d. Enjeux territoriaux			
V - Le futur du pétrole offshore	40		
a. Une nouvelle géographie se dessine			
b. Le pic pétrolier			
LA PLATEFORME PÉTROLIÈRE	47		
I - Un objet, une multitude de formes	48		
a. L'organisation d'un champ pétrolier			
b. Les différents types de plateformes			
II - La plateforme, une ville suspendue	54		
a. Composition d'une plateforme			
b. Un objet solitaire ?			
c. La vie à bord			
III - La conception des plateformes	62		
a. Construire en milieu marin			
b. Une conception unilatérale ?			
c. Conséquences de l'activité pétrolière sur l'environnement marin			
QUE FAIRE DES PLATEFORMES OFFSHORE EN FIN DE VIE ?	73		
I - Le démantèlement	74		
a. L'affaire Brent-Spar de 1995			
b. Les problématiques de la fin de vie des plateformes			
c. Une évolution réglementaire			
d. Les différentes options d'un démantèlement			
e. Exemples régionaux: le Golfe du Mexique et la Mer du Nord			
f. Le démantèlement, un nouveau marché pour l'industrie para-pétrolière			
II - Les différentes pistes de reconversion	92		
a. Les récifs artificiels			
b. Autres projets de reconversion			
LES PLATEFORMES SUPPORTS D'ÉNERGIES RENOUVELABLES	101		
I - Les énergies marines renouvelables	102		
a. État général			
b. Détail des différentes technologies			
c. Énergie marémotrice et hydrolienne			
d. Énergie houlomotrice			
II - Autres sources d'énergie adaptables aux plateformes pétrolières	110		
a. Les panneaux photovoltaïques			
b. L'éolien offshore			
c. La production d'hydrogène			
d. Les technologies CCUS (Carbon Capture, Utilisation and Storage)			
III - Le contexte en Mer du Nord	118		
a. Politiques Européennes			
b. Planification de l'espace maritime			
IV. Scénarios de reconversion	126		
a. Reconversion par l'éolien offshore			
b. Reconversion en plateforme multi-usages			
c. Bilan			
Conclusion	144		

Introduction

Ma réflexion s'ouvre sur un postulat simple: les ressources pétrolières s'épuisent et tendent à disparaître. Depuis plusieurs dizaines d'années, notre société est construite et fonctionne grâce à cet hydrocarbure. Comment cette prochaine disparition va transformer la société et comment allons nous anticiper cette perte ? De ce questionnement très large gravitent de nombreux domaines et notamment le devenir des installations pétrolières qui, justement, produisent le carburant de notre société. Le devenir des installations offshore apparaît en première ligne puisque ce sont-elles qui produisent le plus de pétrole. Leur multiplication depuis les chocs pétroliers de 1973-1974 et 1979-1980 devient aujourd'hui un véritable problème économique et écologique. Bien qu'évoqué lors de l'installation de ces structures, la question de leur fin de vie ne faisait pas partie des principales préoccupations des compagnies pétrolières si bien que certaines d'entre elles ne peuvent pas être retirées lors de leur fin de service. Ces plateformes, véritables machines à produire n'ont été conçues que dans un seul but, puiser le plus rapidement possible le pétrole contenu en sous-sol. N'étant mises au point sans aucune autres perspectives que celle-ci, il est aujourd'hui très difficile de se projeter sur une réutilisation de ces plateformes dans un autre but.

La solution mise en place aujourd'hui pour ne pas laisser les installations pétrolières sur place est le démantèlement. Ce procédé n'est cependant pas la solution miracle. En effet, démonter de telles structures, posées en pleine mer, est extrêmement coûteux pour les compagnies pétrolières. Bien que les normes actuelles obligent les compagnies à retirer les plateformes une fois l'exploitation terminée, celles-ci ne se pressent pas à le faire, chaque opération leur coûtant plusieurs millions d'euros. Les États possédant les puits de pétrole sont, quand à eux, assez souples vis à vis de ces normes. L'exploitation pétrolière ayant rapporté énormément d'argent à certains pays, ils sont souvent redevables et n'exercent pas une pression suffisante pour que les compagnies pétrolières retirent leurs installations. Dans ce contexte, ma réflexion va se porter sur une région du globe en proie à ces problématiques: la mer du Nord. Mises en places dans les années 1970, les premières plateformes pétrolières de mer du Nord deviennent aujourd'hui obsolètes. Ce problème va s'accroître de plus en plus puisque l'expansion très rapide de l'offshore en mer du Nord à la fin du siècle dernier va entraîner un nombre important de plateformes inutilisées en peu de temps. La découverte de nouveaux puits de pétrole dans d'autres régions du globe accélère ce processus. Le pétrole coûtant moins cher ailleurs, les compagnies risquent de fermer plus tôt que prévu leurs installations en mer du Nord.

Bien que le démantèlement soit aujourd'hui exercé en mer du Nord, de nombreuses installations sont très compliquées voire impossibles à démonter. Les conditions météorologiques de cette région étant très mauvaises (houle et vents très importants), et certaines plateformes possèdent des structures gigantesques très difficiles à manipuler. Conçues pour résister aux éléments à des profondeurs toujours plus importantes, la course à la production pétrolière rime souvent avec gigantisme et démesure. Dans ce contexte, la reconversion semble le seul moyen de donner une nouvelle vie à ces structures.

L'objectif de ce travail n'est pas de proposer une solution miracle de reconversion de plateforme pétrolière mais plutôt d'explorer le champ des possibles et de proposer des pistes de réflexions. En s'intéressant de près au contexte et aux enjeux que posent cette problématique, il s'agit ici de proposer une autre manière de répondre au problème, en ne se focalisant pas seulement sur des contraintes d'ingénieries ou architecturales. La question de la reconversion des plateformes permettra par la suite d'ouvrir sur des sujets plus larges concernant la transition énergétique à venir.



Fig. 1. Plateforme Huldra, Markus Jbilensson / StatoilHydro, 2016

Entre démantèlement et reconversion, quelles sont les perspectives des plateformes pétrolières offshore en fin de vie ?

Que nous apprend la fin de vie des plateformes pétrolières dans un modèle de société transitionnel ?

Afin de répondre à ces problématiques et à toutes les questions qu'elles engendrent, ce travail se développera en quatre temps.

Tout d'abord, il s'agira de s'intéresser au contexte dans lequel évolue la plateforme pétrolière. Il s'agit ici de comprendre comment fonctionne une opération pétrolière, aussi bien d'un point de vue purement technique qu'économique, de s'intéresser aux enjeux qui entourent ce milieu ainsi qu'à ses évolutions passées et futur. De plus, un point historique sur les bouleversements sociétaux entraînés par la découverte du pétrole permettra de comprendre ce qui a engendré la création de telles structures.

Dans un second temps, l'étude portera sur la plateforme pétrolière en elle-même. L'objectif est de décortiquer, d'analyser une plateforme offshore pour pouvoir la connaître et proposer une reconversion qui fait sens. Sans rentrer dans le détail purement technique de la plateforme, nous dresserons une explication générale de sa composition, son fonctionnement, la vie à bord, ses impacts sur le milieu marin ... Cette analyse correspond à une démarche d'exploration qui permet de lever le voile sur un objet connu de tous mais finalement très mystérieux, dont on ne connaît quasiment rien.

Ensuite, nous verrons comment nous traitons aujourd'hui le problème de la fin de vie des plateformes pétrolières. Nous évoquerons tout d'abord le démantèlement à travers plusieurs questions. La plateforme peut-elle être démantelée entièrement ? Que deviennent les pièces démantelées ? Quels sont les moyens, matériels et financiers, mis en œuvre pour réaliser cette opération ? Dans un second temps nous nous intéresserons à quelques projets de reconversion déjà réalisés.

Enfin, l'ultime partie du mémoire portera sur une alternative de reconversion des plateformes pétrolières: la reconversion par les énergie renouvelables. Cette dernière partie me permettra de détailler deux scénarios d'une possible reconversion en lien avec mes études préalables. Ce travail portant notamment sur la transition énergétique, il s'agira ici de voir où nous en sommes dans notre manière de concevoir des énergies marines renouvelables et de mettre en lien les anciennes installations pétrolières avec ces nouvelles formes de produire de l'énergie.

1

LE CONTEXTE DU PÉTROLE OFFSHORE

I - L'ère moderne du pétrole

- a. La guerre 1914-1918: les prémices de la future puissance du pétrole
- b. Le pétrole au cœur des conflits géopolitiques mondiaux
- c. L'omniprésence du pétrole

II - La mise en place d'un forage pétrolier offshore

- a. La formation du pétrole
- b. L'exploration pétrolière

III - Historique du pétrole offshore

- a. Les prémices
- b. Les chocs pétroliers
- c. La conquête des profondeurs

IV - Des enjeux multiples

- a. Les acteurs de l'industrie pétrolière
- b. Enjeux socio-économiques
- c. Enjeux environnementaux
- d. Enjeux territoriaux

V - Le futur du pétrole offshore

- a. Une nouvelle géographie se dessine
- b. Le pic pétrolier

S'intéresser aux plateformes pétrolières offshore, c'est aussi s'intéresser à l'environnement qui les entoure. Avant de penser à une quelconque reconversion, apprendre du contexte, des enjeux, des acteurs est tout aussi importants qu'étudier la plateforme pétrolière en elle-même. Connaître le passé et le présent de cette industrie permettra de proposer par la suite des solutions adéquates pour son futur.

I. L'ère moderne du pétrole

a. La guerre 1914-1918: les prémices de la future puissance du pétrole

1. Philippe Gauthier, "Une courte histoire du pétrole: 1. Des origines à l'ère moderne", energieetenvironnement.com, 28 mai 2018

2. Laurie Debove, "Le pétrole : Le sang noir du monde moderne", La Relève et la Peste, 1er mars 2019

3. Citation de Matthieu Auzanneau dans l'émission radio de Stéphane Bonnefoi et Diphy Mariani, "La France n'a pas de pétrole, mais une petite idée... - 1918, Après la guerre les années folles", France Culture, 13 novembre 2018

4. Stéphane Bonnefoi, Diphy Mariani, "La France n'a pas de pétrole, mais une petite idée... - 1918, Après la guerre les années folles", France Culture, 13 novembre 2018

"L'ère pétrolière moderne" commence en 1859 lorsque la production industrielle du pétrole débute en Pennsylvanie, aux Etats-Unis. Le pétrole fut utilisé plusieurs siècles auparavant par plusieurs grandes civilisations comme les Égyptiens ou les Chinois¹ mais la production de manière industrielle de cette substance marque le début d'une nouvelle ère du pétrole. A cette époque, le pétrole était utilisé comme lubrifiant dans l'éclairage ou encore la mécanique des machines à vapeur. Sa production a très vite augmentée puisque les investissements nécessaires à son forage restaient minimes.

"Les premiers hommes à avoir industrialisé l'usage du pétrole ont seulement fait preuve de logique puisque c'était non seulement la forme d'énergie la plus simple à obtenir, mais aussi celle qui ramenait le plus de profit"².

Ses nombreuses propriétés physiques ainsi que la facilité de son exploitation en ont fait l'énergie autour de laquelle il fallait inventer, mettre au point de nouvelles machines. Les premières utilisations du pétrole, autre que celle d'huile, fut l'utilisation militaire notamment pendant la guerre de Sécession de 1861 à 1865 pendant laquelle le pétrole fut présent dans de nombreux domaines (usines d'armement, chemins de fer, bateaux militaires).

La Première Guerre Mondiale marque un tournant dans l'importance stratégique et géopolitique du pétrole. L'or noir devenant le carburant principal qui faisant avancer les navires de guerre, les chars d'assauts, l'aviation ou encore les transports des armées (automobiles et camions). En 1917, une offensive décisive est lancée par les chars d'assauts français alimentés en pétrole par l'allié britannique. Les pays détenteurs de pétrole sont alors détenteurs de la puissance militaire, on assiste à **"une prise de conscience qu'au cours du XX^e siècle, la puissance sera d'abord la puissance fournie par le pétrole"**³. Georges Clémenceau le comprend en 1918 lorsqu'il écrit à Churchill **"l'essence est aussi nécessaire que le sang dans les batailles de demain"**.⁴



Fig 2: La voie sacrée de Verdun, Carte postale

b. Le pétrole au cœur des conflits géopolitiques mondiaux

La quantité de pétrole détenue par un pays devint l'indicateur de sa puissance. La détention de l'or noir apparaît au cœur de nombreux conflits géopolitiques au XXe siècle, impliqué dans des guerres, des alliances ou des coups d'états. La nationalisation du pétrole devient comme un enjeu majeur après la Seconde Guerre Mondiale. En effet, les pays du Moyen-Orient (Arabie Saoudite, Iran et Irak notamment) détiennent des puits de pétrole sur leur territoire sans en être propriétaires. La nationalisation du pétrole iranien par le premier ministre en 1951 mène à un coup d'état organisé par les États-Unis et la Grande-Bretagne afin de récupérer les droits d'exploitation du pétrole (la fin de la crise date d'octobre 1954 lorsqu'un contrat pétrolier avec les compagnies occidentales est signé). Les différents États producteurs de pétrole décident de se regrouper en 1960 sous le nom de l'OPEP (Organisation des Pays Exportateurs de Pétrole) afin de pouvoir influencer sur le marché mondial du pétrole. Les pays producteurs deviennent maîtres de leur production alors qu'il ne touchaient auparavant que des royalties par les compagnies occidentales.

L'importance géopolitique du pétrole va atteindre son paroxysme lors des deux chocs pétroliers en 1973 puis en 1979. Lors de la guerre du Kipour confrontant Israël à l'Égypte, la Jordanie, la Syrie et l'Irak; les pays exportateurs de pétrole sont opposés à Israël, soutenue par les États-Unis. Le pétrole est alors utilisé comme une arme politique, les pays de l'OPEP augmentant de 70% le prix du baril de pétrole. Les États-Unis, qui avaient à cette époque atteint leur pic de production pétrolière et qui importaient massivement sont ainsi plongés dans une crise financière, tout comme les autres pays occidentaux. C'est à ce moment que les premières alternatives au pétrole commencent à voir le jour avec notamment le développement des centrales nucléaires. Le second choc pétrolier intervient en 1979, lorsque le régime du Shah d'Iran est renversé par un régime islamique. Reprenant le modèle de 1973, le nouveau régime stoppe la production de pétrole afin d'augmenter son prix, mettant en place une politique anti-occidentale. A travers ces deux chocs pétroliers, le pétrole se retrouve utilisé comme une arme de dissuasion. En sachant très bien que toute l'économie des pays développés est basé autour de cet hydrocarbure, les pays producteurs de pétrole n'hésitent pas à l'utiliser en moyen de pression.

Évolution du prix du baril de pétrole de 1860 à 2020

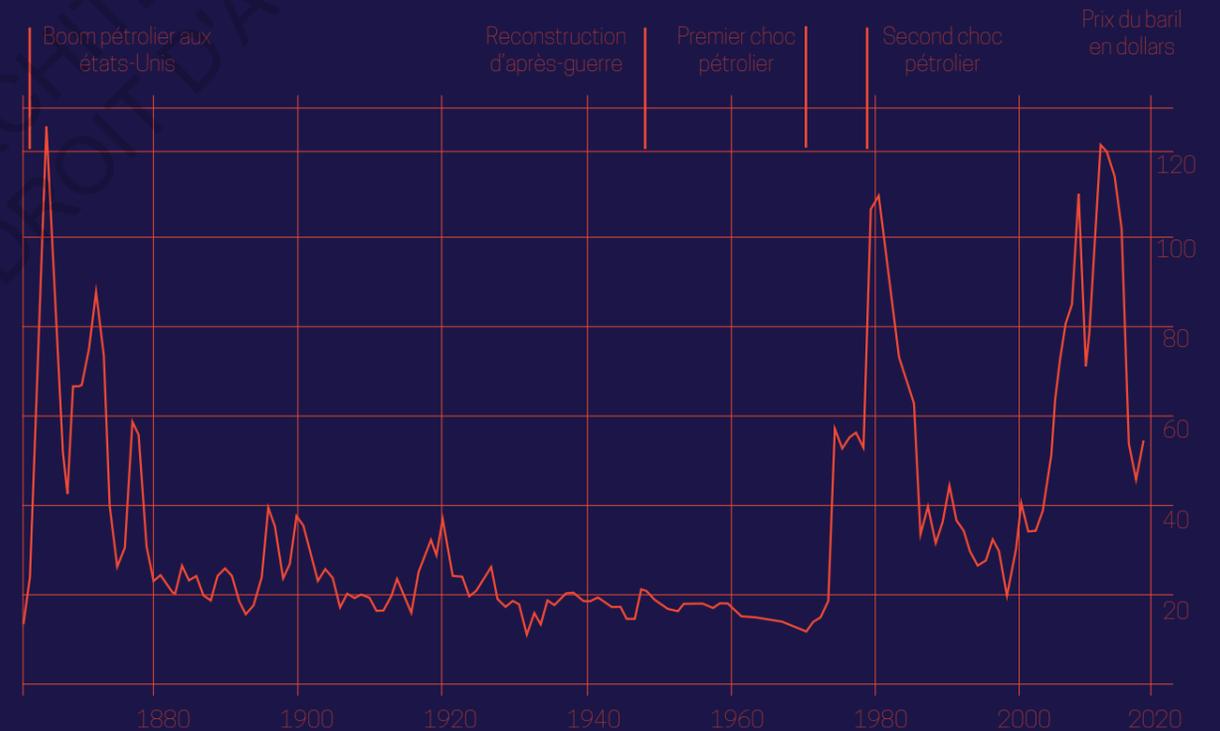


Fig.3: Crude oil prices 1861-2017,
BP Statistical Review of World Energy 2018

“Soudain éclot un phénomène inespéré : l’abondance. Est-elle d’abord engendrée par le désir d’un monde nouveau, ou bien par la matière qui permet de satisfaire ce désir ? Dans la mémoire collective des Français, l’abondance est le miracle de l’après-guerre incarné dans le sourire d’un GI juché sur son tank, distribuant des chewing-gums à la foule libérée – et celle-ci se moque bien de savoir que la pâte à mâcher est l’un des innombrables produits dérivés du pétrole.”

Matthieu Auzanneau

“Or Noir, La grande histoire du pétrole”, 2015

c. L’omniprésence du pétrole

Si le pétrole se retrouve souvent au cœur de tensions géopolitiques, c’est qu’il est présent dans de nombreux domaines de notre vie quotidienne. Sa première utilisation se trouve dans les transports en temps que carburant (voitures, bateaux, avions). Dans une société mondialisée où la mobilité joue un rôle très important, cette utilisation est à elle seule vitale pour le monde moderne. De nombreux domaines de l’industrie sont dépendants de l’or noir tels que la cimenterie, la tuilerie, la papeterie, les usines thermiques; son utilisation en temps qu’huile se retrouve dans le caoutchouc, l’encre, les produits d’entretien, les produits pharmaceutique; à la base de la pétrochimie, il est présent dans les plastiques, les matières isolantes, les fibres synthétiques, les peintures, les colles; son utilisation dans les pesticides et insecticides le rendent essentiel à l’industrie agroalimentaire actuelle.

Le pétrole est omniprésent et se retrouve à la base de la chaîne de fabrication de nombreux produits. Il est véritablement le carburant de notre société. C’est pour cela que son impact sur les conflits internationaux est si important. Lorsque l’Agence Internationale de l’Energie (AIE) dévoile en 2017, dans un rapport annuel, que plus de 50% des champs pétroliers mondiaux ont atteint leur pic de production, ce sont de très nombreux secteurs qui sont menacés¹. Le pétrole étant par définition, une ressource épuisable, la fin d’une société tournée autour de cet hydrocarbure doit être envisagée.

Le futur épuisement des champs pétrolier doit marquer par ailleurs un changement de mentalité. En effet, la production du pétrole au XXe siècle fut exponentielle après la Seconde Guerre Mondiale et cette exploitation eu lieu sans avoir aucun recul sur les conséquence de tels actes. Michel Lepetit écrit dans un rapport pour *Chaire Énergie&Prosperité* **“La trajectoire des “trente glorieuses”, sans cohérence avec les réalités physiques de la planète, ne pouvait être maintenue.”**² Cette notion de cohérence avec les ressources planétaires est représentative de la manière dont nous avons exploité le pétrole et doit faire partie des enjeu de la société de “l’après pétrole”. Son importance a quelque peu diminuée depuis le début du XXIe siècle avec le développement d’autres sources d’énergies à la suite des chocs pétroliers ou encore avec la prise de conscience écologique. Il reste néanmoins ancré dans notre société et une réelle transition énergétique ne sera possible que si le pétrole perd son rôle prépondérant dans le marché actuel.

1. Laurie Debove, “Le pétrole : Le sang noir du monde moderne”, La Relève et la Peste, 1er mars 2019

2. Michel Lepetit, “Méthodologie d’analyse des scénarios utilisés pour l’évaluation des risques liés au climat par une approche paradigmatique PIB-Pétrole”, Chaire Énergie&Prosperité-Financement et évaluations de la transition énergétique, 2018

II. La mise en place d'un forage pétrolier offshore

a. La formation du pétrole

1. "Les types de pétrole",
guider.be, 22 juillet 2008

Offshore
adj. inv. et n.m.
anglais: au large
des côtes
"Se dit des tech-
nologies marines
dans l'industrie
pétrolière."

Le pétrole provient d'un mélange variable d'hydrocarbures (molécules composées d'atomes de carbone et d'hydrogène) associé à d'autres atomes, principalement de soufre, d'azote et d'oxygène. Certains de ses composants peuvent être gazeux, liquides et parfois solides selon la température et la pression ce qui rend le pétrole de consistance variable, plus ou moins visqueuse ou liquide. Sa constitution est issue de la géologie sédimentaire d'un lieu et notamment de la succession de trois phases.

La première phase est la phase d'accumulation. La matière organique présente en surface s'enfonce dans les profondeurs lors de la sédimentation, cette matière est essentiellement d'origine végétale. Vient par la suite la phase de maturation en hydrocarbures. Elle correspond au moment où la matière se transforme avec l'augmentation de la pression et de la température. Elle est d'abord transformée en kérogène. A haute température, le kérogène subit une décomposition thermique qui expulse les hydrocarbures. Plus le sédiment est profond et chaud, plus la part de gaz (hydrocarbures légers) est importante. Enfin, la phase de migration et piégeage est l'ultime phase de la création d'hydrocarbures. Sous la pression croissante, une partie des hydrocarbures migre vers la surface de la terre, où elle s'oxyde ou subit une biodégradation. L'autre partie migre jusqu'à rester piégée dans une roche poreuse et perméable, source d'un futur gisement de pétrole, si le piège est fermé.

La naissance d'un gisement de pétrole résulte ainsi d'un ensemble favorable de facteurs géologiques. Cela influe sur la disparité des gisements dans le monde et les différents types de pétrole (par exemple, le pétrole issus de gisements orientaux, *le Dubai Light*, est différents du pétrole européen, *le Brent*)¹. Les pétroles sont généralement classés selon leur origine et leur composition (fluidité, degré de viscosité, teneur en soufre, etc.) indiquant leur qualité (les pétroles légers et faibles en souffres sont considérés de meilleure qualité).

Étapes de la formation du pétrole

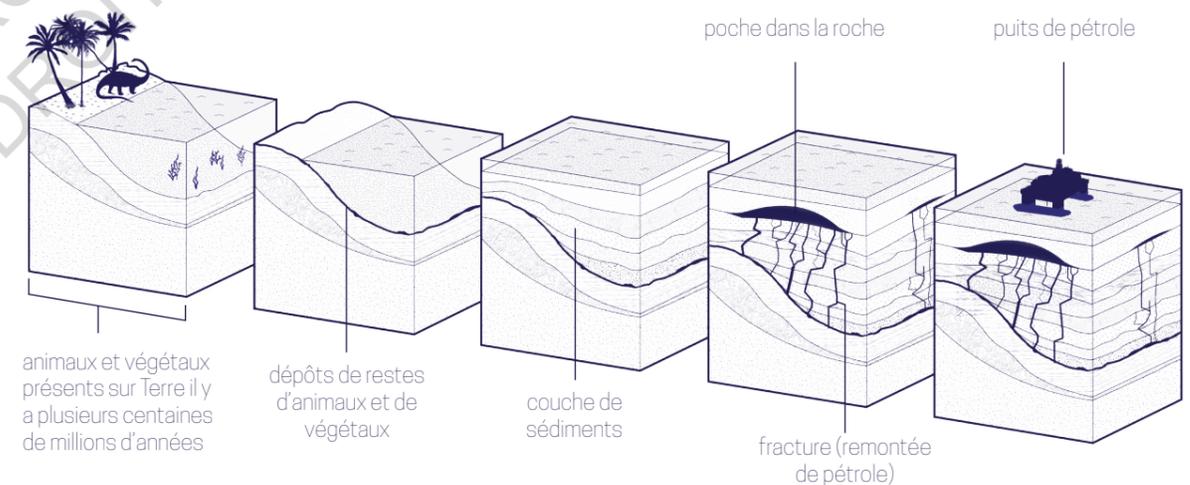


Fig.4: La formation du pétrole,
schoolmouv.fr

1. "L'exploration, un processus en plusieurs étapes", planète-énergie.com, 22 août 2014

b. L'exploration pétrolière

La mise en exploitation d'un puits de pétrole commence par un appel d'offre international lancé par un pays souhaitant exploiter le pétrole potentiellement présent sur son territoire. Une compagnie pétrolière est retenue pour effectuer ce travail, celle-ci disposant une licence d'exploration..

Deux phases précèdent l'exploitation d'un gisement de pétrole par une plateforme pétrolière: la phase de recherche et la phase d'exploration. La recherche de gisements est la première étape pour créer un forage pétrolier. Durant cette phase, un ou plusieurs navires sismiques tirent derrière eux une série de canons à air. Ceux-ci déchargent de l'air comprimé à haute pression dans le milieu marin en vue de provoquer une onde sismique se propageant jusque dans le sous-sol marin. En fonction du type de roches rencontrées, ces ondes sont plus ou moins réfléchies et remontent plus ou moins vite en surface. Ces échos sont alors captés par des micros, tirés le plus souvent eux aussi par le navire sismique. Un traitement informatique permet de restituer une image de synthèse en trois dimensions distinguant la forme des différentes couches géologiques mais aussi la nature des roches, leur porosité, voire les fluides qu'elles contiennent. Les études sismiques ne sont pas complètement fiables et des études géologiques supplémentaires sont généralement nécessaires. L'objectif de ces recherches est de réduire au maximum les incertitudes sur l'existence d'un puits de pétrole. La phase de recherche se poursuit par la mise en place d'un forage d'exploration. La décision de mettre en place un tel forage est toujours délicate puisque l'existence d'un puits de pétrole reste spéculative (le taux moyen de réussite est estimé à une chance sur trois)¹. La valeur potentielle du gisement est calculée afin d'étudier sa rentabilité, les coûts d'exploration étant intégralement supportés par la compagnie pétrolière. Le forage d'exploration s'effectue avec une plateforme flottante. Généralement équipée d'un derrick (tour soutenant le dispositif de forage d'un puits d'hydrocarbures) et d'un trépan (outil de forage en forme de cône permettant de casser les roches), elle est utilisée pour effectuer le forage du plancher marin. Elle permet de vérifier s'il y a suffisamment d'hydrocarbures dans le réservoir pour entamer son exploitation. Pour contrôler la pression, on injecte par le derrick une "boue" dense dans le forage qui permet également de remonter les débris en surface. Ces débris sont analysés et peuvent fournir des indications sur la contenance des réservoirs. Plusieurs forages d'exploration sont réalisés afin de délimiter l'espace du gisement et l'endroit le plus propice à l'installation d'une plateforme plus importante. Si le gisement est estimé rentable, une plateforme de production ou d'exploitation est construite à terre et remorquée sur le site.

“À l’époque, j’étais directeur technique, l’un des pétroliers responsable de l’évaluation des puits. Jamais je n’oublierais l’instant où j’ai vu ces échantillons. Huit cent pieds de sables pétrolifères! Fantastique! C’était comme faire sauter la banque à Monte-Carlo ”

Ric Charlton

A. Alvarez, “Offshore: Un voyage en mer du Nord”, 1987

II. Historique

a. Les prémices

L'histoire de l'industrie pétrolière offshore est rythmée par trois phases majeures: les prémices, les deux chocs pétroliers de 1973/1974 et 1979/1980, et la conquête des grandes profondeurs à partir des années 2000. Les premières installations offshore voient le jour dans le Golfe du Mexique dans les années 1940. Par définition "offshore" (en dehors des côtes), elles reprennent les modèles de plateformes utilisées au Venezuela sur le lac Maracaibo dans l'entre-deux-guerres. A cette époque, l'offshore pétrolier reprend les mêmes techniques et installations que sur terre. Les machines de production sont posées sur des plateformes fixes dans des profondeurs très faibles, ce qui rendent les procédés d'exploration et de forage identiques à ce qui existait à terre. La première véritable plateforme offshore est installée en 1947 par la compagnie américaine Kerr-Mc Gee. Celle-ci, installée à dix-sept kilomètres des côtes, était une installation de deux plateformes dotées de quartiers d'habitation et de moyens logistiques permanents. Jusqu'en 1960, seulement 7,5%¹ de la production pétrolière mondiale était extraite du fond de l'eau. Les plateformes pétrolières, à cette époque, prenaient déjà différentes formes. Les premières installations sont des plateformes de bois sur lesquelles on posait un derrick qui servait à forer puis extraire le pétrole. Des progrès techniques sont survenus par la suite avec les barges mobiles de forages, qui permettaient de déplacer les installations de forage et de les maintenir en position fixe par ballastage, puis avec les premières plateformes submersibles qui reprenaient le même principe mais qui pouvaient être utilisées à plus grande profondeur. En 1953, un type de plateforme encore actif aujourd'hui voit le jour, la plateforme auto-élévatrice. Le principe de cette installation est de poser les appareils de forage et de production sur une plateforme centrale flottante dotée de bras à ses extrémités. Ces bras mobiles peuvent se déployer afin de se fixer au fond de l'eau pendant la phase d'exploitation ou peuvent être remontés pour déplacer l'installation.

Le pétrole offshore se développe petit à petit si bien qu'en 1970, 16 % du pétrole mondial est extrait offshore. Outre que les États-Unis et le Venezuela, de nouveaux sites de production apparaissent, notamment dans le Golfe Persique ou le Golfe de Guinée. Cette production s'est par la suite accélérée lors des chocs pétroliers des années 1970, marquant le véritable début de l'offshore pétrolier tel qu'on le connaît aujourd'hui.

b. Les chocs pétroliers

Les deux chocs pétroliers permirent d'accélérer les techniques offshore puisque de nouvelles zones, avant inatteignables, ont été sujettes à la prospection puis à l'exploitation pétrolière. Les premiers gisements de pétrole et de gaz furent trouvés dès les années 1960 en mer du Nord mais à cette époque, l'exploitation de ces ressources, situées à des kilomètres de la côte dans des conditions de mer dantesques (vent et houles très importants) paraissait trop coûteuse et risquée. Le premier choc pétrolier de 1973 a changé la donne. En effet, avec la main mise des pays de l'OPEP sur le pétrole mondial et la hausse

1. Jacques Guillaume, "Les énergies offshore à la rencontre de la haute mer", Bulletin de l'Association de Géographes Français, 2013

des prix du baril, les pays occidentaux se devaient de trouver un moyen d'être dépendant en pétrole. Sachant que des réserves pétrolifères existaient en mer du Nord, les États européens et plus particulièrement la Grande-Bretagne ont mis en vente les premières licences d'exploration.

C'est le début de l'offshore moderne avec la création de plateformes conçues pour résister aux conditions extrêmes de mer du Nord. Bien que leur conception, leur transport et leur coût d'exploitation soit plus élevés que dans d'autres régions du globe, l'augmentation du prix du baril ainsi que la nécessité d'une indépendance pétrolière vis-à-vis des pays de l'OPEP rendit ces exploitations rentables.

“C'est l'envolée des cours du baril qui a permis de rendre rentable le fait d'aller chercher du pétrole en mer du Nord, avec des installations qui à l'époque étaient aussi hors normes que celles du gaz de schiste aujourd'hui”²

Les nouveaux moyens déployés permirent aux plateformes offshore d'accéder à des dimensions jamais vues auparavant. Celles-ci rendirent accessibles des puits situés plus profond notamment grâce au développement des plateformes mobiles et des navires de forages qui ne nécessitent pas de reposer au fond de l'eau:

“Alors qu'en 1965, on ne dépassait guère les 200 m, les records de profondeur en forage d'exploration atteignirent les 450 m en 1970 sur les côtes américaines, puis 698 m au Gabon en 1975 ; on dépassa les 1 000 m en Thaïlande en 1976, pour atteindre près de 1 500 m au Canada en 1979. Aujourd'hui, les navires de forage les plus recherchés sont capables de travailler au-dessus de 3 000 m d'épaisseur d'eau.”³

c. La conquête des profondeurs

L'exploration et la production de pétrole dans des zones très profondes ne put se faire qu'à travers le développement des installations pétrolières flottantes. Les énormes plateformes reposant sur le fond développées en mer du Nord sont aujourd'hui dépassées, limitant la prospection à trois-cents mètres de profondeur environ. Le développement des technologies sous-marines et l'automatisation permirent d'exploiter des gisements plus profonds à des coûts rentables par rapport aux bénéfices que ces nouveaux forages peuvent rapporter. La conquête de l'offshore profond (au-delà de mille mètres) est évidemment plus risquée et plus coûteuse, mais de nouvelles installations se sont développées pour exploiter ces nouveaux gisements. Les FPSO (Floating Production Storage Offloading) sont les plateformes offshore d'aujourd'hui et s'apparentent à de grands navires supportant les infrastructures pétrolières. La tête de puits (autrefois le derrick) n'est plus située sur la plateforme mais au fond de l'eau et est reliée directement par un tuyau. Des technologies permettant au navire de rester fixe rendent possible la phase de forage sans être relié au fond marin. Ces installations constituent le nouveau visage de l'offshore pétrolier, permettant **«une intégration plus douce de l'exploitation des hydrocarbures en milieu marin»⁴**.

2. Citation de Matthieu Auzanneau dans l'article de Laurie Debove, "Le pétrole : Le sang noir du monde moderne", La Relève et la Peste, 1er mars 2019

3.4. Jacques Guillaume, "Les énergies offshore à la rencontre de la haute mer", Bulletin de l'Association de Géographes Français, 2013

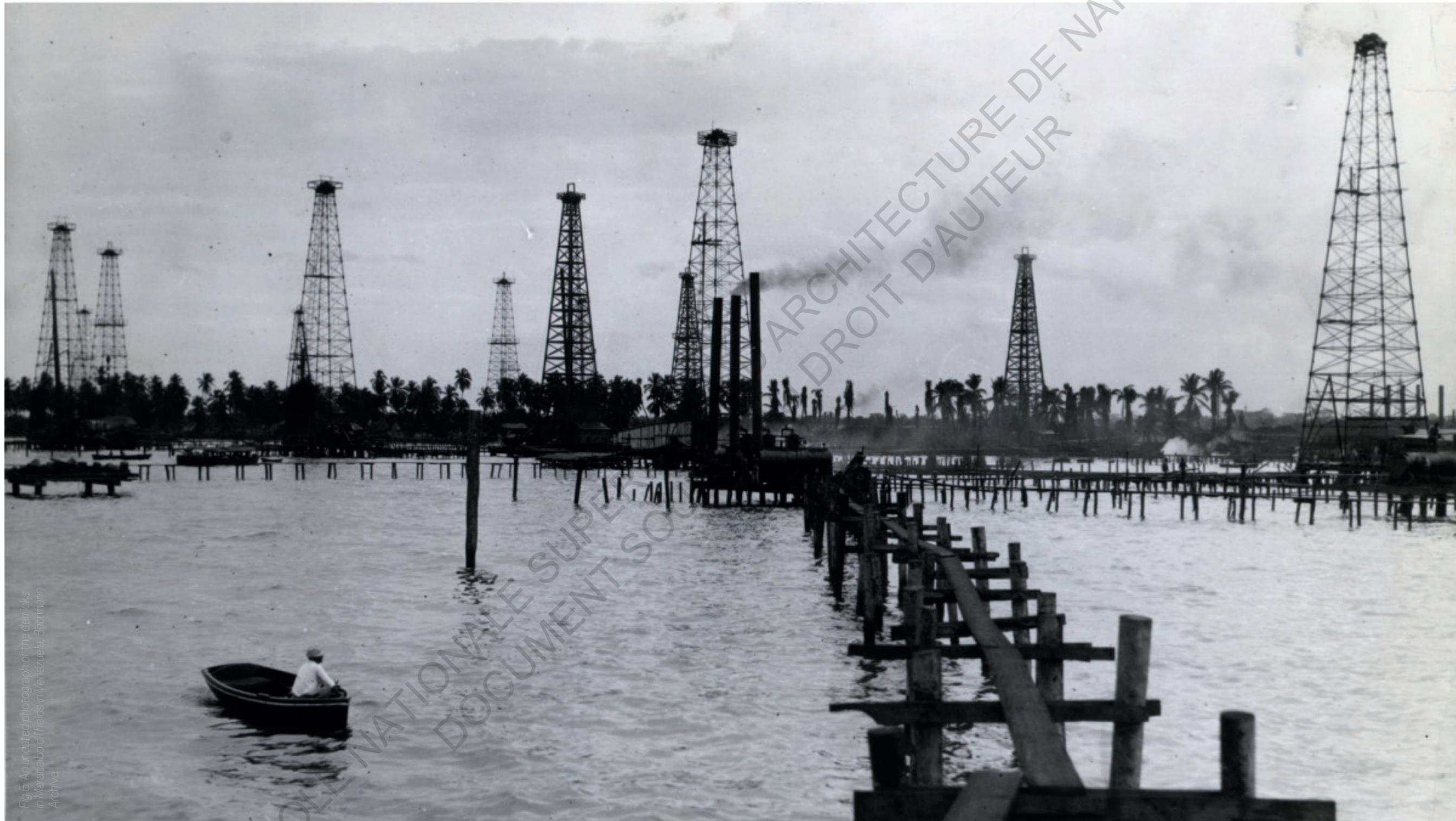


Fig. 5. An undated photograph of the derricks in Maracaibo oil fields in Venezuela. *UCLA, Bettmann Archive*



D'ARCHITECTURE DE NANTES
L'ARCHITECTE

Fig. 6: Transport of Troll A Platform



Fig. 7. FPSO CLOV, Total, 2014

IV. Des enjeux multiples

a. Les acteurs de l'industrie pétrolière offshore

1. "La production offshore de pétrole et de gaz", planète-énergies.com, 4 août 2015

2. "Offshore : une part grandissante dans l'exploitation pétrolière et gazière", planète-énergies.com, 20 janvier 2016

Les fonds marins contiennent environ 20% des réserves mondiales de pétrole et 30% des réserves de gaz naturel dans le monde¹. La production offshore correspond à 30 % de la production mondiale de gaz et de pétrole en 2015 selon l'EIA (Energy Information Administration) américaine. Ces pourcentages sont restés stables depuis le début du XXI^e siècle, malgré le fort développement "onshore" des hydrocarbures non-conventionnels comme les sables bitumineux et les hydrocarbures de schiste. Avec l'évolution des moyens techniques et technologiques et une meilleure connaissance des fonds marins, la production du pétrole offshore devrait augmenter avec les gisements découverts dans les grandes profondeurs (la part de production du pétrole offshore profond représente 6% de la production mondiale et devrait passer à 11% d'ici 2035)².

La relation entre les différents acteurs du secteur pétrolier et notamment de l'offshore a radicalement changé depuis les débuts de la production de l'or noir. Le marché du pétrole avant 1960 et la création de l'OPEP était contrôlé par les américains, les britanniques et les russes. Leurs compagnies étaient propriétaires des champs pétroliers et versaient de l'argent aux pays dotés de gisements de pétrole. La création de l'OPEP a renversé ce rapport en donnant la propriété des champs pétroliers aux pays, qui engagent les compagnies pétrolières pour exploiter les gisements. Les premières compagnies pétrolières restaient cependant des organismes très puissants car elles étaient très peu nombreuses sur le marché (le nom donné aux premières compagnies pétrolières fut les *Sept Sœurs* pour désigner les compagnies Exxon, Mobil, Soconal, Texaco, Gulf, BP et Shell).

Cette situation a quelque peu changé. De nouvelles compagnies nationales sont entrées sur le marché du pétrole avec la multiplication des gisements. Les États, dans une envie d'indépendance pétrolière, font de plus en plus confiance aux compagnies nationales ce qui change la manière dont fonctionne le marché pétrolier actuel, beaucoup plus multidimensionnel. La question de la fin de vie des plateformes reste le problème des compagnies pétrolières, propriétaires des installations offshore. Elles se doivent de les retirer à la fin de l'exploitation. Il est cependant assez courant que cette responsabilité revienne aussi aux États, ceux-ci étant redevables financièrement des compagnies pétrolières.

b. Enjeux sociaux-économiques

L'exploitation du pétrole offshore n'engage pas seulement les compagnies pétrolières et les États concernés mais aussi un très grand nombre de filières qui gravitent autour de cette activité. Parmi ces filières on peut citer les entreprises d'études sismiques, d'exploration, de forage, d'exploitation, tous les métiers de la construction, de la certification, des conseils et audits que cette construction impose, l'assistance à l'exploitation, ou encore les services maritimes spécialisés (plongée, logistique, surveillance, transport, etc). De plus, le matériel nécessaire à la production du pétrole offshore est construit et mis au point par de nombreux secteurs industriels comme la construction navale, la construction métallique, la connectique, l'électronique, la chimie, etc.

«La filière peut ainsi s'exprimer au travers de dizaines de milliers d'emplois, de milliards d'euros de chiffre d'affaires et peser sur une part très significative du PIB ou des exportations de l'État producteur»¹

Pour certains états de l'OPEP, la part du PIB issue de l'industrie pétrolière peut atteindre le quart du PIB total (28,7% du PIB de l'Arabie Saoudite en 2018)². Les États sont donc directement impactés par les forages offshore sur leur territoire. Selon Jacques Guillaume, l'intégration de l'activité pétrolière se fait différemment suivant les pays et on remarque trois situations distinctes parmi les États concernés :

- . les États rentiers qui se contentent d'une croissance de leurs richesses nationales, sans pour autant connaître de transformations profondes de leurs industries ou de leurs services
- . les États "intégrateurs", dont la filière offshore transforme profondément les structures économiques, dans le sens d'un meilleur développement économique et social (la Norvège ou l'Arabie Saoudite)
- . les États démunis en ressources, mais bien adaptés structurellement pour profiter de l'essor d'une filière tournée vers l'exportation. L'exemple de la France est assez parlant puisque le secteur para-pétrolier représente un chiffre d'affaires de l'ordre de trente milliards d'euros à son pic en 2014, et environ soixante mille emplois.³

1. Jacques Guillaume, "Les énergies offshore à la rencontre de la haute mer", Bulletin de l'Association de Géographes Français, 2013

2. Chiffres de la Banque Mondiale disponibles sur le site: <https://donnees.banquemondiale.org>

3. Vincent Collen, "Le secteur parapétrolier français prêt à rebondir", Les Echos, 3 octobre 2018

c. Enjeux environnementaux

1. Voir: 2. La plateforme offshore, III. La conception des plateformes, c. Conséquences de l'activité pétrolière sur l'environnement marin, p.68-69

2. Jacques Guillaume, "Les énergies offshore à la rencontre de la haute mer", Bulletin de l'Association de Géographes Français, 2013

3. Voir: 3. Que faire des plateformes en fin de vie?, I. Le démantèlement, c. Une évolution réglementaire, p.80

Les enjeux environnementaux ne sont pris en compte dans le secteur pétrolier que depuis quelques années. Le début de l'exploitation pétrolière passait outre les dégradations des territoires et l'implantation des premières plateformes en mer du Nord n'était motivé que par des raisons économiques. L'intégration environnementale des installations offshore est inexistante et pose question quand on se penche sur la fragilité des milieux marins concernés. La pollution produite par les plateformes pétrolières se joue sur deux niveaux, les pollutions opérationnelles (issues de l'activité quotidienne des plateformes) et les aléas technologiques (marée noire par exemple).¹

Les pollutions opérationnelles ne sont pas négligeables et ont fait, au fil du temps, l'objet de réglementations strictes. Les risques d'accident sont en revanche beaucoup plus complexes à prévoir et sont souvent liés à des défaillances de structure ou encore à des explosions accidentelles. Ces dernières sont les plus dangereuses pour l'environnement car beaucoup de pétrole y est rejeté, entraînant des marées noires. Même s'ils sont peu nombreux, les effets de ces accidents se ressentent plusieurs dizaines d'années sur les écosystèmes marins. Malgré les avancées technologiques de l'offshore pétrolier, l'exploitation de pétrole à grande profondeur augmente ces risques, la pression de l'eau étant plus importante au fur et à mesure que l'on descend dans les profondeurs. L'activité est cependant de plus en plus réglementée même si cette réglementation est contrariée par les États qui ne souhaitent pas voir arriver des règles trop sévères.

"A ce sujet, la volonté des autorités européennes d'imposer un règlement aux États-membres en vue d'améliorer la sécurité des activités pétrolières offshore s'est heurtée à de nombreuses hostilités et s'est traduit finalement par la production d'une simple directive en juin 2013, avec des ambitions assez limitées."²

En mer du Nord, la convention OSPAR (Convention Oslo-Paris) contrôle depuis 1992 le secteur pétrolier offshore en mettant l'accent sur la protection des milieux marins. L'une des principales directives de cette convention est l'obligation, depuis 1998, de démanteler les plateformes pétrolières désaffectées, même s'il existe des dérogations qui diminuent l'impact de cette décision.³

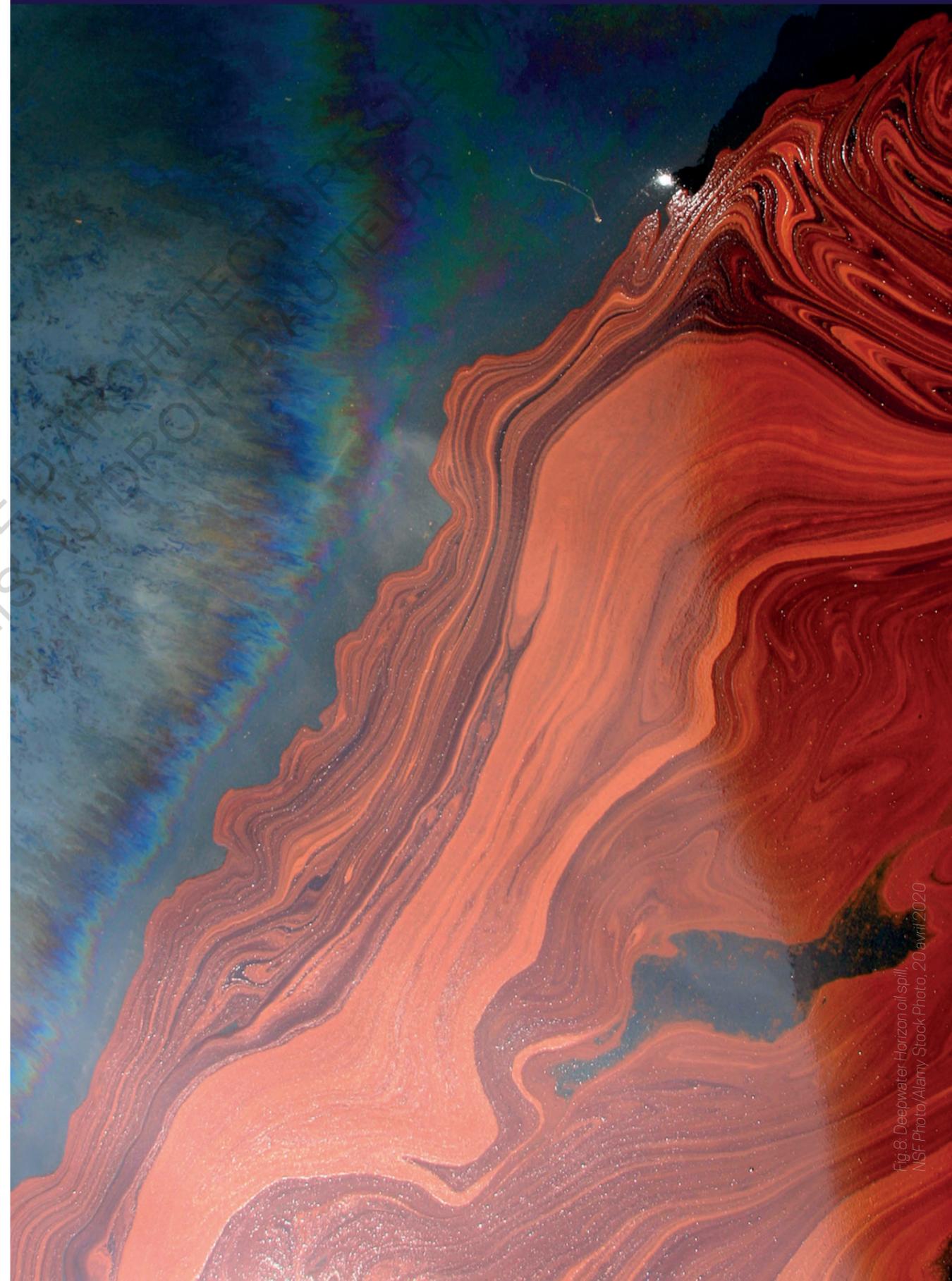


Fig. 8. Deepwater Horizon oil spill. NSF Photo/Alamy Stock Photo, 20 avril 2020

Eaux territoriales:

Le pays côtier a les droits sur:

- La souveraineté territoriale
- Les droits de pêche
- Les droits sur les ressources minières

ZEE:

Le pays côtier possède:

- Les droits de pêche exclusifs
- Les droits exclusifs sur les ressources minières

Plateau continental:

Le pays côtier possède les droits exclusifs sur les ressources minières

Haute Mer:

Tous les pays peuvent y pêcher et aller en mer.

La "Zone":

L'autorité des Fonds Marins détermine les accès et licences

 Juridiction et souveraineté nationale

 Juridiction par l'autorité des Fonds Marins

 Juridiction par la CNUDM (Conventions des Nations Unies sur le Droit de la Mer)

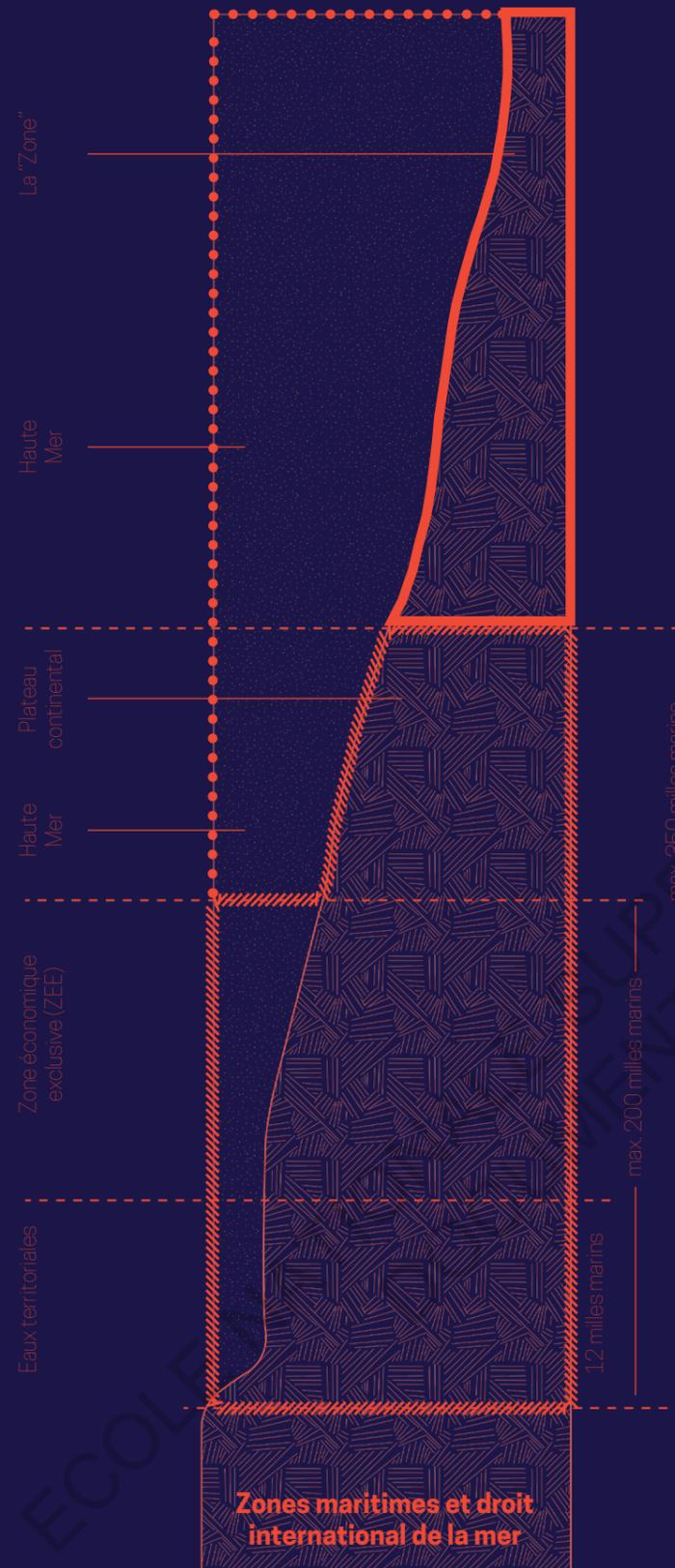


Fig.9. Comment pensent les juristes -Zones maritimes et droit international de la mer, fr.boell.org

d. Enjeux territoriaux

Les enjeux territoriaux forment une part importante des enjeux de la production offshore. En effet, l'attribution d'un territoire comportant des ressources pétrolières peut s'avérer décisif pour le développement économique d'un pays. La mise en production du pétrole sous-marin a permis de solidifier la réglementation à ce sujet, les puits situés au milieu de l'océan étant sujets à de la concurrence entre les pays. Cette notion d'appartenance est définie par le Droit de la Mer et a nettement évolué du fait des avancées technologiques permettant à l'offshore de gagner la haute mer.

Le droit de la mer est constitué par l'ensemble des règles relatives à l'utilisation des espaces maritimes par les sujets du droit international, les États. Il définit donc juridiquement d'une part les espaces maritimes (eaux intérieures, mer territoriale, zone contiguë, zone économique exclusive, plateau continental, haute mer, régimes particuliers des détroits internationaux et des États archipels), d'autre part les droits et les devoirs des États dans ces espaces, notamment ceux de navigation et d'exploitation des ressources économiques, ainsi que ceux de la protection du milieu marin.

La volonté d'appropriation exclusive des ressources par les États permet de repousser certaines limites juridiques, notamment celles de la haute mer, alors qu'elle était au départ à quelques milles du littoral. Deux conventions principales ont stabilisés les différents espaces maritimes; la convention de Genève en 1958 sur la Haute mer et celle de Montego Bay en 1982 sur la définition du Plateau continental. Il reste cependant à arbitrer les différents usages de l'espace maritime que l'exploitation d'hydrocarbures implique. Cet arbitrage est du ressort des législations nationales des différents États, progressivement obligés d'appliquer ce que l'on appelle une gestion intégrée de la mer et du littoral, grâce aux outils de la planification spatiale maritime.

1. Voir: 4. Les plateformes offshore supports d'énergies renouvelables, III. Le contexte en mer du Nord, b. Planification de l'espace maritime, p.120-125

V. Le futur du pétrole offshore

a. Une nouvelle géographie se dessine

1. "Panorama 2012-Les hydrocarbures offshore", IFP Energies Nouvelles, décembre 2011

2. Loïc Simonet, "Les hydrocarbures de l'Arctique : Eldorado ou chimère ?", Géoéconomie, N°82, 2016

3. "Stop aux forages pétroliers en Arctique!", greenpeace.fr, 25 août 2017

Alors que le pétrole "onshore" se concentre sur une zone géographique précise et concentrée (la majorité des réserves mondiales de pétrole se trouvent au Moyen-Orient), le pétrole offshore est présent dans plusieurs régions du monde. L'exploitation du pétrole d'origine maritime s'est développée dans un premier temps dans le Golfe du Mexique puis en Mer du Nord. Par la suite, et grâce à des avancées techniques, deux autres zones d'exploitation vont émerger : au large du Brésil et dans les eaux du Golfe de Guinée (Nigéria, Gabon, Angola). La conquête de l'offshore profond a complètement bouleversé la géographie du pétrole offshore, à travers laquelle de nouveaux enjeux géopolitiques apparaissent. Le Golfe de Guinée, devient l'une des régions les plus importantes dans la stratégie des Etats consommateurs et des majors (Total notamment) car l'Afrique représente environ 20% de la production du pétrole offshore en 2011¹. On retrouve ensuite le Golfe du Mexique puis le Brésil.

L'évolution des techniques et le développement de l'offshore dans des milieux de plus en plus difficiles d'accès vont placer de nouvelles zones sur la carte de l'offshore mondial. La zone Arctique devient l'endroit le plus en vue pour les hydrocarbures offshore. En effet, la fonte des glaces permet aux navires de s'approprier la zone. L'exploration du Grand Nord constitue le nouvel eldorado des compagnies pétrolières car d'après les estimations, 13% des réserves pétrolières et 30% des réserves gazières mondiales se trouveraient dans cette zone.² La présence d'hydrocarbures dans le Grand Nord est connue depuis plusieurs dizaines d'années (la première plateforme pétrolière de la région a été installée dans les années 1960) mais la réduction de la banquise donne accès à de nouvelles zones de forages. Malgré ces changements dans la géographie de la région, la production pétrolière apparaît périlleuse. Les températures extrêmes ainsi que le risque de collision avec des icebergs font partie des risques majeurs en Arctique. La collision d'une plateforme avec un iceberg provoquerait des dégâts très importants et la perspective d'une marée noire en Arctique serait destructrice pour son écosystème. C'est pour ces raisons que le combat contre l'exploitation du pétrole en Arctique est l'une des principales préoccupations de GreenPeace. Les membres de l'association ont menés différentes actions sur le terrain pour empêcher les exploitations pétrolières.³ La possibilité d'exploiter les ressources de l'Arctique est un des enjeux majeurs pour le secteur pétrolier offshore et constitue, par la même occasion, un combat écologique de premier ordre, cette exploitation pouvant aboutir à une catastrophe environnementale extrêmement importante.

Régions pétrolières et gazières offshore et profondeur des puits forés

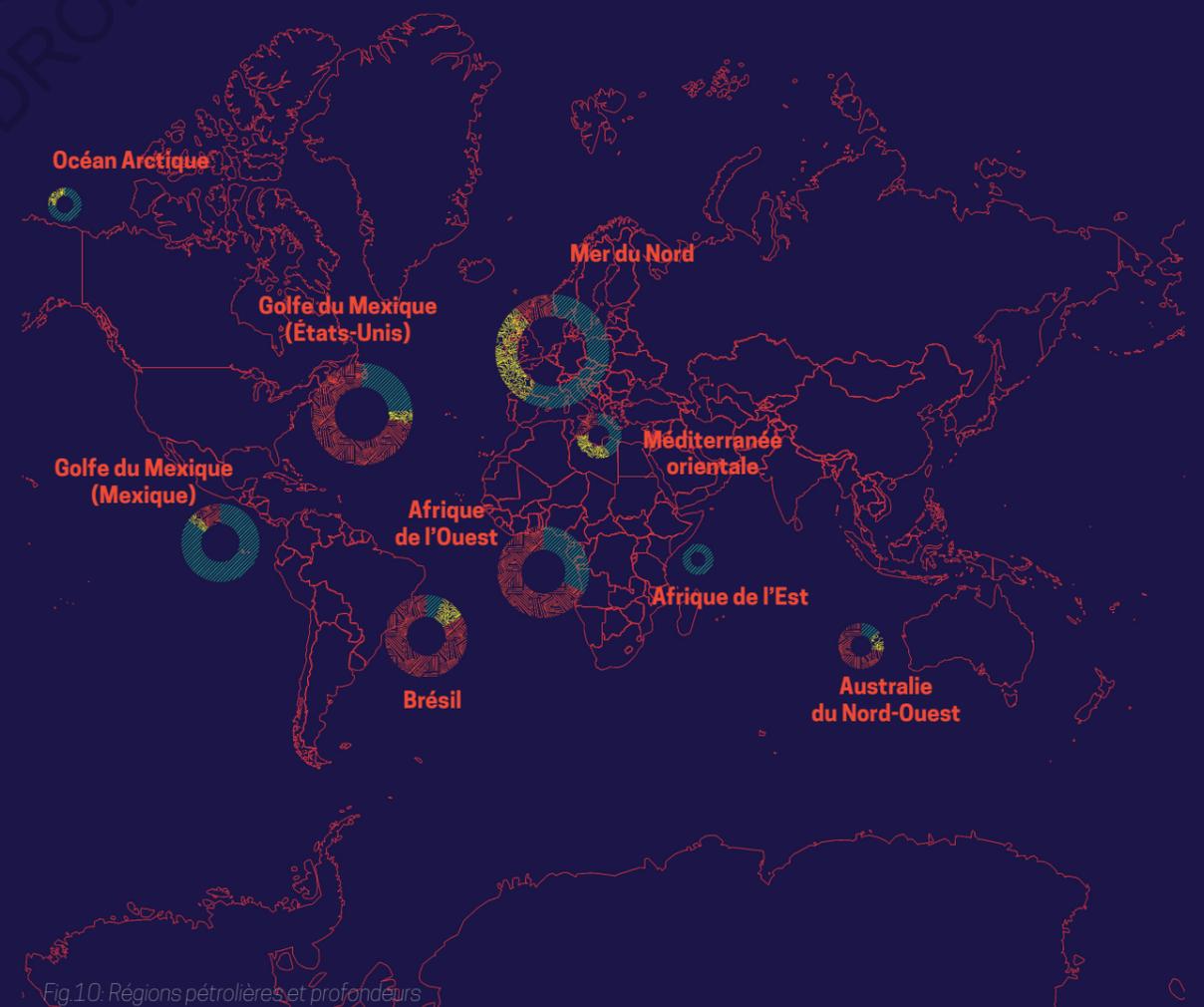


Fig.10. Régions pétrolières et profondeurs des puits forés, Deloitte's Petroleum Services Group, Offshore mag, 2017

b. Le pic pétrolier

1. Définition de l'article "Le pic pétrolier", connaissanceenergies.org, 20 mai 2016

2. Citation de Matthieu Auzanneau dans l'article de Laurie Debove, "Le pétrole : Le sang noir du monde moderne", La Relève et la Peste, 1er mars 2019

Le pic pétrolier désigne le sommet de la courbe de production d'un gisement pétrolier. Ce terme fait référence au moment où la production d'un gisement plafonne en volume avant de commencer à décliner. La notion de pic pétrolier a été théorisée en 1956 par Marion King Hubbert, un géologue de la compagnie Shell. Il découvre alors que la production d'un puits pétrolier débute faiblement, puis croît de manière exponentielle atteignant ainsi son "pic", avant de décroître progressivement.

Le pic de pétrole conventionnel (pétrole pouvant être produit dans des conditions techniques et économiques satisfaisantes: extrait à terre et en mer jusqu'à 3 000m de profondeur)¹ est atteint en 2005, selon l'Agence Internationale de l'Énergie. Le déclin n'a pourtant pas lieu puisque en 2015, la production de pétrole conventionnel atteignait plus ou moins les mêmes niveaux. Cette stagnation est due à l'augmentation du prix du baril qui a permis aux compagnies pétrolières d'utiliser plus de moyens pour maintenir la production.

"Les capitaux investis dans la production pétrolière ne représentent pas forcément la recherche de nouveaux champs pétroliers. Cela consiste essentiellement à rajouter des pailles dans les verres qu'on a déjà commencé à boire : rajouter des puits, faire des puits plus puissants, pomper plus fort ... dans des zones qui sont généralement celles du pétrole conventionnel."²

Au pétrole conventionnel s'ajoute le pétrole non-conventionnel (issu d'huiles de schistes, de sables bitumineux, de schistes bitumineux, des très grandes profondeurs) qui coûte beaucoup plus cher en moyens financiers et en énergie à produire. Le pétrole de schiste est issu des roches mères dans lesquelles le pétrole est en train d'être produit. Son exploitation consiste à fracturer la roche avant que celui-ci remonte naturellement. Le pétrole de schiste assure un approvisionnement en pétrole mais n'est pas considéré comme une source rentable car il nécessite autant d'énergie pour être produit qu'il en rapporte. Il fait cependant partie des raisons pour lesquelles la production mondiale de pétrole ne diminue pas malgré l'épuisement de nombreux gisements conventionnels.

Les explorations récentes ne font cependant pas l'objet de découvertes de nouveaux gisements importants, les zones pétrolifères "restantes" étant situées à de grandes profondeurs.

"Seuls 11 milliards de barils équivalent pétrole d'hydrocarbures ont été découverts en 2017, soit 13 % de moins que l'année précédente, selon une estimation de l'IFP Energies nouvelles (IFPEN). Jamais un volume aussi faible n'avait été enregistré depuis les années 1990."³

La production de pétrole non conventionnel apparaît comme un sursis qui ne résout en rien l'épuisement des réserves mondiales. Seules des avancées technologiques majeures pourraient permettre d'exploiter du pétrole aujourd'hui considéré comme trop risqué de manière rentable.

En mer du Nord, l'exploitation pétrolière en est aujourd'hui à son crépuscule malgré un léger regain d'activité ces dernières années⁴. Les principaux pays producteurs tels que la Grande-Bretagne et la Norvège ont aujourd'hui quasiment épuisés leurs ressources. Atteindre les réserves restantes est complexe et coûteux et la mise en exploitation de nouvelles installations dépendra surtout du prix du baril de pétrole. La majorité des gisements est cependant sur la fin de leur exploitation. Sur les trois-cent-trente gisements situés dans les eaux britanniques de la mer du Nord, plus d'un tiers risquent de fermer dans les prochaines années⁵. Le démantèlement de certaines plateformes a déjà commencé, notamment celui du secteur de Brent. L'exploitation importante de pétrole de schiste aux États-Unis ainsi que la volonté de plus en plus grande des États de réduire leur consommation en pétrole pourrait accélérer le déclin de la mer du Nord. Le démantèlement des infrastructures pétrolières est le nouveau défi des pays producteurs de pétrole et des compagnies pétrolières présentes en mer du Nord, et pourrait mener ce territoire vers de nouvelles perspectives.

3. Laurie Debove, "Le pétrole : Le sang noir du monde moderne", La Relève et la Peste, 1er mars 2019

4. Vincent Collen, "La mer du Nord suscite toujours l'appétit des pétroliers", Les Echos, 8 octobre 2019

5. Kiran Stacey, "Royaume-Uni. Pétrole : fin de partie en mer du Nord", Courier International, 3 mars 2016

Évoluant dans un milieu doté de moyens sans limites, le milieu du pétrole offshore ne cesse de changer. Son développement est très rapide et nul doute que de nouveaux types d'infrastructures et de technologies vont être mis en place au service des forages pétroliers dans les années à venir. Cette nécessité de produire des systèmes toujours plus performants afin de forer plus profond incite néanmoins les compagnies pétrolières à laisser de côté leurs anciennes structures. Comme d'autres secteurs industriels, le secteur du pétrolier offshore délaisse des tonnes d'acier ou de béton en pleine mer, ne sachant plus quoi faire de ces infrastructures dépassées. Ce processus existe depuis plusieurs années, à l'image du lac vénézuélien Maracaibo qui accueillait hier les premières barges de forage et qui est aujourd'hui en constante marée noire à cause des oléoducs en ruines.

La reconversion est un processus très complexe. Les majors pétroliers ne se pressent pas à payer les dizaines de millions d'euros nécessaires au démantèlement de leurs infrastructures pétrolières d'autant plus que les pays qui les accueillent ne leur imposent pas toujours la pression nécessaire pour les pousser à entamer de telles actions. En effet, les contrats permettant l'exploitation d'un puits de pétrole signés il y a quelques années ont permis à certains États de gagner énormément d'argent et de parfois leur éviter une crise financière; on peut noter le cas de l'Angleterre dont la situation économique était très mauvaise avant les premières exploitations pétrolières dans les années 1970. Les États, parfois redevables, ne forcent donc pas les compagnies à démanteler ou du moins à réfléchir au futur des installations obsolètes.

Malgré tout, cette reconversion est possible et doit être la plus juste vis à vis de nombreux facteurs (environnementaux, sociétaux, économiques). Celle-ci doit prendre en compte des questions de planification maritime, notion qui s'inscrit dans la continuité des enjeux territoriaux vus précédemment, de respect de l'environnement sans oublier l'existant. Une reconversion doit être pensée en adéquation avec les plateformes pétrolières, leurs matériaux, leur architecture. Étant donné la difficulté de démanteler et de modifier ces structures, une reconversion possible est d'utiliser l'existant pour lui donner une nouvelle vie. Une analyse poussée de l'architecture des plateformes est alors indispensable pour ensuite proposer des idées de reconversions censées.

2

LA PLATEFORME PÉTROLIÈRE

I - Un objet, une multitude de formes

- a. L'organisation d'un champ pétrolier
- b. Les différents types de plateformes

II - La plateforme, une ville suspendue

- a. Composition d'une plateforme
- b. Un objet solitaire ?
- c. La vie à bord

III - La conception des plateformes

- a. Construire en milieu marin
- b. Une conception unilatérale ?
- c. Conséquences de l'activité pétrolière sur l'environnement marin

Bien que connue de tous, la plateforme pétrolière reste un objet mystérieux à la fois dans sa conception et dans son fonctionnement. Afin de s'intéresser à des possibilités de reconversion, il est nécessaire d'analyser l'objet en tant que tel, dans le but de le comprendre. La manière dont elle est conçue, les formes qu'elle peut prendre, son transport, la façon dont elle est liée au fond marin ou encore la vie à bord sont différents éléments qui permettront par la suite de comprendre les différentes problématiques incluses dans la fin de vie des plateformes.

Les plateformes pétrolières sont des objets lointains, quasiment inaccessibles. Mon entrée dans l'étude de ces structures s'effectue donc par un livre, *"Offshore, un voyage en mer du Nord"*, écrit par l'écrivain anglais Alfred Alvarez. Posant un regard extérieur sur le monde de l'offshore pétrolier, sa visite des plateformes de mer du Nord apparaît comme le fil rouge de mon analyse. Au-delà d'un simple voyage, ses descriptions permettent de comprendre les enjeux qui gravitent autour de ces installations.

I. Un objet, une multitude de formes

a. L'organisation d'un champ pétrolier

1. Christophe Gautreau, Christophe Thoumazeau, "Transformation d'une plate-forme auto-élevatrice en un complexe de thalassothérapie", 1988

Regroupées sous le même nom de plateforme pétrolière, il existe un grand nombre d'installations permettant de procéder à l'extraction du pétrole. Toutes ces installations n'ont pas la même fonction, ni la même forme. Sur un champ pétrolier, on distingue trois types de plateformes :

.Les MODU (Module Offshore Drilling Units) servent au forage et peuvent loger du personnel. Elles interviennent au début d'une opération pétrolière pour forer le ou les différents puits. Elles sont utilisées lors de la période d'exploration mais peuvent aussi être utilisées en même temps que les plateformes de production afin de creuser de nouveaux puits.

.Les plateformes de productions sont les unités principales d'un champ pétrolier. Ce sont elles qui servent à extraire et stocker le pétrole. Aux installations dédiées à la production viennent s'ajouter des quartiers de vie. L'exploitation du pétrole étant un processus sans interruption, le personnel à bord vit en continu sur le champ pétrolier.

.Des plateformes contenant uniquement des quartiers de vie peuvent par ailleurs être présentes sur un champ pétrolier. Elles servent à loger le personnel travaillant sur les plateformes. Elles contiennent des chambres mais aussi des cuisines, salons, salles de sport, etc ... Le stockage d'hydrocarbures y est interdit pour des raisons de sécurité. Ces installations viennent s'annexer aux plateformes de production lors d'opérations pétrolières importantes.

Les plateformes de production, objet principal de l'étude, sont les installations les plus importantes d'un champ pétrolier. Il existe, au sein de cette famille, des installations de différentes formes, tailles et matériaux car de nombreux facteurs entrent en jeu au moment de leur conception. Ces facteurs, qu'ils soient géologiques, historiques ou culturels donnent à l'ensemble des constructions pétrolières offshore des formes bien différentes. Les particularités culturelles sont notamment visibles dans le choix des matériaux utilisés. Par exemple, les plateformes pétrolières norvégiennes sont majoritairement construites en béton : **"ce choix délibéré du béton est en relation directe avec la technique d'un pays, plus qu'une juste utilisation de la matière"**¹ Cette variété très importante de plateformes pétrolières peut être déclinée en deux grandes catégories, les plateformes fixes et les plateformes mobiles.



Fig. 11. Plateforme offshore norvégienne.
metalsupply.no

1. Christophe Gautreau, Christophe Thoumazeau, "Transformation d'une plate-forme auto-élévatrice en un complexe de thalassothérapie", 1988

b. Les différents types de plateformes

Les deux grandes familles de plateformes (fixes et mobiles) contiennent en leur sein des sous-catégories, correspondant à plusieurs formes et fonctionnements. Ces types de plateformes se différencient notamment par la manière dont elles reposent ou sont accrochées, au fond marin. La manière dont la plateforme interagit avec le sol va engendrer une forme et une organisation singulière.

La plupart des plateformes fixes sont utilisées en mer peu profonde (profondeur inférieure à trois-cents mètres). Ces plateformes s'appuient sur le fond et peuvent donc être reliées de façon rigide aux têtes de puits et aux pipelines. Toutes les premières plateformes pétrolières sont fixes car les technologies ne permettaient pas encore de maintenir un objet mobile au-dessus d'un puits malgré les vagues et le vent. Ces plateformes fixes sont aujourd'hui sujet au démantèlement ou à une possible reconversion, la plupart d'entre-elles arrivant en fin de vie. Différentes formes et architectures de plateformes existent au sein des plateformes fixes:

. Les "Jackets-decks"

Ces plateformes sont les plus répandues. Elles sont composées d'une structure en acier comportant quatre à huit jambes pour les plus importantes. Elles reposent sur le fond marin à l'aide de piles cimentées dans lesquelles viennent s'insérer les jambes de la structure. Ces plateformes sont construites à terre puis transportées par barge horizontalement avant d'être coulées sur place. Historiquement utilisées en eau peu profonde (une centaine de mètres de profondeur), certains "jacket-decks" repose sur quatre-cents mètres de fond.

. Plateformes gravitaires en béton

Ce sont les plateformes les plus impressionnantes par leur taille et leur structure. Majoritairement construites en Norvège, leur fabrication se fait généralement en plan d'eau protégé car elle ne peuvent pas être basculées. Leur structure monopode (une seule pile de béton) ou multipode (plusieurs piles de béton) possède en partie basse un radier imposant qui soutient l'ensemble de la structure. La dénomination "gravitaire" signifie qu'elles ne reposent sur le fond que par leur propre poids (leur poids peut atteindre plus d'un millions de tonnes¹). Ces plateformes, par la difficulté de leur conception et de leur mise en œuvre, restent assez rares. Elles sont cependant le symbole du gigantisme que peuvent atteindre les plateformes pétrolières et sont généralement celles qui posent le plus de problèmes lors de leur mise hors-service.

. Plateformes "compliantes"

Le principe de ces plateformes consiste à laisser la structure se déplacer sous les sollicitations des forces extérieures, réduisant ainsi les efforts. Elles sont généralement destinées à des profondeurs d'eau de plus de cent mètres. Ce type de plateformes est composé d'une colonne centrale en treillis "souple", qui repose sur le fond et qui supporte les différents réservoirs de stockage du pétrole. Le tout est ancré au sol par des câbles d'aciers. Ces plateformes sont, à l'inverse des "jackets-deck" et des plateformes gravitaires en béton, facilement démontables et déplaçables. Leur transport se fait à l'horizontal sur des barges.

Les plateformes mobiles sont utilisées pour les exploitation de champs pétrolier de grandes profondeur (supérieures à trois-cents mètres). Elles sont généralement issues de techniques plus récentes, les contraintes émises par l'O.M.I (Organisation Maritime Internationale) en 1998 obligeant le démantèlement des structures ayant forcé les entreprises pétrolières à développer des systèmes mobiles et flottants². Ces nouvelles plateformes ont par ailleurs permis l'exploitation de puits situés à des profondeurs très élevées, autrefois inaccessibles par les plateformes fixes. Différents types de plateformes mobiles sont utilisés:

. Plateforme auto-élévatrice

Les plateformes auto-élévatrices sont des engins mobiles servant en général pour les forages d'exploration. Elles sont composées de trois jambes, qui peuvent monter ou descendre afin que la plateforme puisse se déplacer. En position haute, les jambes sont au-dessus de la surface de l'eau, la plateforme évoluant alors comme un bateau. Une fois le site de forage atteint, les jambes descendent pour venir toucher le fond de l'eau. Le pont se retrouve soulevé de la surface de l'eau et la plateforme peut commencer le forage. Certaines de ces plateformes servent de quartiers de vie, accolée à une plateforme fixe de plus grande dimension.

. Plateformes semi-submersibles

Ces plateformes possèdent une structure qui repose sur des flotteurs. Une fois ballastés (remplis d'eau), ces flotteurs permettent à la plateforme de flotter sans ressentir les effets de la houle. Ancré au sol par des câbles lors de la période de forage, elles peuvent être déplacées par bateau.

. Spar (Single Point Anchor Reservoir)

Ces plateformes n'intègrent que la production et le stockage du pétrole. Elles sont constituées d'un flotteur cylindrique servant de réservoir à pétrole. Flottant à la surface, ces plateformes sont maintenues en place par des câbles.

. FPSO (Floating Production Storage and Offloading)

Ce sont les plateformes les plus récentes. Elles prennent la forme d'une coque de bateau qui contient toutes les installations nécessaires à l'extraction du pétrole et à la vie à bord. Reliés à des têtes de puits au fond de l'eau, ces plateformes permettent d'extraire du pétrole à de très grandes profondeurs (jusqu'à trois-mille mètres de profondeur)³.

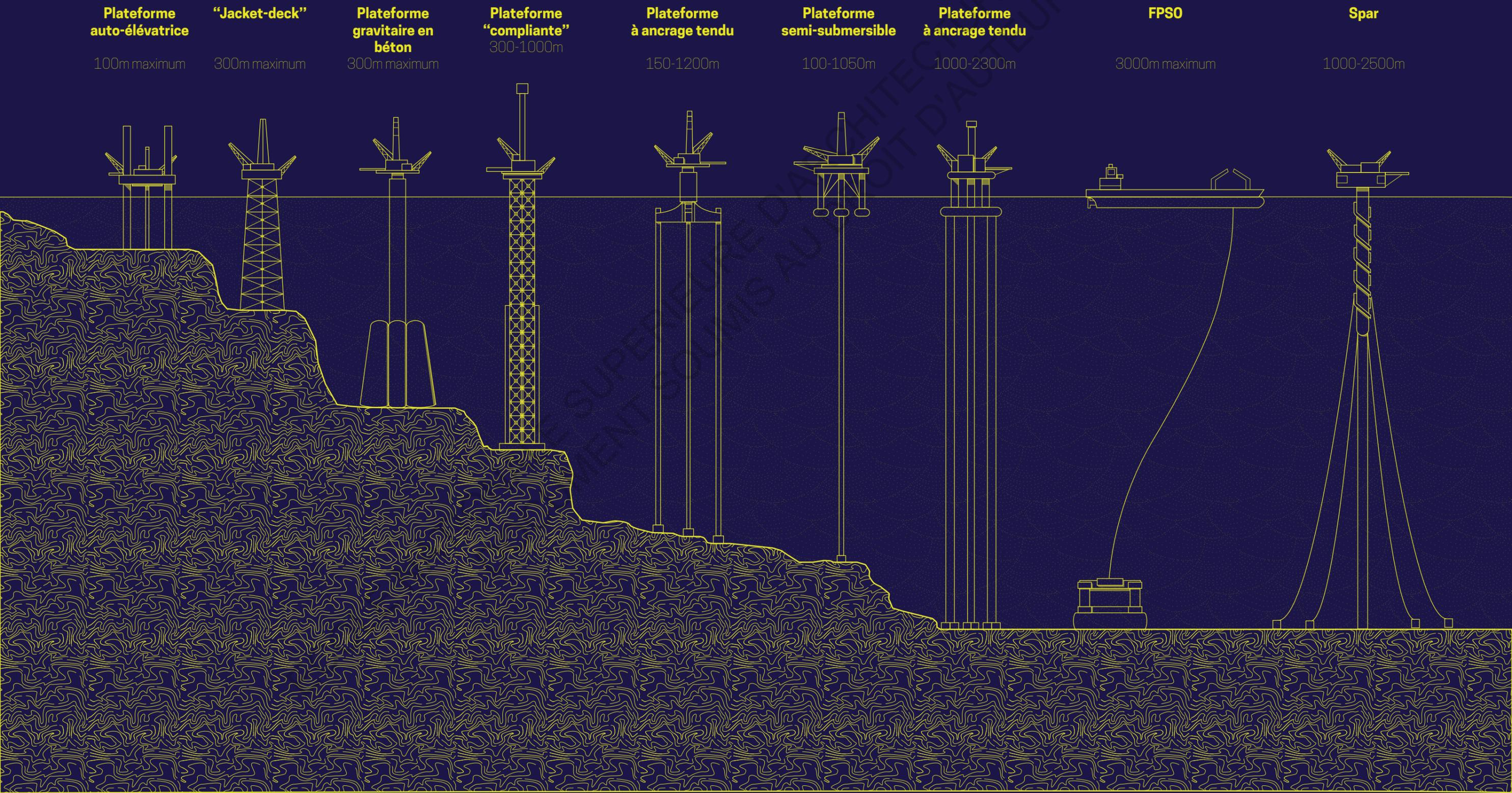
L'étude des différents types de plateformes montre que chaque installation possède ses propres caractéristiques. Celles-ci sont à prendre en compte lors de leur fin de vie. Les plateformes mobiles sont cependant beaucoup moins impactées par ces problématiques. N'étant pas connectées directement au fond marin, elles peuvent facilement être déplacées.

2. Voir: 3. Que faire des plateformes en fin de vie?, I. Le démantèlement, c. Une évolution réglementaire, p.80

3. Profondeur atteinte par le gisement de Stone, exploité par le FPSO *Turritella* appartenant à Shell

Différents types de plateformes

Fig.12: Les différents types de plateformes, connaissancedesenergies.org



II. La plateforme, une ville suspendue

a. Composition d'une plateforme

1. Les plans utilisés pour l'étude de la composition d'une plateforme sont contenus dans l'ouvrage Christophe Gautreau, Christophe Thoumazeau, "Transformation d'une plate-forme auto-élévatrice en un complexe de thalassothérapie", 1988

En rentrant un peu plus dans le détail d'une plateforme, on peut voir qu'elles sont toutes composées de deux parties principales, les "topsides" et la structure porteuse. Nous allons nous intéresser plus précisément aux "jacket-decks" et aux plateformes gravitaires en béton, les deux types de plateformes qui font l'objet de cette étude.

Les "topsides" sont constitués de modules préfabriqués, ils correspondent à la partie utile au-dessus de la surface. Ces modules contiennent tous les équipements nécessaires au bon fonctionnement de la plateforme. Dans le cas d'une installation pétrolière importante, les "topsides" peuvent être répartis sur deux plateformes différentes, l'une dédiée au lieux de vie et l'autre à la production. La partie dédiée à la vie à bord prend une place très importante. En effet, entre cinquante et cent personnes vivent sur une plateforme pétrolière. Les "topsides" contiennent toutes les pièces de vie comme les cabines, le réfectoire mais aussi des espaces de détente tels qu'un café, un cinéma, une salle de sport, etc ... Des espaces plus techniques sont aussi incorporés comme des bureaux, une salle radio, une salle des machines, des ateliers ainsi que des boutiques¹. Une plateforme peut donc s'apparenter à une véritable ville suspendue au-dessus de l'eau.

Afin de supporter ces différents éléments, une structure porteuse sert de squelette à l'ensemble. Reposant sur le fond marin à plusieurs centaines de mètres de la surface, elle sert à maintenir la partie utile au-dessus de l'eau. En treillis tubulaire métallique (assemblage de tubes métalliques formant une triangulation), ou en colonnes de béton, elle peut prendre différentes formes en fonction du type de plateforme convoqué. Un plancher en acier ou en béton vient sur cette structure pour supporter les "topsides".

Bien que très différentes d'un point de vue structurel et formel, les plateformes pétrolières sont toutes composées des mêmes éléments remarquables. Une des pièces principales de la plateforme est le derrick. Point culminant de la plateforme, cette tour métallique, dans la phase de forage, soutient une très longue tige au bout de laquelle se trouve une mèche de forage, le trépan. Elle est rallongée au fur et à mesure que le trépan broie les différentes couches de roche du sous-sol pour atteindre le gisement de pétrole. Les tiges peuvent descendre jusqu'à des profondeurs de trois ou quatre kilomètres pour atteindre les réservoirs. Sur les nouvelles plateformes pétrolières tels que les FPSO, le derrick est supprimé, la tête de puits reposant au fond de la mer.

En plus du forage et du stockage, le ravitaillement de la plateforme est un élément très important. Pour procéder au chargement de matériel ou de marchandise, chaque plateforme possède une ou plusieurs grues. Ce ravitaillement, comme de nombreux éléments qui touchent au secteur pétrolier, représente un transfert gigantesque de nourriture et de matériel, le tout en pleine mer du Nord:

"De temps à autres - habituellement en cas d'urgences - certaines pièces sont acheminées offshore par hélicoptère. Autrement, tout arrive par bateaux de ravitaillement - des 56 948 tonnes de tuyauterie aux 2 500 000 œufs sans oublier les 4 608 litres de ketchup et les 1 552 kilomètres de papiers hygiéniques consommés chaque années sur les installations septentrionales de Shell - au total plus d'un demi-million de tonnes de fournitures.[...] Il n'en est que deux grands problèmes, et ceux-ci commencent lorsque le bâtiment ravitailleur arrive à la plateforme: comment maintenir le navire à peu près stable par un vent mugissant et des vagues de quinze mètres, puis comment transborder la marchandise jusque dans l'installation."²

Pour le transport de personnes, toute les plateformes sont équipés d'un hélicoptère. Ces deux derniers éléments s'apparentent aux deux seules interfaces de la plateforme avec la terre.

2. A. Alvarez, "Offshore, un voyage en mer du Nord", Flammarion, 1987

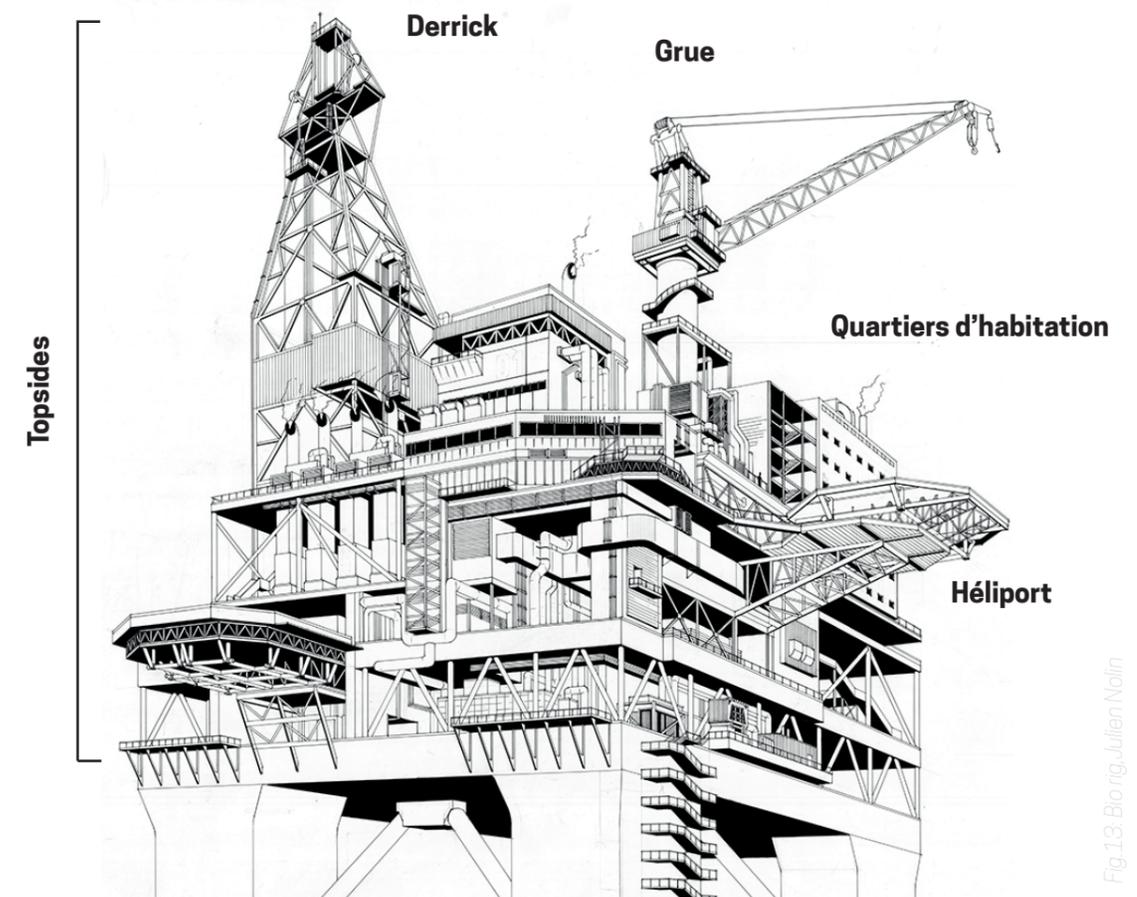


Fig.13: Bio rg, Julien Nolin

b. Un objet solitaire ?

1. Getech Group plc, "Reduce, reuse, recycle — Decommissioning oil platforms", storymaps.arcgis.com, 9 juin 2020

2. Centre de contrôle aérien situé sur la plateforme Cormorant A, dans le champ pétrolier de Brent

3. Aéroport de Londres

4. A. Alvarez, "Offshore, un voyage en mer du Nord", Flammarion, 1987

La plateforme pétrolière est-elle véritablement un objet solitaire ? Est-elle vraiment perdue au milieu de l'immensité de l'océan ? Cette vision d'une plateforme seule au milieu des éléments est quelque peu biaisée puisque l'on remarque de plus en plus que les sites de forages offshore se transforment en de véritables villes industrielles.

Deux éléments importants appuient cette dimension de ville industrielle prise par les champs pétroliers : la connexion à la terre et la multiplication des infrastructures de forage. Tout comme une ville classique, les sites de forages offshore possèdent différents réseaux. Les plus évidents sont les réseaux qui permettent d'emporter le pétrole aux raffineries à terre, constitués d'oléoducs. Dans les plus grands champs de pétrole, ces câbles parcourent plusieurs dizaines de kilomètres. Une véritable toile d'araignée de canalisations prend place sur le lit marin, les plateformes n'étant que la face cachée de ce que représente l'exploitation d'un champ pétrolier offshore (le secteur britannique des champs pétroliers de mer du Nord compte trois-cent-vingt plateformes et vingt-mille kilomètres de pipelines)¹. Un autre réseau très important est celui du transport. Il est omniprésent dans le monde de l'offshore. Le transport humain est généralement réalisé par hélicoptère. Ce trafic aérien peut s'avérer très dense et le trajet des différents hélicoptères peut s'apparenter à celui de lignes de bus, ceux-ci faisant des arrêts aux différentes plateformes pour y déposer des passagers.

"En 1978, tandis que les champs étaient en pleine construction et que les plateformes entraient en activité, Brent Log² eut à contrôler un trafic fébrile de 22 000 mouvements aériens en un seul mois. Le minuscule bureau perdu au milieu de nulle part devint ainsi le centre de contrôle du trafic aérien le plus actif d'Europe, hormis celui de Heathrow³."⁴

À ce trafic aérien s'ajoute le trafic maritime. Celui-ci se destine au transport des différentes marchandises nécessaires comme la nourriture. Les bateaux permettent aussi la maintenance des installations pétrolières ou encore la surveillance et la sécurité du champ pétrolier.

Outre ces différents réseaux, les champs pétroliers sont exploités par de nombreuses installations. Une seule plateforme de production ne permet pas d'exploiter efficacement un puits de pétrole entier. De plus petites plateformes, agissant comme des satellites, sont installées pour permettre de puiser davantage de pétrole plus rapidement. De plus, certaines plateformes viennent se juxtaposer aux premières pour servir d'hôtel flottant. Celles-ci sont destinées à accueillir des cabines, des bureaux, des lieux de stockage d'hydrocarbures, etc... Plus le champ est important, plus les installations offshore s'accumulent, donnant lieu à la naissance d'une ville industrielle offshore.

Penser à la fin de vie d'une plateforme c'est aussi penser au devenir des installations qui gravitent autour. Bien que les petites plateformes de productions soient souvent mobiles, les canalisations sont elles coulées dans du béton au fond de l'océan. Elles représentent elles-aussi un problème lors de la fin de l'exploitation d'un champ pétrolier. Penser à la reconversion d'un champ pétrolier dans son ensemble est alors beaucoup plus important que de se pencher sur chaque structure individuellement. Il est nécessaire de voir les problématiques que posent les infrastructures offshore dans un contexte global car leur reconversion doit participer à une certaine vision d'ensemble du territoire. Comprendre qu'une plateforme pétrolière est un objet complexe intégrant différents réseaux et n'évoluant pas de manière solitaire doit permettre d'effectuer une reconversion en lien avec des perspectives d'aménagement du territoire maritime.

"Où que je tournasse les yeux, il y avait des installations. Je pivotais lentement, le temps de les compter, tandis que Blair me débitait d'un trait la liste de leurs noms: les trois plateformes du gisement de Ninian, exploité par la compagnie Chevron; Heather, d'Union; Cormorant A, de Shell; NW Hutton, d'Amoco; Cormorant North, de Shell, avec Dulin à l'arrière plan, et juste en face d'elles, toutes proches, Spar, une bouée de chargement des navires-citernes et un réservoir de stockage de pétrole, qui ressemble à une gigantesque boîte aux lettres sur colonne trop lourde du haut; Thistle, de la Britoil; Murchison, de Conoco; les trois autres plateformes de Brent et Treasure Finder en ligne droite, tout près de nous; puis deux installations du gisement norvégien de Statfjord; une bouée norvégienne de chargement des pétroliers; dans le lointain, la torche de Brent, tel un doigt solitaire en train de se consumer, dressé dans un geste de réprimande; et deux barges de forage mobiles norvégiennes. Vingt-deux constructions, toute une province industrielle, surgissant d'une mer glaciale."⁵

5. A. Alvarez, "Offshore, un voyage en mer du Nord", Flammarion, 1987



Fig.14: Champ pétrolier en Afrique de l'Ouest,
Reuters, afrique.latribune.fr

c. La vie à bord

1. A. Alvarez, "Offshore, un voyage en mer du Nord", Flammarion, 1987

Il existe des différences très importantes entre le travail à terre et en mer. La plateforme pétrolière est conçue pour le travail de l'homme, mais où la recherche de production domine. Les conditions de travail sont rendues plus difficiles par le climat et l'environnement marin. Rien ne fait obstacle au vent et aux embruns, l'humidité est toujours présente même si le travail peut être arrêté lorsque les conditions sont trop mauvaises.

Imaginée par des ingénieurs, ces constructions sont uniquement organisées en fonction de critères opérationnels dans un souci de production pétrolière. Les quartiers de vie y sont minimalistes, rationnels et exigus. Malgré la taille gigantesque d'une plateforme pétrolière, la surface exploitable y est assez réduite et est occupée principalement par les installations pétrolières. L'espace réservé à la vie à bord se retrouve relégué au second plan et s'en trouve assez réduit. La plateforme pétrolière s'organise en tranches de vie. Elle correspond à une certaine durée de travail, effectuée par les différents corps de métiers. La plateforme ne doit jamais s'arrêter de fonctionner, les hommes qui y travaillent se relayant jour et nuit. La hiérarchie y est primordiale, chacun possédant une tâche correspondant à un rouage d'une énorme machine. Les corps de métiers sont très variés allant de l'hôtellerie à la mécanique, au soudeur ou encore au plongeur. La plateforme est cosmopolite, tout comme l'industrie maritime en général et les travailleurs y viennent des quatre coins du globe.

"Sur les installations offshore, on travaille sans relâche. Les équipes travaillent généralement douze heures d'affilée, de six heures à six heures, et avec un minimum de pauses. [...] Le cycle est monotone et implacable: on se lève à cinq heures puis les choses se suivent et se ressemblent: on mange, on travaille, on mange, on travaille, on mange ... A la fin d'une journée qui dure au minimum douze heures - ou à la fin de la nuit, suivant l'équipe - nul n'a encore assez d'énergie pour faire autre chose qu'engager une partie de billard ou regarder un film avant d'aller au lit. Dans la salle de repos règne une atmosphère chaleureuse, mais tout le monde à l'air épuisé. Douze heures par jour sur quatorze jours d'affilée, ça fait cent soixante-huit heures de travail - mais c'est souvent plus proche de deux cents - soit l'équivalent de plus de quatre semaines normales de quarante heures compressées en une petite quinzaine de jours"¹

"L'architecture, sur une plateforme, semble inexistante"

Christophe Thoumazeau, Christophe Gautreau
"Transformation d'une plate-forme auto-élévatrice en un complexe de thalassothérapie", juin 1988

Travailler sur une plateforme pétrolière est usant physiquement mais aussi psychologiquement. L'isolement, la promiscuité, le bruit font partie de la multitude d'éléments qui jouent sur la santé mentale des travailleurs. Il est quasiment impossible d'oublier le travail, celui-ci étant omniprésent:

2. A. Alvarez, "Offshore, un voyage en mer du Nord", Flammarion, 1987

"Elles forment un monde simplifié ou rien ne compte en dehors du travail. Ceux qui vivent ici sont tenus de laisser derrière leur famille mais aussi tous les aspects de leur personnalité qui risquent d'interférer avec le fonctionnement sans heurts de cette machine vouée à la production pétrolière. La seule manière de partager une cabine avec un autre homme, ou trois autres hommes, pendant deux semaines exténuantes, c'est de se mêler de ses oignons, d'éviter les hauts et d'éviter les bas, par soucis de paix, de quiétude et d'efficacité. Dans un milieu aussi hostile que celui de la mer du Nord, les vertus qui importent le plus sont l'esprit de camaraderie, la bonne humeur et cette forme de résignation que l'on apprend à l'armée: l'empressement à obéir aux ordres, si absurdes qu'ils y paraissent, et à accepter la hiérarchie. L'imagination pour tout ce qui n'a pas directement trait au travail est un handicap aussi grand qu'un excès d'agressivité ou un épiderme sensible. Tout le temps que vous êtes offshore, vous vous définissez exclusivement par votre travail, et, si celui-ci ne vous donne pas satisfaction, il n'y a pas d'autres compensations.[...] Je me souviens de la réponse que l'on m'avait faite à Aberdeen quand j'avais demandé ce que deviendrait les installations le jour ou il n'y aurait plus une goutte de pétrole. L'homme avait rit sèchement: "Peut-être bien qu'ils les transformeront en prisons.""²

III. La conception des plateformes

a. Construire en milieu marin

1. Christophe Gautreau, Christophe Thoumazeau, "Transformation d'une plate-forme auto-élevatrice en un complexe de thalassothérapie", 1988

2. Hauteur de la plus haute vague rencontré à un endroit donné

3. Bernard Andrier, Philippe Ozanne, "Offshore - Installations offshore", Universalis

Les plateformes offshore sont conçues et dimensionnées en fonction du milieu dans lequel elles interviennent. Le milieu marin influe donc en grande partie sur la forme et le type de plateforme construite. Chaque pièce de la structure est dimensionnée en fonction des conditions de mer, de vent, de houle rencontrées dans la zone de forage. Les dimensionnements sont réalisés à partir des données maximales recueillies à un certain endroit. Le processus de conception d'une plateforme englobe son dessin, mais aussi la mise en place de l'installation et les opérations de maintenance. Il est nécessaire, pour réaliser ces différentes étapes, de connaître les effets que peut avoir l'environnement marin sur la plateforme.

"Une plateforme offshore est soumise à deux types de contraintes: celles inhérentes à leur fonction, et celles dépendantes de l'environnement."¹

Le premier type de contraintes est le plus facile à prévoir. Ces contraintes proviennent des vibrations produites lors du forage, du levage par les grues ou encore de la force gravitationnelle créée par la structure. Les forces émises lors du transport et de la mise à l'eau sont aussi prises en compte, d'autant plus que la structure ne fonctionne pas "normalement" durant ces étapes. L'autre type de contraintes, à savoir les contraintes du milieu marin, sont plus aléatoires. Les plateformes offshore subissent l'action de la houle, du vent et des courants.

"Une structure peut être abîmée de deux manières : soit sous l'effet des conditions extrêmes de chargement, soit "par fatigue" sous l'effet de charges moins importantes mais répétées. Les calculs prennent en compte ces deux aspects. Il est important de connaître la hauteur des vagues qui peuvent être rencontrée (prise en compte de la hauteur de la vague centennale²) mais aussi "l'état de la mer", défini comme l'ensemble des directions, des hauteurs et des périodes des vagues pendant une certaine durée."³

En plus des facteurs météorologiques, il faut tenir compte d'un des facteurs principaux liés à la construction dans l'eau de mer, à savoir la salinité. La corrosion, qui est le principal problème rencontré, résulte de processus électrochimiques dont on cherche à contrarier les effets en appliquant aux structures métalliques immergées un système de protection. L'autre aspect à prendre en compte est celui du "fouling"⁴, qui correspond au dépôt d'organismes vivants qui proviennent de la mer.

Le dernier facteur important est le sol marin. Avant l'implantation d'un ouvrage, des reconnaissances géologiques sont effectuées par des méthodes généralement dérivées de celles utilisées à terre, mais adaptées aux contraintes de l'environnement marin. Elles concernent la topologie du sol, sa nature géologique, les caractéristiques générales du sol et du sous-sol et les tendances du sol à s'affaisser. Ces données servent ensuite à déterminer quelles types de pieux vont être utilisés, de quelles dimensions, etc ...

La conception d'une plateforme offshore ne peut donc se faire sans une connaissance très précise du milieu marin. Située dans des zones très reculées, les données sont difficiles à obtenir. La méthode traditionnelle consiste à faire des observations sur le site, soit par bateau, soit à l'aide de bouées équipées de capteurs de mesure (houle, vent, courant). Mais ces moyens sont coûteux et souvent limités à une courte durée d'observation. Une réponse à ce problème est apportée par les satellites d'observation de la Terre qui sont aujourd'hui majoritairement utilisés pour recueillir les données nécessaires au lancement d'un projet offshore.

4. Mot anglais qui peut être traduit par "encrassement"



Fig. 1. One of Statoil's drilling platforms in a storm. Dyvind Hagen/StatOil

1.2. Témoignages de travailleurs sur une plateforme pétrolière recueillis dans le livre d'A. Alvarez, "Offshore, un voyage en mer du Nord", Flammarion, 1987

b. Une conception unilatérale ?

Construire en mer consiste donc à mettre au défi les éléments naturels, aussi hostiles soient-ils. Le défi est technologique mais aussi humain puisque la sécurité vis à vis des éléments est primordiale à bord. On peut comprendre alors l'immensité et la démesure de ces structures, conçues pour résister à des contraintes extrêmement élevées. Comparée à de nombreuses reprises à la recherche spatiale, s'aventurant dans les lieux les plus reculés et hostiles de la planète, l'industrie pétrolière offshore est vue, depuis la terre, à la pointe de la technologie. D'un point de vue constructif, installer une plateforme pétrolière en plein cœur de la Mer du Nord, mesurant plusieurs centaines de mètres tout en résistant aux éléments naturels, constitue un exploit de l'ingénierie. La conception, la construction ou encore l'installation de telles structures relèvent de dispositifs extrêmement ingénieux. En revanche, le fonctionnement de la partie mécanique ou encore des services de base tels que les réseaux d'alimentation et les services hôteliers ne sont pas pensés avec autant de détails.

« La conception des plateformes, leur remorquage en haute mer puis leur mise en place par satellite, tout cela est très ingénieux. Mais sitôt que vous en venez aux services de base comme la production d'énergie et les réseaux d'alimentations, les services hôteliers et le reste, il n'y a plus rien de particulièrement ingénieux dans tout cela. En fait, les réseaux d'alimentation en énergie sur un navire de guerre sont sans doute plus sophistiqués ».¹

La conception des pièces de vie à bord est très rudimentaire. La plateforme s'apparente à une énorme machine à laquelle on aurait greffée du mieux que l'on pouvait les éléments de bases qui permettent aux travailleurs de la faire fonctionner. Les contraintes de conceptions sont en général portées sur l'optimisation de l'espace et la facilité de mise en œuvre plus que sur le confort et la fonctionnalité des espaces.

« Là-bas, sur la grève, la croyance populaire veut que l'industrie de la mer du Nord se trouve aux frontières de la technologie. C'est vrai, bien sur, en certains domaines. Mais d'un point de vue mécanique, on est bien souvent très proche des méthodes employées dans l'agriculture. »²

La plateforme est mono-fonctionnelle tout comme sa conception, qui ne prend en compte que la recherche de productivité au détriment de la fonctionnalité des machines et du bien-être des travailleurs. Cette unilatéralité dans la conception pose aussi la question du manque de vision sur le long terme que peuvent garantir ces structures. Leur seconde vie était reléguée au second plan au moment de leur conception et pose maintenant problème.

“sitôt que vous en venez aux services de base comme la production d'énergie et les réseaux d'alimentations, les services hôteliers et le reste, il n'y a plus rien de particulièrement ingénieux dans tout cela”



Fig.16: North Everest and Lomond living quarters, HSM Offshore BV, 1992

c. Conséquences de l'activité pétrolière sur l'écosystème marin

1. Étude complète du Comité d'experts, "Rapport du comité d'experts sur les enjeux environnementaux liés aux levées sismiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent", Mars 2004

2. Citation de Tracey Sutton, chercheur en écologie océanique dans l'article de Perrine Mouterde, "Dix ans après l'explosion de Deepwater Horizon : La marée noire a causé des dégâts permanents", Le Monde, 22 avril 2020

Les risques et impacts environnementaux liés à l'activité pétrolière interviennent sur plusieurs temps. Deux éléments sont particulièrement nocifs pour l'environnement: les levées sismiques lors de la phase d'exploration et les forages pétroliers, lors des phases d'exploration et de production.

La levée sismique correspond à l'envoi d'ondes sismiques afin de déterminer la nature des roches du fond marin pour pouvoir trouver des potentiels puits de pétrole. L'impact de ces levées sismiques sur l'écosystème marin reste encore flou mais de nombreuses recherches montrent qu'il existe des impacts non négligeables sur la vie marine. Une étude menée par plusieurs chercheurs canadiens montre que les levées sismiques seraient à l'origine de troubles physiologiques et comportementaux de plusieurs espèces de poissons ou de mammifères marins.¹ Le bruit émis par les ondes sismiques pourrait perturber la communication, l'orientation ainsi que les habitudes alimentaires de la faune marine.

Les forages d'explorations consistent à forer des couches géologiques dont on ne connaît peu d'informations et où les pressions internes sont mal connues. Il se peut qu'un forage exploratoire tombe sur une poche de gaz, provoquant alors une explosion. Les deux plus importantes marées noires de l'histoire issues de plateformes offshore (Deepwater Horizon en 2010 et Ixtoc 1 en 1979) sont survenues lors de forages exploratoires. C'est une phase qui peut devenir dangereuse en cas de catastrophe. Même si elles sont très rares, l'impact sur l'environnement de tels événements est désastreux et se ressent pendant plusieurs dizaines d'années.

"Ce qui rend cette marée noire unique – outre sa taille et sa portée, qui étaient sans précédent – est probablement le nombre de types d'écosystèmes qui ont été touchés. Et à notre connaissance, l'impact réel du déversement n'est pas encore terminé."²

En plus des accidents exceptionnels comme celui de Deepwater Horizon, de nombreux déversements (fuites de diesel, bris divers, etc.) peuvent se produire lors des opérations quotidiennes sur une plateforme pétrolière. D'autres déversements sont réalisés quotidiennement et sont autorisés par les règlements tels que les boues de forage et les débris associés. Tous ces rejets sont retournés à la mer après leur décontamination. L'impact de ces déversements est

encore assez flou mais nous savons que ces substances contiennent des produits chimiques potentiellement nocifs pour les espèces marines. Les études³ faites à ce sujet montrent que les impacts des déversements routiniers sur les organismes marins peut se ressentir sur une période de quatre à dix ans. Ces impacts paraissent localisés, **"Tous les éléments de preuve suggèrent que les effets des rejets actuels sont locaux, et en général confinés autour de un à deux kilomètres d'une décharge à la fois dans les eaux et sur le fond marin, et que le risque d'impact généralisé des rejets opérationnels est faible."**⁴ mais des effets sur le long terme pourraient avoir lieu: **"on ne peut ignorer la possibilité d'effets subtils et cumulatifs des décharges que nous ne sommes pas en mesure de mesurer à l'heure actuelle, bien que les évaluations des risques suggèrent que ce ne sera pas le cas"**⁵

L'activité pétrolière est inévitablement néfaste pour l'environnement marin. Il est très difficile de la rendre "moins polluante" puisque les rejets liés à l'extraction du pétrole ne peuvent pas être stockés. De plus, les réglementations à ce sujet restent volontairement assez souples vis à vis de l'industrie pétrolière, tandis que l'on voit un renforcement des normes pour les rejets des navires de commerce par exemple.

Bien que l'installation d'une plateforme pétrolière soit nocive pour l'environnement, son impact peut être réduit en élaborant des recherches préalables sur le milieu dans lequel elle va être installée. La proximité des côtes ou encore le type d'écosystème rencontré sont des éléments qui doivent être pris en compte. L'impact des déversements d'une plateforme étant localisé, celle-ci pourrait être installée dans des zones potentiellement moins vulnérables. Cette prise en compte du milieu marin et la connaissance du contexte dans lequel on s'installe doivent être des éléments qui influent sur les différentes activités maritimes, ce qui pourrait limiter la destruction de certaines espèces⁶. Cela ne reste qu'une solution minime puisque l'activité pétrolière restera dans le futur une activité polluante et dangereuse pour la vie marine.

3. Étude complète: Torgeir Bakke, Jarle Klungsøyr, Steinar Sanni "Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry", Marine Environmental Research, Volume 92, 20 septembre 2013

4.5. Torgeir Bakke, Jarle Klungsøyr, Steinar Sanni "Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry", Marine Environmental Research, Volume 92, 20 septembre 2013

6. Étude complète: Nathalie Paquet, Gaëlle Triffault-Bouchet, "Impact associé aux activités régulières d'une plateforme pétrolière pour les écosystèmes aquatiques du golfe du Saint-Laurent", Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2015

Les plateformes pétrolières peuvent prendre différentes formes et différents usages mais toutes répondent à des critères similaires, à savoir remplir ses fonctions en dépit de l'environnement hostile qui les entoure.

La construction en milieu marin est sans doute la raison principale du dimensionnement et de la forme que peuvent prendre ces plateformes. La mer apporte de nombreuses difficultés, de la phase de transport jusqu'à l'entretien de la structure. La vie à bord est aussi un paramètre à prendre en compte. Celle-ci est extrêmement rude notamment dans les régions qui de la mer du Nord. La difficulté de construire et vivre offshore n'est pas applicable seulement aux plateformes pétrolières mais bien à toute infrastructure en mer, même les plus récentes. La reconversion de ces structures pourraient donc permettre d'éviter de construire de nouveau dans un milieu déjà fragilisé par des années de production pétrolière.

Un autre élément à prendre en compte est l'aspect "envahissant" que peut avoir un champ pétrolier. En effet, la plateforme, qui correspond à la partie émergée et visible, fait partie d'un vaste réseau de pipelines et de têtes de puits sous-marins. La question du démantèlement de ces structures sous-marines est aussi à prendre en compte, retirer seulement la plateforme ne permettant pas de rendre au site de forage son état naturel.

3

QUE FAIRE DES PLATEFORMES OFFSHORE EN FIN DE VIE ?

I - Le démantèlement

- a. L'affaire Brent-Spar de 1995
- b. Les problématiques de la fin de vie des plateformes
- c. Une évolution réglementaire
- d. Les différentes options d'un démantèlement
- e. Exemples régionaux: le Golfe du Mexique et la Mer du Nord
- f. Le démantèlement, un nouveau marché pour l'industrie para-pétrolière

II - Les différentes pistes de reconversion

- a. Les récifs artificiels
- b. Autres projets de reconversion

Les plateformes pétrolières, pourtant modèles d'ingénierie et figures de l'exploitation des ressources terrestre par l'homme, sont toutes confrontées à un même problème: que deviennent-elles à leur fin de vie ? En effet, ces installations ont une durée de vie limitée, généralement une trentaine d'années, correspondant au temps d'exploitation des réserves du gisement au-dessus duquel elles ont été implantées. Le nombre et surtout la taille des plateformes arrivant en fin de vie augmente considérablement depuis quelques années. Quel est donc le devenir de ces installations ? Cette question a fait l'objet d'un conflit en 1995 entre la compagnie pétrolière anglo-néerlandaise, Royal Dutch-Shell, qui désirait immerger la plate-forme Brent-Spar installée en mer du Nord, et l'association écologiste Greenpeace, qui s'opposait fermement à ce projet qu'elle jugeait nuisible pour l'environnement. Cette affaire a révélé au public l'aspect environnemental du problème. Cet enjeu majeur implique d'autres : les questions de réglementation, les intérêts des compagnies et des États, le défi technologique ainsi que les enjeux économiques et financiers sont aussi à prendre en considération. Les actions de démantèlement mais aussi de reconversion sont notamment évoqué pour éviter de laisser à l'abandon les installations offshore.

I. Le démantèlement

a. L'affaire Brent-Spar de 1995

1. Jack Doyle, "The Brent Spar Fight, Greenpeace 1995", The Pop History Dig, 2020

La plateforme Brent-Spar a été installée en 1976 par les compagnies Shell et Esso. Elle prend place dans le champ de Brent, un des champs pétroliers importants de mer du Nord, et son rôle principal fut de stocker du pétrole en attendant son transport à terre. Cette plateforme est de type "Spar", elle prend la forme d'une énorme bouée maintenue hors de l'eau grâce à son réservoir de pétrole, qui constitue la majeure partie de l'installation. Brent-Spar fut utilisé jusqu'en 1991, date à laquelle un nouveau pipeline fut construit, rendant inutile le stockage de pétrole en pleine mer. Des études menées par les deux majors pétroliers sur le futur de Brent-Spar ont abouti à deux solutions: démanteler la plateforme à terre ou l'immerger en pleine mer. La décision de l'immerger fut prise notamment pour des raisons financières. En effet, la différence de coûts des deux opérations s'est révélée très importante (couler le Spar coûtait environ dix-neuf millions de dollars alors que son démantèlement aurait coûté environ soixante-dix millions de dollars¹). La décision fut prise en février 1995 par les dirigeants de Shell et le gouvernement de Grande-Bretagne: l'immersion de Brent-Spar se ferait en Atlantique Nord, au Nord-Ouest de l'Écosse, dans une zone où son impact sur l'environnement marin serait moindre.

Cette décision fut directement contestée par Greenpeace car en avril 1995, des membres de l'association sont montés sur la plateforme, déployant une banderole "Save the North Sea. Stop Shell." Le plan de Greenpeace ne fut pas décidé sur le coup mais bien dès 1994. L'association comprenant que la plateforme allait être coulée par le fond, décide alors de mener un combat contre cette décision. Le plan fut non seulement d'aborder Brent-Spar pour contester la décision de Shell, mais surtout de rendre cette action publique en la diffusant à la télévision afin de montrer au grand public les problématiques que peuvent poser la fin de vie des installations pétrolières. Le combat entre Shell et Greenpeace débute alors, les membres de l'association se rendant plusieurs fois sur la plateforme et poussant la population à boycotter les stations Shell en Allemagne. L'affaire eut une couverture médiatique très importante, les journaux anglais The Daily Mail, The Daily Telegraph et The Daily Mirror couvrant l'événement en continu. La décision de couler la plateforme fut finalement abandonnée par Shell et le gouvernement britannique, la plateforme fut donc déplacée près des côtes norvégiennes pour être démantelée.

“si Shell a été en mesure d'amener la plate-forme, le groupe doit être capable de la ramener à terre”

Bruno Rebelle

Directeur de Greenpeace France, 2002



“Il y a un avant et un après Brent-Spar”

Emmanuel Garland

Direction sécurité et environnement de TotalFinaElf, Journal Les Echos, 17 avril 2002

3 Que faire des plateformes offshore en fin de vie ?

I. Le démantèlement

a. L'affaire Brent-Spar de 1995

77

Cette affaire eu des répercussions sur plusieurs domaines et notamment sur la réglementation de la fin de vie des plateformes. Dès 1995, la convention OSPAR (Convention Oslo-Paris) entame des négociations avec les pays pour interdire l'immersion des installations offshore hors-service. Seules la Grande-Bretagne et la Norvège, les deux plus gros bénéficiaires de l'industrie pétrolière et gazière offshore, refusent cette interdiction, un moratoire suspendant toute immersion fut installé provisoirement (la décision finale fut finalement prise en 1998).

Au-delà de la réglementation, l'action de Greenpeace a permis d'une part de sensibiliser le grand public sur des questions de protection de l'environnement marin et d'autre part de montrer qu'une contestation des majors pétroliers est possible, malgré leur apparente puissance financière et politique:

“Pour Greenpeace, le Brent Spar montre que des cas très médiatisés, bien encadrés et facilement expliqués, peuvent susciter l'intérêt du grand public, surtout si les médias d'information ont beaucoup de bonnes occasions de prendre des photos. Il montre également que la guerre économique peut être le meilleur moyen de mener une guerre écologique. Les tactiques visant à attirer l'attention ont contribué à déclencher un boycott contre Shell qui a fortement réduit les ventes d'essence et a poussé l'entreprise à faire marche arrière.”²

Les controverses au sujet de cette affaire ont perduré, en particulier à la suite des études faites sur la contenance en pétrole des réservoirs qui allaient être coulés. L'étude menée par le bureau Det Norsk Veritas montre que Greenpeace avait menti sur la quantité de pétrole restant dans les réservoirs de Brent-Spar (alors que l'association avait prédit qu'il restait cinq-mille tonnes de pétrole, “seulement” cent-cinquante tonnes ont été trouvées). La révélation de ces chiffres a entraîné une nouvelle vague d'oppositions entre la compagnie Shell **“Leurs motivations étaient claires. Faire parler d'eux et gagner de nouvelles adhésions. Et pour le président de Greenpeace Allemagne, gagner en notoriété pour se faire élire à la direction mondiale de l'organisation”³** et Greenpeace **“si Shell a été en mesure d'amener la plateforme, le groupe doit être capable de la ramener à terre”⁴**.

Les actions de Greenpeace continuent encore en 2020, notamment sur le champ de Brent dont de nombreuses installations deviennent hors-service. Cette première action de Greenpeace en 1995 a ouvert une problématique qui n'est toujours pas résolue aujourd'hui. Cet épisode marque néanmoins un tournant sur la manière dont sont traitées les installations offshore à leur fin de vie.

2. Bhushan Bahree, Kyle Pope, and Allanna Sullivan, “How Greenpeace sank Shell's plan to dump big oil rig in Atlantic”, Wall Street Journal, 7 juillet 1995

3. Citation de Maurice Auschitsky, directeur des relations extérieures de Shell France dans l'article d'Olivier Blond, “Les leçons de la plate-forme Brent Spar”, Les Echos, 17 avril 2002

4. Bruno Rebelle, directeur de Greenpeace France dans l'article d'Olivier Blond, “Les leçons de la plate-forme Brent Spar”, Les Echos, 17 avril 2002

b. Les problématiques de la fin de vie des plateformes

1. En exemple, la plateforme *Troll A*, située en Norvège, mesure 472m de hauteur et sa structure pèse environ 1 145 000 tonnes

2. Le coût du démantèlement des plateformes est estimé à 1.6 milliards d'euros par ans par le gouvernement britannique. Voir le rapport "Decommissioning insight 2019" The UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019

La majorité des plateformes pétrolières sont de "petites" structure métalliques, d'environ une centaine de tonnes, installées dans de faibles profondeurs d'eau (quelques mètres ou quelques dizaines de mètres). Mais comme nous l'avons vu précédemment, certaines atteignent des dimensions impressionnantes. Les "topsides", où sont rassemblées toutes les installations techniques ainsi que les quartiers de vie, peuvent représenter la surface de deux terrains de football, et la hauteur d'un immeuble de dix étages. Le tout repose sur des colonnes en béton mesurant jusqu'à trois-cent mètres de hauteur et pesant plus d'un million de tonnes¹. Les plateformes situées sur des fonds intermédiaires (100-150 m) reposent généralement sur des jambages métalliques qui pèsent plusieurs dizaines de milliers de tonnes.

Le débat concernant l'abandon des installations pétrolières porte sur deux aspects : le démantèlement des plates-formes et le devenir des parties démantelées. A ces sujets se posent de nombreuses questions. Faut-il démanteler intégralement les installations désaffectées et rétablir le fond marin dans son état initial ou peut-on se contenter d'éliminer les matériaux polluants et de laisser une partie des installations sur place ? Que faire des parties démontées ? Faut-il les ramener à terre, les recycler, leur trouver un réemploi, ou bien les mettre en décharge contrôlée, voire les immerger ?

Ces questions ne se posent en fait que pour les grosses structures (c'est-à-dire pour moins de 5% des installations), les installations sous-marines et les petites plates-formes présentant beaucoup moins de difficultés de démantèlement. Malgré cela, le faible nombre de grandes plateformes à démanteler est un problème majeur pour les compagnies pétrolières. Le coût de l'abandon de ces grandes structures s'avère être du même ordre de grandeur que celui de leur installation, c'est-à-dire atteindre quelques centaines de millions d'euros, voire dépasser le milliard dans quelques cas extrêmes². Dans la plupart des pays, le coût du démantèlement des installations est partiellement supporté (soit par une contribution directe, soit par le biais de la fiscalité) par le pays qui a tiré un bénéfice des ressources pétrolières tout au long de l'exploitation du gisement. Cependant, les pays ne se montrent pas pressés d'investir pour le démantèlement des structures, en sachant qu'aucun bénéfice n'y est associé. C'est pour cela qu'une réglementation spécialisée s'est, petit à petit, créée afin d'éviter un abandon total des installations pétrolières offshore.

c. Une évolution réglementaire

La première réglementation au sujet du démantèlement des plateformes pétrolières remonte à 1958, avec la Convention de Genève sur le plateau continental. A cette époque, les installations pétrolières en mer étaient rares, de petites dimensions et implantées dans de faibles profondeurs d'eau. La convention avait donc pris la décision d'obliger les Etats à enlever totalement toute installation ne servant plus:

"Avis doit être dûment donné de la construction de ces installations, et l'entretien des moyens permanents de signalisation nécessaires doit être assuré. Toutes les installations abandonnées ou ne servant plus doivent être complètement enlevées."¹

En 1973, le choc pétrolier a eu pour conséquence d'amorcer de nouvelles prospections dans des eaux beaucoup plus profondes, dans des mers beaucoup plus difficiles comme la mer du Nord. La conséquence majeure de ces nouvelles découvertes fut la mise en service d'installations très lourdes. C'est dans ce contexte qu'en 1982, la Convention de l'O.N.U. sur le droit de la mer aborda les premières réglementations sur l'élimination partielle des installations artificielles en mer. Comprenant bien que le démantèlement total deviendrait compliqué à cause de la nouvelle dimension des installations pétrolières, la réglementation décide d'inclure des cas où le démantèlement partiel est possible.

"La construction de ces îles artificielles, installations et ouvrages doit être dûment notifiée et l'entretien de moyens permanents pour signaler leur présence doit être assuré. Les installations ou ouvrages abandonnés ou désaffectés doivent être enlevés afin d'assurer la sécurité de la navigation, compte tenu des normes internationales généralement acceptées établies en la matière par l'organisation internationale compétente. Il est procédé à leur enlèvement en tenant compte aussi de la pêche, de la protection du milieu marin et des droits et obligations des autres États. Une publicité adéquate est donnée à la position, aux dimensions et à la profondeur des éléments restant d'une installation ou d'un ouvrage qui n'a pas été complètement enlevé."²

1. *Convention de Genève sur le plateau continental*, Article 5, § 5, 29 avril 1958

2. *Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, Partie V: Zone économique exclusive*, Article 60, § 3, 10 décembre 1982

3. Titre original "Guidelines and Standards for the Removal of Offshore installations and structures on the Continental Shelf and the Exclusive Economic Zone". Document de l'O.M.I.

4. Chiffres tirés de l'article d'Emmanuel Garland, "Offshore - Démantèlement des plates-formes pétrolières", Universalis

La convention mentionne pour la première fois la possibilité de laisser partiellement les installations offshore en prenant en compte la circulation des navires, la pêche, la protection de l'environnement et tous les autres usages légitimes de la mer. Le principe du démantèlement reste en place mais son importance doit être définie par une organisation internationale, ce qui fut fait par l'Organisation Maritime Internationale (O.M.I.) en 1989 en adoptant des normes pour l'élimination des installations et structures offshore³. Elle oblige un démantèlement pour toutes les installations d'une profondeur inférieure à cent mètres et d'un poids inférieur à quatre-mille tonnes sauf si il y a une impossibilité technique ou un coût trop élevé ou qu'il y a un risque trop important pour le personnel ou l'environnement marin. Il y est incluse que les installations construites à partir de 1998 doivent être pensées "démontables".

Cette position de l'O.M.I. laisse des conditions de démantèlement. Ces règles agissent comme des recommandations et laissent aux Etats le choix de procéder à un démantèlement, partiel ou non, selon certaines conditions. Les Etats riverains de mer du Nord font partie des premiers concernés par la question et vont user et abuser de ces "souplesse" dans la réglementation.

Sur le plan régional de la mer du Nord, l'OSPAR, qui régit depuis 1972 les conditions d'immersion des déchets en mer, émit en 1991, des lignes directrices précisant dans quelles conditions devait ou pouvait se faire l'immersion des installations hors-service. Cependant, à la suite de l'affaire Brent-Spar, les ministres de l'Environnement des pays riverains de la mer du Nord puis l'OSPAR décidèrent, en juin 1995, d'un moratoire suspendant toute immersion en attendant qu'une décision définitive soit prise. Les pays signataires de la Convention OSPAR se sont finalement mis d'accord en juillet 1998, sur un nouveau texte. Cette décision pose le principe du démantèlement complet de toutes les installations pétrolières marines désaffectées de la mer du Nord, et oblige leur élimination à terre. Il existe des dérogations mais elles sont extrêmement limitées et ne peuvent concerner que les installations en béton ou l'embase des très grosses installations métalliques. Par exemple en 2008, sur les cent-vingt-neuf installations ayant fait l'objet d'un plan d'abandon en mer du Nord, six ont fait l'objet d'une demande de dérogation (cinq installations gravitaires en béton et une embase d'installation métallique).⁴

La convention OSPAR marque un retour vers les idées émises en 1958 lors de la convention de Genève, à savoir des règles contraignantes sur le démantèlement des plateformes. Celles-ci peuvent être laissées sur place que dans certains cas exceptionnels, obligeant les compagnies pétrolières à prendre en compte les problématiques de fin de vie des plateformes.

Fig.18: Une évolution réglementaire-Frise chronologique

1995
Affaire Brent-Spar

1991
Convention OSPAR

Rédaction des lignes directrices précisant dans quelles conditions devait ou pouvait se faire l'immersion des installations hors-service

1982
Convention des Nations Unies sur le Droit de la Mer (CNUDM)

Possibilité de démantèlement partiel

1958
Convention de Genève

Obligation d'enlever toute installation ne servant plus

1998
Convention OSPAR

Obligation de démanteler toutes les installations hors-service et de les éliminer à terre (quelques dérogations)

1989
Réglementations de l'O.M.I

Toutes les installations d'une profondeur inférieure à 100 mètres et d'un poids inférieur à 4000 tonnes doivent être démantelées (sauf si il y a une impossibilité technique ou un coût trop élevé ou qu'il y a un risque trop important pour le personnel ou l'environnement marin)

1973
Premier choc pétrolier

 Réglementation en mer du Nord

 Réglementation mondiale

d. Les différentes options d'un démantèlement

Une installation pétrolière classique se distingue par deux parties principales, la structure porteuse et les "topsides". Ces deux parties ne subissent pas le même sort lors d'un démantèlement. Avant de démanteler une installation offshore, on commence par boucher les puits de pétrole, nettoyer sur place les installations et éliminer les produits les plus dangereux (produits chimiques notamment). Les installations de surface ont généralement été en contact avec les hydrocarbures, il faut donc les nettoyer avant de procéder au démantèlement. La structure, elle, est constituée de matériaux inertes (béton ou acier) qui n'ont pas été pollués par les matières dangereuses. Seules les installations de stockage qui possèdent des réservoirs sous-marins contenus dans la structure, posent des problèmes de nettoyage en profondeur lors de la phase pré-démantèlement.

Les principales options pour le démantèlement et le devenir des installations nettoyées sont alors les suivantes :

- Le recyclage: Tout ou partie de l'installation est ramené à terre. Les parties métalliques, ferrallées, sont ensuite fondues et recyclées.
- Le stockage : Tout ou partie de l'installation, ramené à terre, est mis dans une décharge agréée, et est stocké.
- L'élimination en eaux profondes. L'installation est remorquée au large et immergée dans un site autorisé (à plus de cent-cinquante milles marins des côtes et à plus de deux-milles mètres de profondeur)
- L'abandon sur place. L'installation, mise en sécurité, est laissée sur place, ce qui suppose certaines dispositions de signalisation et d'entretien.
- Le réemploi dans l'industrie pétrolière. Tout ou partie de l'installation est réutilisé sur un nouveau site, à des fins d'exploitation d'autres ressources pétrolières, présentant des caractéristiques compatibles.
- Le réemploi en récif artificiel. L'installation est laissée à sa place ou déposée au fond de la mer, à un endroit prédéfini où elle est agglomérée à d'autres installations similaires. Un récif artificiel est ainsi constitué et est destiné au développement ou à la protection de la faune et de la flore marine.

En règle générale, les modules qui composent la superstructure (topsides) sont ramenés à terre pour finir leur nettoyage et récupérer ce qui peut l'être. C'est le reste de l'installation, c'est-à-dire la structure porteuse, restée en place, qui est susceptible d'être traité selon les options qui viennent d'être décrites.

Pour plusieurs raisons, le réemploi ou le recyclage complet des installations paraît la meilleure solution pour l'environnement. Il permet de "libérer" la mer de la présence des plateformes, potentiellement dangereuses pour l'environnement.

ment. Cependant, le bénéfice environnemental du recyclage complet n'est pas si évident. Démontez des installations de grande taille, au milieu d'une mer agitée comme la mer du Nord, nécessite d'utiliser des techniques lourdes, dangereuses (découpe à l'explosif des jambes des plateformes mesurant plus d'un mètre de diamètre par exemple) et coûteuses. De plus, la question du devenir des matériaux ramenés à terre reste parfois sans réponse:

“Les quantités sont énormes, les installations portuaires capables de les accueillir sont extrêmement rares, la fonte des matériaux est consommatrice d'énergie (comparable à celle qui est nécessaire à la fonte du minerai d'origine), et le transport mer-terre est risqué.”¹

En plus des matériaux, la réutilisation des différents modules de traitement sur d'autres gisements n'est que peu souvent envisageable, car la conception d'une plateforme pétrolière est très spécifique et souvent portée sur un seul type d'utilisation. Ces installations ont été spécialement dessinées et construites pour une profondeur d'eau déterminée, un type d'hydrocarbure précis (pétrole, gaz ou condensat), un débit journalier et une quantité totale prédéterminés, une forme géologique du terrain spécifique, etc ...

Mettre dans une décharge de tels volumes ne paraît pas réaliste, en particulier pour les installations en béton. D'où l'idée de l'immersion des installations les plus volumineuses, une fois débarrassées de leurs matériaux potentiellement polluants. Chacune des solutions comporte des avantages et des inconvénients et représente un impact différent sur l'environnement, à terre comme en mer. Chacune a un coût énergétique ; chacune présente des risques différents, pour les hommes et l'environnement. Le coût de certaines solutions est si élevé que, si elles étaient imposées, cela conduirait à abandonner la rentabilité d'un certain nombre de gisements et donc à laisser dans le sous-sol des réserves inexploitées, ce qui paraît impossible dans une industrie qui recherche une productivité maximale. Il s'avère donc que, pour une installation déterminée, seule l'étude approfondie des différentes options peut permettre de dégager la meilleure solution, alors que de nombreux critères sont à prendre en considération. Bien que le démantèlement soit au cœur des problématiques actuelles, le problème se pose depuis longtemps, notamment dans le Golfe du Mexique. Utiliser cette expérience pourrait permettre de gérer au mieux la phase de démantèlement des plateformes en mer du Nord.

1. Citation de Emmanuel Garland dans son article "Offshore - Démantèlement des plates-formes pétrolières", Universalis



Fig. 19. Gigantic 24,000 tonne oil rig Brent Delta arrives in the North-East on the back of an Iron Lady. The Northern Echo, 2 mai 2017



Fig.20: A decommissioned North Sea oil platform,
The National, 1^{er} Octobre 2020

e. Exemples régionaux: le Golfe du Mexique et la Mer du Nord

1. Mark J. Kaiser, Siddhartha Narra, "Decommissioning activity on the decline in the Gulf of Mexico", *Offshore-mag*, 1er août 2018

2. Cassidy Craighill, "Spreading Oil Rig Dumpsites in the Gulf of Mexico?", *GreenPeace*, 31 juillet 2014

3. Voir partie: 3. Que faire des plateformes offshore en fin de vie ?, II. Les différentes pistes de reconversion, a. Les récifs artificiels

La région où le problème s'est posé pour la première fois est le golfe du Mexique, où plus de quatre-mille installations ont été mises en service depuis les années 1940. Le premier démantèlement date de 1973 mais le véritable départ de cette activité se produit dans les années 1980. Entre 1987 et 1996, cent-huit structures par ans sont démantelées. Ce chiffre augmente petit à petit pour atteindre les deux-cents plateformes par ans entre 2007 et 2016¹. Les plus anciennes plateformes sont implantées dans des eaux peu profondes et sont de faibles dimensions, leur démantèlement ne posant pas de problèmes majeurs. Mais compte tenu des quantités énormes de ferraille récupérées, leur devenir a fait l'objet de longs débats et d'études comparatives. La majorité des structures a été ramenée à terre mais un pourcentage assez important fut transformé en récifs artificiels (environ quatre-cents plateformes²). Ces récifs artificiels servent d'habitat pour les poissons et constituent une source de revenus pour les pêcheurs et le tourisme aquatique. On a en effet constaté que les poissons aiment nicher dans ce type de structure que d'autres pays, comme le Japon, construisent des récifs artificiels seulement dans ce but. La transformation des plateformes du golfe du Mexique en récifs artificiels est cependant sujet à plusieurs controverses, leurs bienfaits n'étant pas partagés par tous.³

En mer du Nord, la situation est assez différente. En effet, les gisements sont situés dans des eaux beaucoup plus profondes et aux conditions météorologiques plus difficiles. Les plateformes y ont donc une tout autre dimension, les plus importantes étant en béton. Les travaux de démantèlement y sont beaucoup plus lourds et plus complexes. De plus, ils s'étalent sur plusieurs saisons puisqu'ils ne sont possibles que pendant la période estivale de l'année, les conditions météorologiques étant trop difficiles en hiver. Pour toutes ces raisons, le démantèlement des installations et leur transfert à terre présentent des risques et ont des conséquences financières bien plus importantes. De plus, il n'existe pas encore de port européen équipé pour recevoir, démonter et recycler ces installations colossales. Et même s'il existait un port de ce type, cela engendrerait un certain nombre de nuisances pour l'environnement portuaire proche. C'est à cause de ces nombreuses raisons que l'on s'est demandé s'il n'était pas plus bénéfique de les immerger, une fois nettoyées et que l'on a éliminé les contaminants possibles.

L'affaire de la bouée *Brent Spar* a révélé toute la problématique du recyclage éventuel. La médiatisation autour de cette plateforme s'est prolongée et a montré que malgré son rapatriement vers la côte, l'avenir du Spar n'était pas décidé. La bouée est restée pendant plusieurs années dans un fjord norvégien faute d'infrastructures adéquates pour l'accueillir. Depuis lors, elle a été découpée en tronçons qui ont été utilisés comme supports à une jetée norvégienne.⁴

4. Jeremy Beckman, "Shell takes vertical approach to Brent spar decommissioning", *Offshore-mag*, 1er mars 1998



Fig. 21 - Brent Spar under tow from fjord to the selected decommissioning site at Vass in Vågfjord. Shell Brent Spar dossier, août 1998.

“Le potentiel est énorme. [...] L’activité de démantèlement devrait donc se renforcer dans les dix à quinze prochaines années.”

Estelle Brachlianoff

3. Que faire des plateformes offshore en fin de vie ?

I. Le démantèlement

f. Le démantèlement, un nouveau marché pour l’industrie para-pétrolière

f. Le démantèlement, un nouveau marché pour l’industrie para-pétrolière

L’industrie para-pétrolière comprend toutes les compagnies qui conçoivent et construisent les plates-formes ainsi que celles qui les mettent en place. Ce secteur très important de l’industrie pétrolière a vite compris le marché potentiel que représente le démantèlement et le recyclage des installations désaffectées. Ces compagnies ont apporté des arguments aux écologistes et aux représentants des ministères de l’Environnement des pays concernés, en assurant que le démantèlement ne pose pas de problème technique particulier, qu’il peut se réaliser à un coût raisonnable et que le savoir-faire existe.¹

Ces entreprises ont aussi compris qu’il fallait rapidement proposer de nouvelles solutions, de nouveaux types d’installations pétrolières, qui ne poseraient pas les mêmes problèmes au moment de leur mise hors service. Cela les a conduites à multiplier les projets d’installations flottantes, sous différentes formes (semi-submersibles, à lignes tendues avec puits sous-marins, etc.), installations qui offrent l’avantage de résoudre a priori le problème du démantèlement. L’objectif est d’être en accord avec les réglementations de l’O.M.I., qui prévoient que toute installation pétrolière mise en place après le 1er janvier 1998 doit avoir été conçue pour pouvoir être entièrement démantelée.

C’est donc la résolution du problème du devenir des grosses installations mises en place entre 1975 et 1998, et dont les plus récentes arriveront en fin de vie d’ici à 2020-2025, qui se trouve au cœur de l’enjeu des débats et des recherches actuels.

1. On peut citer notamment l’entreprise Veolia qui se positionne comme l’une des principales figures de ce nouveau marché. Voir l’interview d’Estelle Brachlianoff, directrice générale de Veolia UK, dans l’article d’Eric Saudemont, “Estelle Brachlianoff, directrice générale de Veolia UK (Royaume-Uni et Irlande)”, Pétrole et Gaz Informations, mars 2019

II. Les différentes pistes de reconversion

a. Les récifs artificiels

1. Voir l'étude collaborative: Scarborough Bull and Love, Occidental College, "Oil platforms off California are among the most productive marine fish habitats globally"; PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences), 22 septembre 2014

2. Harrison Tasoff, "Rigs-to-reefs", The Current, 25 janvier 2019

La création de récifs artificiels à l'aide de la structure des plateformes pétrolières est sans doute la reconversion la plus répandue aujourd'hui. Cette solution ne date pas d'hier puisque de nombreuses plateformes du Golfe du Mexique ont déjà été transformées en récifs. 11% des infrastructures du golfe, soit environ cinq-cents plateformes, sont aujourd'hui toujours en place. Cette solution fut largement utilisée dans le Golfe du Mexique puisque les plateformes sont principalement de type "jacket-deck". Leur structure en tubes d'acier sert alors d'abri pour de nombreuses espèces animales, souvent différentes de celles présentes sur les côtes, comme les moules, les patelles, les coquilles Saint-Jacques, les coraux, les huîtres, mais aussi les crabes, les amphipodes et les crevettes. Toutes ces espèces attirent par la suite des poissons carnivores ou herbivores. Les nombreux vides présents dans la structure permettent au poissons, aux courants marins ainsi qu'aux nutriments en suspension dans l'eau de circuler. Des études¹ montrent que de tels écosystèmes font partis des plus dynamiques de la planète, très productifs en biomasse et présentant une biodiversité extrêmement riche.

La transformation des plateformes en récifs fait partie de la politique de certains états américains sous le nom de "rig-to-reef". Cette politique présente de nombreux avantages économiques. Les pêcheurs locaux y sont favorables car ces structures permettent d'attacher les bateaux de pêche et de profiter de zones riches en poissons. Cette politique favorise les entreprises pétrolières qui ne dépensent pas les coûts nécessaires à un démantèlement. D'autre part, conserver ces structures permettrait d'importantes économies, qui pourraient profiter aussi aux États. En effet, dans les États américains qui pratiquent le "rig-to-reef", des lois stipulent qu'une partie des sommes économisées par les entreprises pétrolières (jusqu'à 50% selon Ann Scarborough Bull²) doit être reversée à l'État, désormais propriétaire des anciennes plateformes présentes dans ses eaux territoriales.

Ces projets de reconversion apparaissent donc bénéfiques dans de nombreux aspects. Il ne sont cependant pas réalisables pour toutes les plateformes. Le Golfe du Mexique est l'endroit idéal car il est peu profond et ne possède pas ou très peu de zones "dures" autour desquelles des écosystèmes peuvent se développer. De plus, il se caractérise par un fond sablonneux, ainsi, les points durs que forment les récifs artificiels constituent de véritables oasis au milieu de

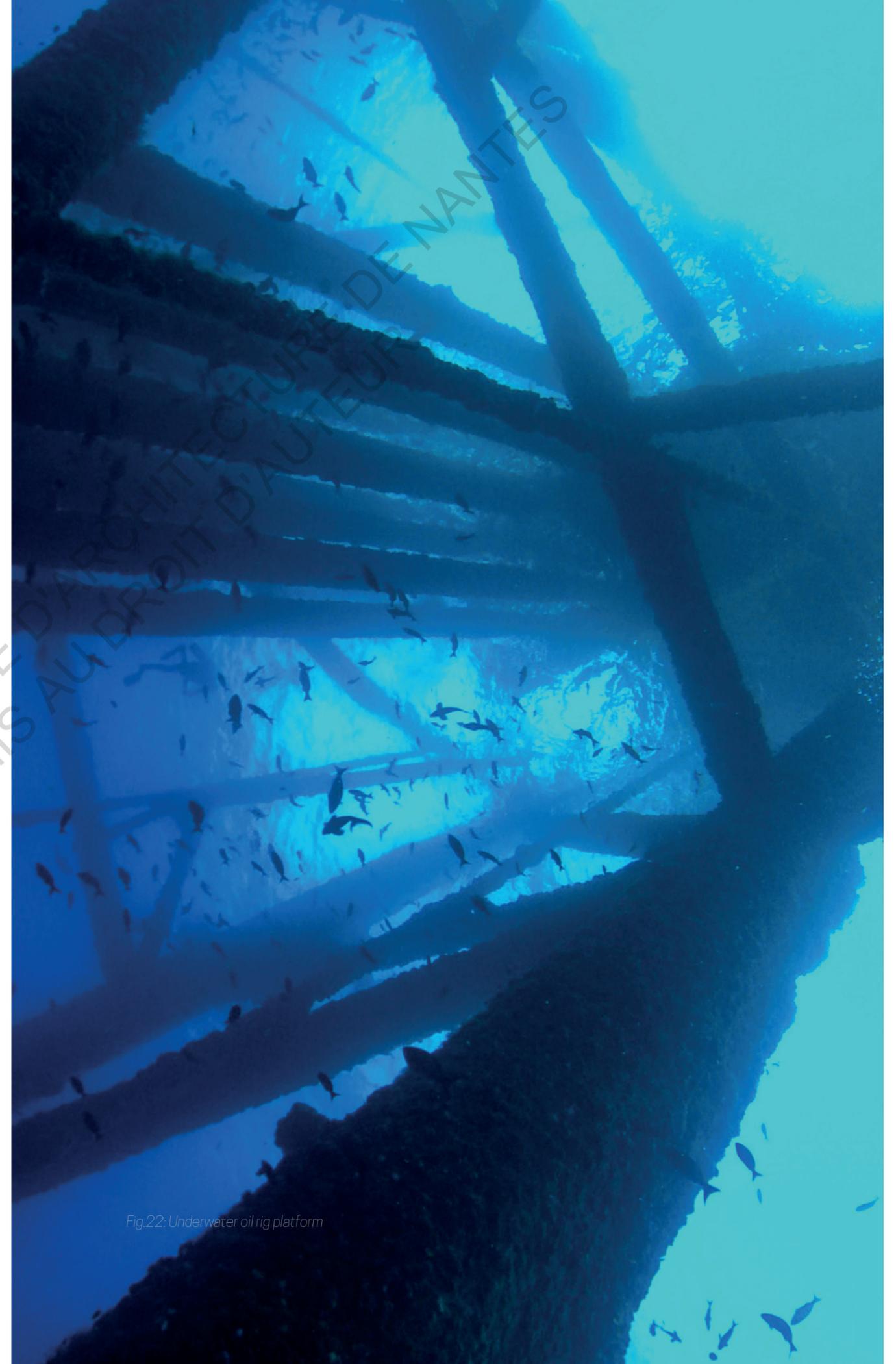


Fig.22: Underwater oil rig platform

“une vaste expérience industrielle et chimique”

Cassady Craighill, Greenpeace, 31 juillet 2014
a propos du programme “Rigs-to-reef”

3. Arnaud Abadie, “Les récifs artificiel”, seaescape.fr, mars 2020

4. Yves Henocque, “Salon du littoral : plein feu sur la biodiversité et l'éolien flottant - Regards sur l'expérience japonaise - Partie 1”, Energie de la Mer, 6 Octobre 2020

cette grande étendue dépourvue d'abris. Il paraît beaucoup plus difficile de procéder à ce même type de reconversion en Mer du Nord puisque la profondeur n'est pas la même, ainsi que les poissons qui y vivent. La prise en compte du type de plateforme et de ses caractéristiques est aussi très important. En effet, La forme des plateformes joue un rôle important dans leur capacité à être un “bon” récif artificiel. Les différentes expériences en termes de récifs artificiels montrent que certaines formes et certains matériaux sont plus propices à l'installation d'un écosystème marin³. Il ne s'agit pas d'immerger une structure pour s'en débarrasser mais bien de créer un espace adéquat pour développer une vie sous-marine riche. Bien que le béton soit un matériau intéressant pour constituer un récif artificiel, la forme lisse, dénuée d'aspérités, des piles de béton des plateformes gravitaires ne peut pas constituer un support d'accroche pour les espèces marines. Ces plateformes, qui posent énormément de problèmes lors de leur fin de vie, ne sont donc pas convertibles en récifs artificiels à moins de procéder à une modification des piles comme la création de trous et d'aspérités ou encore l'ajout de matériaux tels que des filets ou cordages par exemple.

L'intégration de récifs artificiels doit être réfléchi et faire partie d'une approche globale de conservation des côtes et des fonds marins. Le Japon est aujourd'hui l'exemple à suivre en terme d'ingénierie écologique marine. Ce pays possède des années d'expérience dans l'utilisation de récifs artificiels pour repeupler les fonds marins. Historiquement, ce sont les premiers à utiliser ce genre de structures pour la pêche notamment. Après la guerre, le pays fut en proie à un fort appauvrissement des écosystèmes marins puisque de nombreuses baies furent bétonnées et polluées par l'industrie militaire. Afin de repeupler ces zones, le pays a décidé d'employer une stratégie active qui repose sur une pratique communautaire de gestion des ressources, le *satoumi*⁴. Se rendant compte que la réduction des facteurs polluants n'était pas suffisante pour redonner vie aux écosystèmes marins, ce concept propose de passer à une conservation active, ainsi qu'à une approche intégrée des problèmes, ceux-ci étant “multi-facteurs”. La conservation ne se fait pas uniquement en ajoutant des récifs artificiels mais bien en intégrant les usagers de la mer, comme les pêcheurs, ainsi que les industries et activités présentes sur la côte. Ainsi, certaines régions japonaises, celle de Kagawa depuis 2013 par exemple, développent cette idée de conservation pluri-disciplinaire en développant de l'éco-

tourisme, une éducation environnementale ou encore des usines de traitement des déchets côtiers et marins. L'installation de récifs artificiels s'accompagne donc d'un ensemble d'actions qui tendent à conserver la biodiversité marine, répondant de manière globale à ce problème de pollution des océans. Ce même type de réflexion doit être porté sur les zones polluées par l'industrie pétrolière. Même si les côtes sont plus éloignées, ces zones doivent tout de même être incluses dans un plan global de sauvegarde de la biodiversité marine. Il ne s'agit pas seulement de prendre en compte les plateformes mais d'y intégrer les usagers de la mer (pêcheurs, transport maritime) ainsi que les habitants des pays côtiers.

La transformation des plateformes pétrolières en récifs artificiels fait l'objet de controverses qui opposent deux visions différentes: la restitution à l'état originel d'un lieu sur lequel des infrastructures pétrolières ont été installées ou l'impossibilité de revenir à un écosystème semblable à l'existant et la nécessité de faire avec les changements apportés par l'industrie pétrolière. L'association Greenpeace fait partie des fers de lance du premier mouvement. Ils agissent pour un démantèlement total de toutes les installations offshore et militent contre la transformation des plateformes en récifs artificiels. L'association publie, en 2014, un article dans lequel ils défendent leurs idées:

“Avec des milliers de plates-formes qui doivent être mises hors service au cours des prochaines années, nous pouvons soit décider d'aider de redonner au golfe du Mexique sa vitalité d'antan, soit lui permettre de devenir un dépotoir aux proportions épiques.”⁵

Leur position est donc très loin des idées émises par les scientifiques comme Ann Scarborough, comparant le projet “Rig-to-reef” à **“une vaste expérience industrielle et chimique”⁶**. Cette position n'est pas partagée par tous puisque d'autres estiment qu'un retour à un environnement tel qu'il était avant l'exploitation pétrolière est impossible. On retrouve ces idées dans les propos de chercheurs australiens dans la revue ScienceDirect. Ils estiment que **“les habitats et les communautés écologiques sont maintenant modifiés par rapport à leurs configurations préexistantes”**, mais que le démantèlement n'assurerait pas un retour à l'état antérieur car les nouveaux écosystèmes **“défient la restauration conventionnelle”**. Selon eux, la reconversion des plateformes doit prendre en compte les nouveaux écosystèmes qui se sont formés autour d'elles:

“les options de démantèlement diffèrent considérablement dans leurs effets sur la biodiversité, en particulier entre les options d'élimination partielle et complète (des plateformes), cette dernière entraînant une perte presque complète du biome récifal associé”⁷.

5.6. Cassady Craighill, “Spreading Oil Rig Dumpsites in the Gulf of Mexico?”, GreenPeace, 31 juillet 2014

7. Étude complète: Brigitte Sommer, Ashley M. Fowler Peter, I. Macreadie, David A. Palandro, Azivy C. Aziz, David J. Booth, “Decommissioning of offshore oil and gas structures – Environmental opportunities and challenges”, Science of The Total Environment, Volume 658, Décembre 2018

b. Autres projets de reconversion

1. Le projet est résumé sur le site d'Equinor, la compagnie pétrolière qui exploite le champ de Sleipner, voir la page web "Sleipner partnership releases CO2 storage data", equinor.com, 12 juin 2019

2. Voir partie IV. Les plateformes offshore supports d'énergie renouvelables

3. Projet visible sur le site de l'hôtel, <https://seaventuresdive.com>

4. Voir les projets des agences Morris Architects "Oil rig eco resort" ou de l'agence XTU architects avec leur projet "X-Lands"

Peu de projets de reconversion de plateformes pétrolières existent aujourd'hui. Cela vient du fait que de nombreuses plateformes hors services sont laissées à l'abandon depuis plusieurs années. Toutes ne sont pas démantelées et sans une pression suffisamment forte des États, les compagnies pétrolières préfèrent délaissé leurs installations. Cette tendance est en train de changer et de plus en plus d'ingénieurs, d'architectes et d'entreprises para-pétrolières travaillent sur des projets de reconversion. En effet, ce problème est mis en lumière notamment pas les actions de GreenPeace sur la plate forme Brent-Spar ainsi que par les nombreux problèmes posés par le démantèlement des plateformes, d'ordres financiers et logistiques, l'impact environnemental étant plus partagé.

Quatre secteurs se dégagent pour la reconversion de ces structures. Le premier est le secteur industriel et plus particulièrement énergétique. En mer du Nord, zone du globe où les énergies renouvelables offshore sont de plus en plus présentes, les plateformes offshore pourraient servir de sous-station électrique pour redistribuer de l'électricité produite par des parcs d'éoliennes offshore par exemple. D'autres pourraient servir à stocker du CO₂, comme c'est le cas en Norvège dans le champ Sleipner.¹ D'autres possibilités sont à l'étude et seront détaillées dans une partie ultérieure du mémoire.² Le second secteur qui pourrait permettre de reconvertir les installations offshore est le secteur commercial. Les plateformes pourraient servir à décongestionner les zones portuaires en s'installant près des côtes (aux Pays-bas par exemple). La troisième piste de reconversion est à explorer du côté de la recherche. Ces plateformes permettraient d'accueillir des centres de recherche de la vie sous-marine, utilisant les parties émergées et immergées pour surveiller la faune marine. Des projets d'eco-tourisme autour du milieu marin sont aussi possibles. C'est d'ailleurs le cas d'un des seuls projets de reconversion réalisés, le Seaventure Dive Resort. Située en Malaisie, une plateforme a été reconvertie en un hôtel spécialisé dans la plongée sous-marine.³ Ce projet concerne une plateforme mobile de petite envergure mais permet de mettre en lumière ce qu'il est possible de faire avec une installation pétrolière.

On peut noter en revanche que des projets, plus ou moins utopiques, commencent à voir le jour par le biais d'agence d'architecture ou d'ingénierie. Ceux-ci sont souvent orientés vers le logement touristique en reprenant l'exemple du Seaventure Dive Resort. En effet, la plateforme pétrolière s'inscrit pleinement dans ce qui est en vogue dans le tourisme actuel, la recherche d'expériences insolites. Les architectes se sont donc empressés de proposer des projets d'hôtels par le biais de concours notamment⁴, l'image d'un habitat suspendu au-dessus de l'eau étant très vendeur. La reconversion de plateforme pétrolière en hôtel n'est pas forcément quelque chose de négatif puisque certaines régions peuvent être propices à ce genre de projets. Il est cependant beaucoup plus difficile d'imaginer un hôtel flottant en mer du Nord.



Fig. 23. Seaventure Dive Resort.

Bien que le démantèlement soit la seule action réalisée massivement lorsqu'une plateforme arrive en fin de vie, il paraît évident que ce n'est pas la solution miracle. Le démantèlement est intéressant dans le cas de petites plateformes qui ne demandent pas trop de moyens pour être démontées, il est beaucoup moins évident lorsque l'on parle de plateformes gigantesques de trois-cents mètres de hauteur. De plus, les plateformes pétrolières démantelées peuvent devenir des fardeaux une fois ramenées à terre. Elles nécessitent des infrastructures portuaires importantes et leur recyclage n'est pas toujours évident. Avec la multiplication des plateformes arrivant en fin de vie dans les prochaines années, le démantèlement n'est peut-être pas la seule solution envisageable.

Il paraît donc intéressant de penser à une reconversion de certaines plateformes offshore. Celle-ci doit être pensée en fonction du contexte et doit correspondre à une certaine vision du développement des espaces maritimes. À la manière des nombreux bâtiments industriels réhabilités et reconvertis ces dernières années, la reconversion d'une plateforme pétrolière doit présenter un "programme" adapté. La reconversion en récifs artificiels ou en complexes hôteliers sont aujourd'hui les deux seules formes de reconversion. Bien qu'intéressantes, ces deux manières de reconvertir une plateforme ne sont pas applicables dans tous les contextes. Il est donc primordial de voir qu'elles autres alternatives peuvent offrir les plateformes pétrolières.

Ces alternatives ne sont pas nombreuses mais l'une d'entre elles est souvent évoquée; la reconversion par la production d'énergie renouvelable. Autrefois symboles de la production pétrolière, les plateformes pourraient accompagner un monde en pleine transition énergétique et devenir supports de nouvelles énergies.

4

LES PLATEFORMES OFFSHORE SUPPORTS D'ÉNERGIES RENOUVELABLES

I - Les énergies marines renouvelables

- a. Les énergies renouvelables: État général
- b. Le potentiel des énergies marines renouvelables
- c. Énergie marémotrice et hydrolienne
- d. Énergie houlomotrice

II - Autres sources d'énergie adaptables aux plateformes pétrolières

- a. Les panneaux photovoltaïques
- b. L'éolien offshore
- c. La production d'hydrogène
- d. Les technologies CCUS (Carbon Capture, Utilisation and Storage)

III - Le contexte en Mer du Nord

- a. Politiques Européennes
- b. Planification de l'espace maritime

IV. Scénarios de reconversion

- a. Reconversion par l'éolien offshore
- b. Reconversion en plateforme multi-usages
- c. Bilan

“Les plateformes pétrolières supports d'énergies renouvelables.” Cette affirmation peut paraître utopique mais elle représente une option de reconversion envisageable. Les plateformes deviendraient alors des vecteurs de la transition énergétique à venir, impulsant un nouveau souffle à des territoires marins aujourd'hui transformés par la production pétrolière de ces trente dernières années. Alors que l'Union Européenne vise, à l'horizon 2050, la neutralité carbone, les plateformes pourraient devenir des lieux d'expérimentation et de développement pour les énergies marines renouvelables et s'inscriraient parfaitement dans les politiques actuelles et futures. L'ultime partie de cette étude permettra de se consacrer dans un premier temps sur les technologies de production d'énergies renouvelables puis sur la faisabilité d'un projet de reconversion d'une plateforme. Les aspects techniques, environnementaux et socio-économiques seront notamment évoqués afin d'étudier les impacts et les enjeux que pourrait avoir un tel projet.

I. Les énergies marines renouvelables

a. Les énergies renouvelables: état général

1. "Intro to ocean energy", Delft University of Technology, Section of offshore engineering, 16 novembre 2016

2. Voir le document: Delphine Chareyron, Hélène Horsin-Molinaro, Bernard Multon, "Concepts et chiffres de l'énergie: émissions de CO₂", Culture Sciences Physique, 14 septembre 2020

Les énergies renouvelables proviennent, par définition, de sources naturelles inépuisables tels que le soleil, le vent, les chutes d'eau, les marées, la chaleur de la Terre, ... On les oppose aux énergies fossiles qui elles sont constituées de gisements limités de combustibles (pétrole, gaz, charbon, ...) et, contrairement à ces énergies, ne produisent pas ou peu de déchets et d'émissions polluantes. Elles sont néanmoins peu exploitées car seulement 20%¹ de la consommation mondiale d'électricité est produite par des énergies renouvelables. On dénombre cinq grandes familles d'énergies renouvelables qui correspondent aux différents éléments naturels utilisés pour produire de l'énergie.

. L'énergie solaire est utilisée de deux manières: d'une part pour créer de l'énergie photovoltaïque qui correspond à de l'électricité produite à partir du rayonnement solaire sur des panneaux et d'autre part de manière thermique pour produire de l'eau chaude ou du chauffage, notamment par le sol.

. L'énergie éolienne consiste à utiliser les déplacements de masse d'air (vents) au sein de l'atmosphère. C'est l'énergie renouvelable la plus utilisée aujourd'hui.

. L'énergie hydraulique provient de sources marines et se décline sous plusieurs formes appelées les énergies marines renouvelables. On peut ainsi noter l'énergie houlomotrice (produite par les vagues), marémotrice (produite par les marées), hydrolienne (produite par les courants marins), thermique (produite par la différence de température entre la surface et le fond marin) ou encore osmotique (produite par la différence de salinité qui apparaît lorsque de l'eau douce se jette dans l'eau salée de la mer).

. L'énergie tirée de la biomasse provient, indirectement, de l'énergie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse. Elle est notamment exploitée par combustion afin de créer des biocarburants.

. L'énergie géothermique est créée en profondeur par la radioactivité naturelle des roches du noyau et de la croûte terrestre. Elle est extraite pour obtenir du chauffage ou produire de l'électricité.

Bien qu'encore assez rares, ces manières de produire de l'énergie sont de plus en plus utilisées, alors que de nombreux pays entament une transition énergétique. Cette transition devient nécessaire pour répondre à l'urgence écologique qui sévit aujourd'hui. Les énergies fossiles sont très polluantes, responsables d'environ 75%² des émissions de CO₂, il faut donc trouver des manières alternatives de produire de l'énergie pour limiter cette dépendance aux énergies fossiles.

Il n'est cependant pas facile d'opérer la transition. Dans un premier temps, le coût au kilowatt-heure des énergies renouvelables est plus élevé que celui des énergies fossiles. C'est à dire que l'on produit moins pour le même prix avec des énergies renouvelables. Cette tendance tend à diminuer puisque l'on maîtrise de mieux en mieux la production d'énergie par des sources renouvelables. Ces moyens de produire de l'énergie étant encore assez récents, il est normal qu'ils nécessitent un temps de développement. Le coût du kilowatt-heure produit par l'éolien a baissé de 54% en Europe entre 2010 et 2016³. On peut donc penser que ce coût diminuera encore dans les années à venir et permettra d'utiliser plus massivement les énergies renouvelables.

La seconde raison de cette faible utilisation des énergies renouvelables est le développement des techniques de forages des énergies fossiles. Si l'on reprend le cas du pétrole, on voit bien qu'avec les avancées technologiques dans le domaine de l'offshore par exemple, de nouvelles sources de pétrole se dévoilent. Ces sources que l'on pensait inexploitable vont pouvoir être exploitées dans les années à venir et l'épuisement des sources d'énergies fossiles n'est pas forcément si proche. Cependant, ces nouvelles possibilités ne doivent pas occulter le fait qu'il faille agir avant qu'il ne soit trop tard. Le développement d'énergies renouvelables doit donc être au cœur des préoccupations actuelles.

3. "Intro to ocean energy", Delft University of Technology, Section of offshore engineering, 16 novembre 2016

b. Le potentiel des énergies marines renouvelables

1.2. "Énergies marines renouvelables", Ministère de la transition écologique, ecologie.gouv.fr, 12 décembre 2018

Les énergies marines renouvelables comprennent l'ensemble des technologies permettant de produire de l'électricité à partir de différentes forces ou ressources du milieu marin: la houle, les courants, les marées, le gradient de température entre les eaux de surfaces chaudes et les eaux froides en profondeur (OTEC: Ocean Thermal Energy Conversion), les gradients de salinité. Ces différentes énergies marines renouvelables sont encore, pour la plupart, à l'état de concept. Chacune de ces filières présente un degré de maturité et des perspectives différentes à plus ou moins long terme. L'objectif principal des ces filières étant de réduire leur cout au kilowatt-heure pour être véritablement efficaces, elles nécessitent des lieux d'expérimentations et de développement. Dans le sillage de l'éolien offshore qui commence à devenir mature, les différentes énergies marines renouvelables doivent se développer. Le lieu aujourd'hui le plus propice pour mettre en place ces filières est le Nord-Ouest de l'Europe avec notamment la mer du Nord, caractérisée par de forts courants marins et de la houle. Le potentiel total théorique des énergies marines dans le monde a été estimé par l'Agence Internationale de l'Énergie entre 20 000 et 90 000 TWh/an (la consommation mondiale d'électricité actuelle est de 16 000 TWh/an)¹. La contribution de chaque technologie serait environ la suivante:

- . Hydrolienne et marémotrice: entre 300 et 800 TWh/an
- . Houlomotrice: entre 8 000 et 80 000 TWh/an
- . OTEC (Energie thermique des mers): environ 10 000 TWh/an
- . Gradient de salinité: 2 000 TWh/an

Les pays les plus avancés dans le développement des énergies marines renouvelables sont la Grande-Bretagne, et en particulier l'Écosse, affichant des objectifs ambitieux dans le développement de ces filières et possédant un territoire maritime adapté, **"la Grande-Bretagne pourrait devenir tenir le premier rang de capacité énergétique marine dans les années à venir."**²

Afin de comprendre comment fonctionnent ces filières et avec quels moyens, nous allons détailler ces différentes énergies marines renouvelables. La mer du Nord étant peu propice à l'utilisation des OTEC, efficaces dans les eaux chaudes, et du gradient de salinité, nous n'allons pas détailler ces deux énergies marines renouvelables. L'étude portera donc sur les énergies marémotrice et hydrolienne ainsi que sur l'énergie houlo motrice.

Potentiel énergétique des énergies marines renouvelables et de l'éolien offshore

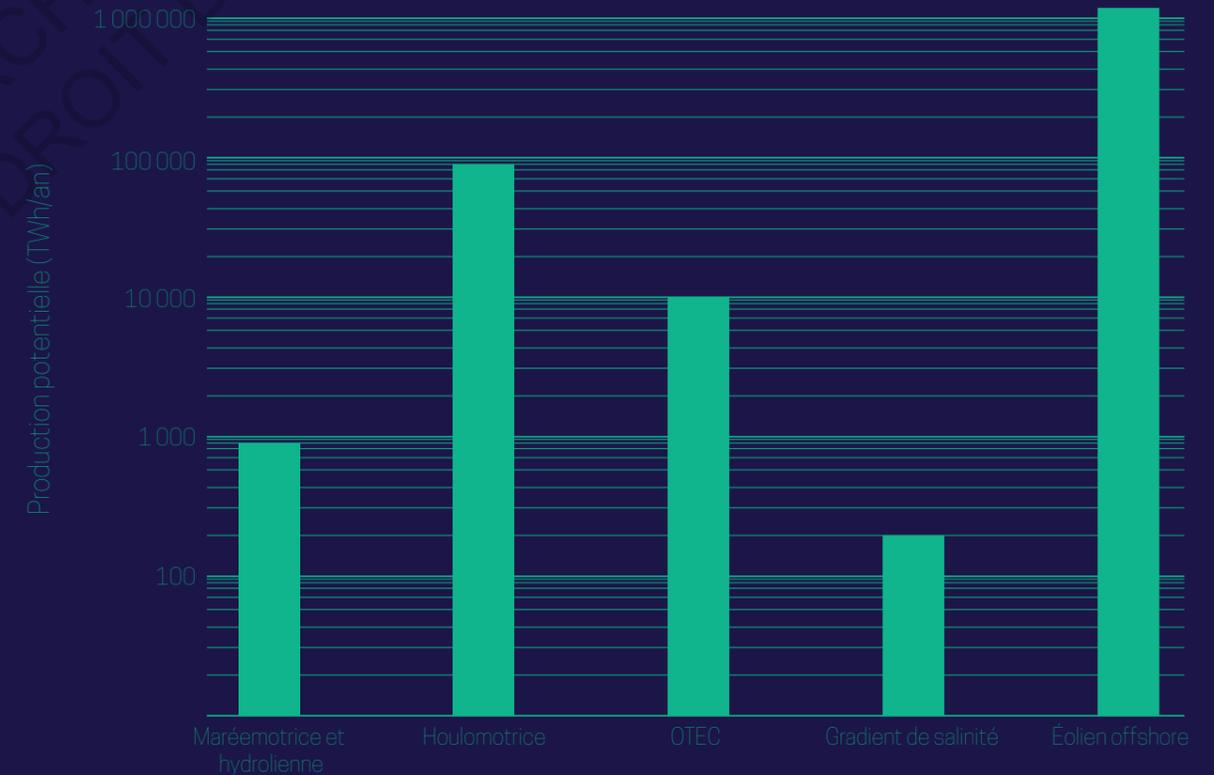


Fig.24: Long term market potential, Intro to Ocean Energy, Delft University of Technology, Section of offshore engineering, 2016

c. Énergie marémotrice et hydrolienne

1. Source de l'étude complète: Département Géographie et Territoires, "L'usine marémotrice de la Rance", Ecole Normale Supérieure, Octobre 2009

2. Lieu où les poissons déposent leurs œufs

3.4 Citations tirés de l'étude de l'ENS: Département Géographie et Territoires, "L'usine marémotrice de la Rance", Ecole Normale Supérieure, Octobre 2009

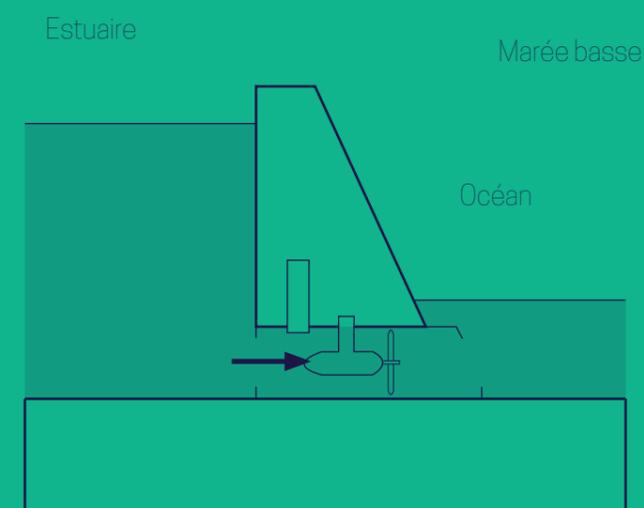
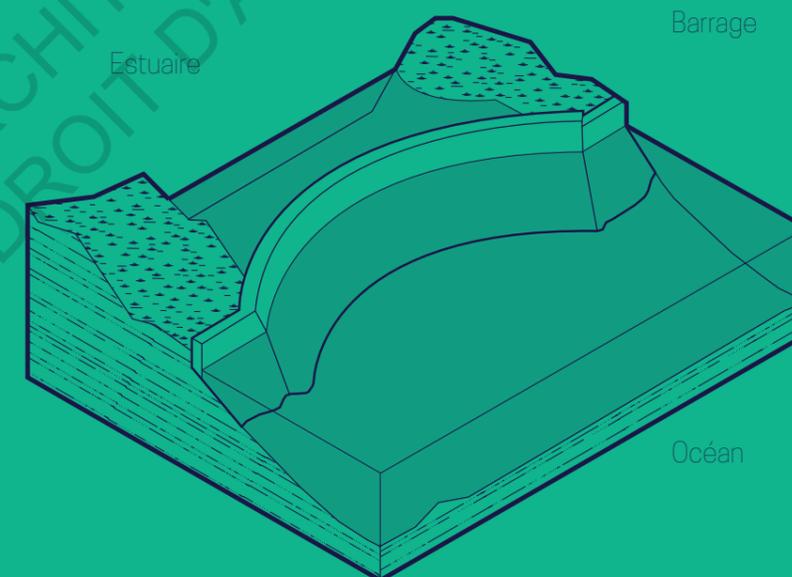
Les filières marémotrice et hydrolienne exploitent toutes les deux la même ressource naturelle, les courants marins. Les usines marémotrices exploitent la différence de hauteur d'eau créée par les marées (même fonctionnement que pour un barrage) alors que les hydroliennes, plus éloignées du bord, exploitent les courants marins. Bien qu'elles aient un potentiel intéressant, ces deux technologies possèdent de nombreux désavantages qui n'en font pas des solutions applicables à grande échelle. Les barrages marémoteurs ne peuvent être installés que dans certains lieux très spécifiques et ont généralement un fort impact sur l'environnement. Ils doivent être de grande dimension pour pouvoir être efficaces et viennent donc perturber la baie ou l'estuaire dans lequel il se trouve. Fonctionnant comme un barrage classique, l'usine marémotrice effectue des retenues d'eau importantes qui peuvent perturber les écosystèmes présents. L'exemple du barrage de la Rance, une des plus importantes usines marémotrices du monde, montre que de telles installations perturbent grandement l'environnement. Une étude menée en 2009 par l'ENS¹ (École Normale Supérieure) fait état de ces perturbations. En effet, les mouvements d'eau brusques et importants créés par le barrage ont complètement désorienté l'écosystème local, les végétaux ne pouvant pas s'adapter à de tels changements. Le fonctionnement de l'estuaire est perturbé, l'extension des vasières (créées par l'activité du barrage) **"nuît à la reproduction de certaines espèces qui se servent habituellement de ces bancs de sable comme de frayères"**^{2,3} Un nouvel écosystème s'est créé, ce qui pose la question de savoir si ce changement est positif ou non: **"Il y a eu une catastrophe écologique mais aussi un renouveau de l'estuaire. Savoir quel état est le plus désirable relève du point de vue de la société et non de la science qui peut simplement constater la succession de deux états de l'estuaire, très riches en biodiversité, mais très différents."**⁴

Dans une recherche de solutions moins agressives pour l'environnement, l'installation d'hydroliennes peut donc être envisageable. Ce sont des installations situées au large, flottantes ou posées sur le fond marin qui prennent la forme d'éoliennes sous-marines, entraînant une turbine par la force des courants. Leur mise en service et leur maintenance étant complexe par rapport au gain énergétique réduit qu'elles produisent, ces technologies sont peu utilisées. Les courants marins possèdent l'avantage d'être prévisibles et présents toutes l'année mais leur vitesse n'est pas assez élevée pour produire de l'électricité en grande quantité (un courant marin possède une vitesse de 10 à 20 km/h). Une solution

intéressante pourrait être d'associer des hydroliennes avec d'autres structures offshore existantes. Leur installation serait facilitée ainsi que leur maintenance. Elles ne peuvent pas être considérées, avec les technologies actuelles, comme de réelles sources fiables d'électricité. De plus, les hydroliennes ne peuvent pas être installées dans des sites de pêche, notamment de chalutage. Il est donc très difficile de trouver des sites comportant de forts courants de marées non exploités par la pêche. La difficile association de ces deux activités est donc un frein au développement des hydroliennes.

3. "Intro to ocean energy", Delft University of Technology, Section of offshore engineering, 16 novembre 2016

Fonctionnement d'une usine marémotrice



Lors de la marée basse, l'eau retenue en amont du barrage se déverse, actionnant la turbine qui produit de l'électricité. Ce phénomène est inversé lors des marées hautes.

d. Énergie houlomotrice

Les systèmes houlomoteurs se servent de l'énergie créée par les vagues, la houle, pour produire de l'électricité. De nombreux dispositifs sont actuellement à l'étude, certains étant déjà commercialisés mais aucun n'a aujourd'hui atteint le stade de maturité industrielle. Exploiter l'énergie des vagues paraît très prometteur sur beaucoup d'aspects et présente un potentiel énergétique intéressant. De nombreuses zones sont propices à cette filière. On retient en Europe la façade atlantique française et portugaise ainsi que les côtes de la Grande-Bretagne¹.

De plus, ces technologies ne rentrent pas en conflits avec d'autres activités maritimes puisqu'elles sont situées dans des zones assez hostiles. Cet avantage est à double tranchant puisque ces systèmes doivent tenir sur la durée dans des conditions difficiles. Le potentiel de l'houlomoteur est donc important et plusieurs entreprises l'ont compris. C'est notamment pour cela que de nombreux concepts voient le jour, tous différents, et qu'il est difficile de se projeter sur le visage que peut prendre la technologie houlomotrice dans le futur. Entre la manière d'exploiter la houle (verticalement ou horizontalement), leur implantation (flottants, au fond de l'eau, situés sur une plateforme fixe, sur les littoraux), et la forme des dispositifs (oscillants, en "serpent de mer", en colonne, sous forme de masse rotative, ...), les ingénieurs imaginent les dispositifs les plus efficaces pour exploiter l'énergie de la houle. Dans ce contexte de recherche et développement intense, les plateformes pétrolières restées en mer pourraient servir de laboratoire grandeur nature pour développer ces différents concepts.

¹ "Intro to ocean energy, Wave energy", Delft University of Technology, Section of offshore engineering, 16 novembre 2016



Fig.26: Le Pelamis, appareil utilisant l'énergie houlomotrice

II. Autres sources d'énergie adaptables aux plateformes pétrolières

D'autres dispositifs producteurs d'énergies renouvelables pourraient s'adapter aux structures des plateformes pétrolières et à l'environnement marin. Avant de voir les différents scénarios d'adaptation aux plateformes, nous allons détailler quelques propositions de dispositifs qui pourraient profiter des plateformes offshore. Il ne s'agit pas d'installer coûte que coûte des dispositifs mais bien de profiter de la situation et des opportunités que peuvent présenter les plateformes pour pouvoir développer de nouvelles manières de produire de l'énergie.

a. Les panneaux photovoltaïques

1. Grégoire Souchay, "En quête d'espace, la filière photovoltaïque lorgne les terres agricoles", Reporterre, 13 juillet 2020

2. Christophe Haveaux, "Des centrales photovoltaïques flottantes en Mer du Nord", Renouvelable, 6 janvier 2020

Les panneaux solaires photovoltaïques sont implantés à terre depuis maintenant une dizaine d'années. Leur développement a déjà atteint une phase de maturation et leur rendement est de plus en plus intéressant. La possibilité de les installer offshore a plusieurs avantages.

. Cela permettrait de palier au manque de surface a terre. Cette question de l'usage des sols est particulièrement sensible dans des pays densément peuplés comme les Pays-Bas ou la Belgique. Des projets de centrales photovoltaïques peuvent entrer en conflit avec d'autres usages (habitation, agriculture, industrie, ...) et même s'ils sont de plus en plus intégrés à d'autres usages (panneaux solaires au dessus des champs agricoles ou des parkings), de nouvelles problématiques sont engendrées¹. L'installation de panneaux solaires en mer présente plusieurs avantages:

. La mer bénéficie d'un ensoleillement maximal et d'un environnement dégagé

. La fraîcheur de l'eau permet d'éviter la surchauffe de l'installation photovoltaïque. Celle-ci offre alors un rendement 15 à 20% plus élevé²

. En mer, le photovoltaïque pourrait s'associer à d'autres installations offshore tels que les parcs éoliens et ainsi bénéficier de leur structures et de leur connexion au réseau électrique.

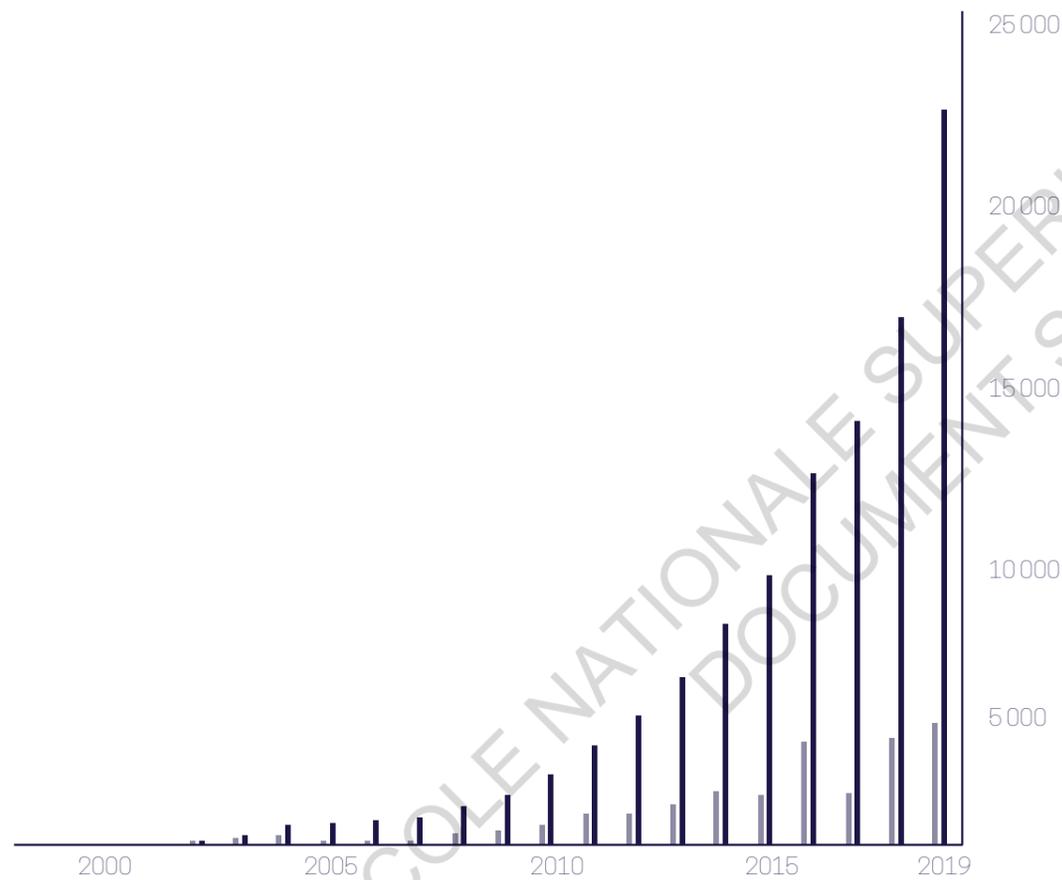
Malgré ces avantages, les chercheurs travaillant sur les technologies photovoltaïques ne savent pas comment vont réagir les panneaux en milieu marin, caractérisé par une forte humidité et une forte salinité. Des projets d'études sont prévus dans les années à venir pour tester l'efficacité des panneaux solaires en mer.



Fig.27: Centrale photovoltaïque flottante de Piolenc, theagilityeffect.com, 2019

b. L'éolien offshore

Le secteur de l'éolien offshore est, tout comme celui des panneaux photovoltaïques, arrivé à maturité. Les parcs éoliens offshore existent depuis trente ans avec l'installation du premier parc en 1991 au Danemark (Vindeby Offshore Wind Farm). Tout comme le pétrole offshore, cette filière s'est progressivement développé, les installations devenant de plus en plus grandes et évoluant dans des zones de plus en plus profondes. L'éolien offshore est en pleine expansion aujourd'hui notamment en mer du Nord où les vents sont forts et réguliers. La conquête du "farshore" (pleine mer) est le nouveau défi de cette filière. Les études météorologiques montrent que le vent est plus régulier dès lors qu'on s'éloigne des côtes et l'installation de parc éloignés des littoraux permettrait d'éviter les conflits avec les autres usagers de la mer (pêcheurs et navires de commerce notamment). L'installation en mer et l'éloignement des côtes présente les mêmes inconvénients que pour le secteur du pétrole offshore avec des coûts de maintenance, de transport, de raccordement à la terre extrêmement élevés. Les installations pétrolières pourraient donc permettre de développer cette filière en servant de station de maintenance et de stockage d'un parc éolien.



Puissance éolienne offshore installée et connectée au réseau

Fig. 28. Puissance éolienne offshore installée et connectée au réseau WindEurope, 2019

L'éolien offshore en Europe

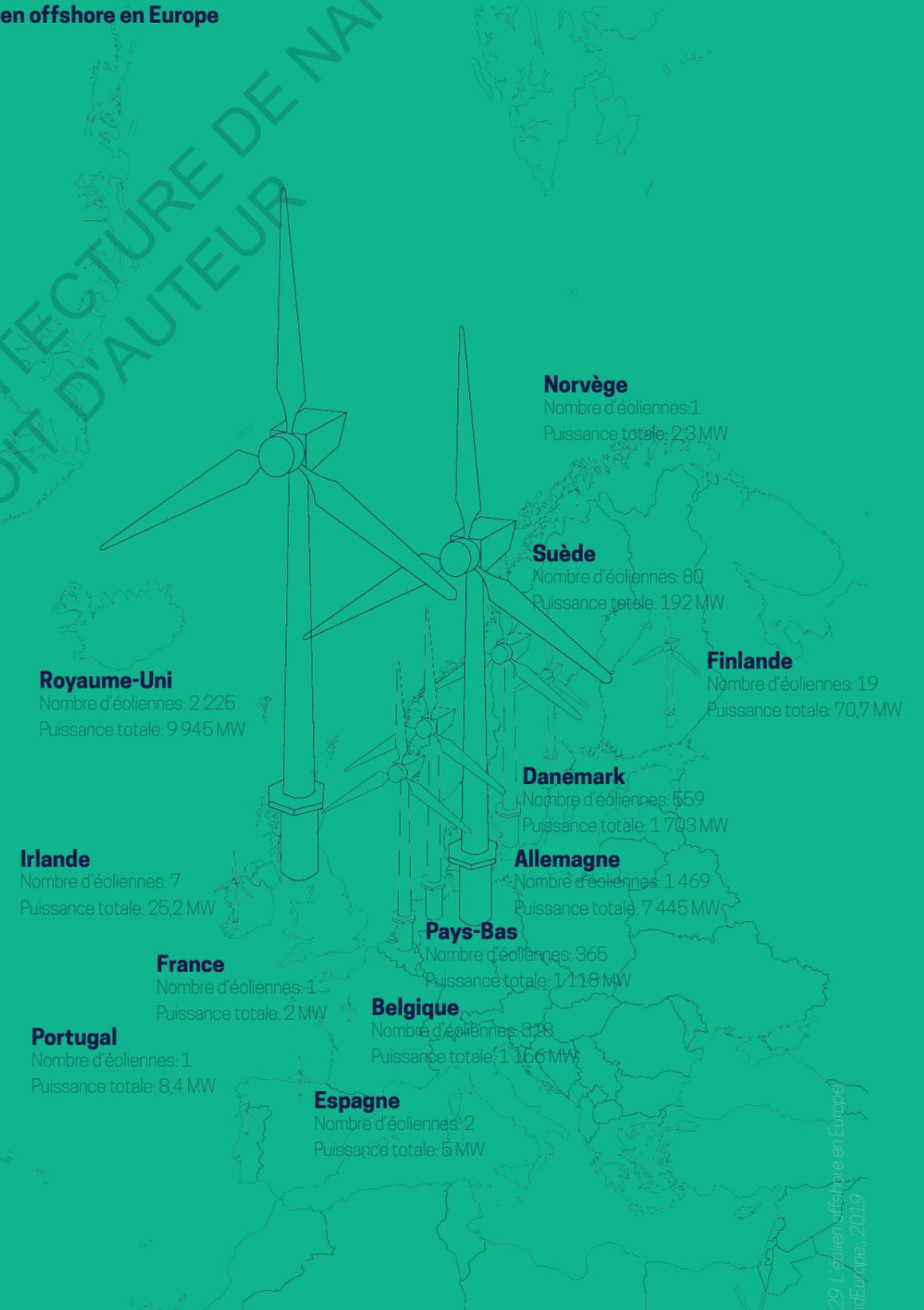


Fig. 29. L'éolien offshore en Europe WindEurope, 2019

1. Bernard Deboyser, "Suède : l'hydrogène vert remplacera le charbon pour produire de l'acier neutre en carbone", Révolution énergétique, 8 septembre 2020

c. La production d'hydrogène

Comme l'électricité, l'hydrogène est un vecteur énergétique et non une énergie en tant que telle, même si des sources de production d'hydrogène naturel ont été observées. Il est donc produit à partir d'une source d'énergie. Aujourd'hui, 95% de l'hydrogène est produit à partir de l'extraction des hydrocarbures, dont la moitié par la production de gaz. En effet, la molécule de di-hydrogène H_2 , que l'on appellera hydrogène par la suite, est présent dans les hydrocarbures, issus de la combinaison d'atomes de carbone et d'hydrogène.

L'hydrogène décarboné peut être produit de deux manières. Il peut être obtenu par la conversion d'énergies fossiles qui peut être décarbonée par captage de CO_2 puis stockage dans le sous-sol de façon pérenne, c'est l'hydrogène bleu. Cet hydrogène est aussi présent dans l'eau. Il peut être ainsi créé à partir d'eau et d'une source d'électricité dans un procédé appelé l'électrolyse de l'eau. Ce procédé consiste à séparer la molécule d'oxygène à celles d'hydrogène. Cette voie, l'hydrogène vert, est encore peu répandue car elle est nettement plus coûteuse.

L'hydrogène pourrait répondre à plusieurs enjeux essentiels de la transition énergétique. Dans un premier temps, il pourrait participer à décarboner le secteur industriel qui produit actuellement beaucoup de gaz à effet de serre. L'hydrogène permettrait ainsi d'alimenter en énergie dite "décarbonnée" des unités industrielles ou contribuer à la décarbonation des procédés industriels en remplaçant des énergies fossiles utilisées actuellement, c'est le cas par exemple de la fabrication d'acier opérée aujourd'hui via le charbon qui pourrait l'être par de l'hydrogène (l'usine de production d'acier sans combustibles fossiles a été inaugurée par Hybrit à Lulea en Suède).¹

L'hydrogène peut aussi servir de carburant pour alimenter des véhicules. C'est une des solutions à l'étude, avec les moteurs électriques, qui pourraient permettre de décarboner le secteur des transports.

La dernière utilisation de l'hydrogène serait de l'utiliser pour stocker de l'électricité. Afin de pallier à la production variable de certaines énergies renouvelables (dépendantes de conditions météorologiques), l'électricité pourrait être stockée sous forme d'hydrogène par le procédé d'électrolyse de l'eau. L'intérêt de ce stockage est de pouvoir reconvertir cet hydrogène en électricité et ainsi pallier à des périodes "creuses" de production.

De nombreuses questions entourent encore la production d'hydrogène et sa manière de l'utiliser. La question de son véritable impact écologique est sujet à plusieurs questionnements. L'hydrogène vert, nécessite une production d'électricité pour être fabriqué, il faudrait donc produire de l'électricité en plus pour compenser cette perte dans la production d'hydrogène. Cette compensation doit être prise en compte car il ne servirait à rien de produire de l'hydrogène vert pour ensuite compenser par de l'électricité produite par des centrales thermiques par exemple.

Le véritable enjeu de l'hydrogène et de la production d'énergie est leur utilisation. A l'heure où la production d'hydrogène est mise sur la table pour potentiellement résoudre de nombreux problèmes (transport, stockage, industrie, ...), il est important de se demander dans quels secteurs l'hydrogène doit être utilisé (s'il en existe) : **"La contribution de l'hydrogène à la lutte contre le changement climatique peut être réelle, mais il y a des conditions, et d'abord son utilisation à bon escient, là où il n'y a pas d'alternatives"**². L'enjeu étant de réussir à réduire notre consommation d'énergie de manière globale : **"beaucoup dépendra de ce qui se passera sur les usages: c'est-à-dire la capacité à réduire la demande d'énergie"**³.

2.3. Citations de Nicolas Berghmans, chercheur à l'IDDRI (Institut du Développement Durable et des Relations Internationales) dans l'article de Catherine Hours, "Climat : l'hydrogène vert, un tournant à préparer", La Tribune, 9 décembre 2020

1

Émissions de CO₂

- . Procédés industriels (métallurgie, cimenterie, production d'ammoniac et d'hydrogène, méthanisation, fermentation, ...)
- . Combustion d'hydrocarbures
- . Combustion de biomasse
- . Incinération de déchets



2

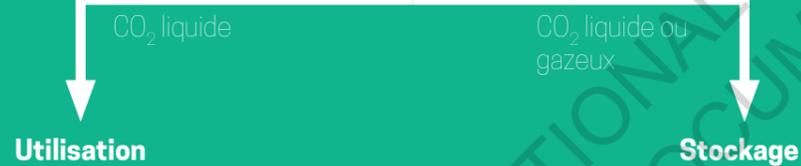
Captage de CO₂

- Opération dont la complexité et le bilan énergétique dépend principalement de:
- . La nature de la source de CO₂
 - . La pureté recherchée pour le CO₂ en sortie



Purification et liquéfaction

3



- Utilisation**
- . Hydrocarbures de synthèse
 - . Produits chimiques, polymères
 - . Matériaux de construction
 - . Gaz pour l'industrie

- Stockage**
- . Récupération assistée d'hydrocarbures via du CO₂
 - . Séquestration dans des aquifères salins profonds, d'anciens réservoirs d'hydrocarbures ou des veines de charbon

CCU

CCS

Fig.90. La chaîne de valeur du CCUS. Alchiméd

d. Les technologies CCUS (Carbon Capture, Utilisation and Storage)

Ces technologies consistent à capturer le CO₂ émis par l'industrie (métallurgie, cimenterie, combustion d'hydrocarbure, combustion de biomasse, etc ...) pour le réutiliser (CCU) ou le stocker (CCS). La capture de CO₂ commence à devenir viable économiquement et de nombreux débouchés existent pour le réutiliser dans les secteurs de l'énergie, de la construction ou encore de la chimie. De l'autre côté, ce CO₂ peut être stocké dans des sites géologiquement hermétiques (aquifères salins ou anciens sites pétroliers) à condition de bien choisir et de contrôler le site en question. Les technologies de CCUS s'inscrivent dans les objectifs de la COP 21¹ pour ralentir le réchauffement climatique. Capturer le CO₂ émis par les industries est une solution pour atteindre les objectifs de neutralité carbone d'ici 2050.

Certaines plateformes pétrolières en fin de vie pourrait alors servir à stocker dans les anciens puits de pétrole du CO₂ sous forme liquide ou gazeuse. Certaines compagnies pétrolières se positionnent déjà sur les projets européens de CCS, comprenant que derrière les objectifs de neutralité carbone, se dresse un nouveau "business model". Les majors Total, Shell, et Equinor (anciennement Statoil) soutiennent un des gros projets européens de CCS, le projet Northern Lights.² Ce projet prévoit de capter les émissions de CO₂ de deux sites industriels (cimenterie et usine de cogénération) pour les transporter par pipeline sous-marins et les stocker dans un aquifère salin profond du plateau continental norvégien. Malgré son efficacité dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre, les systèmes CCS sont gourmands en énergie (les phases de captage du CO₂, du transport puis du stockage nécessitent une quantité importante d'énergie). Le système CCS apparaît alors comme un moyen pour les grosses entreprises productrices de CO₂ de continuer leur activité tout en respectant les réglementations sur la production de gaz à effet de serre. Il s'apparente à une technique de secours qui limiterait les effets secondaires de notre système énergétique actuel mais ne serait pas viable dans le futur. Il serait alors plus intelligent de penser à une transition dans nos manières de produire et de consommer de l'énergie plutôt que de continuer dans les filières actuelles, qui seront, malgré les techniques de CCUS, de grandes productrices de CO₂.

1. Voir: 4. Les plateformes offshore supports d'énergie renouvelable, III. Le contexte en mer du Nord, a. Politiques européennes

2. Site du projet: <https://northernlightsscs.com/en/about>

III. Le contexte de mer du Nord

a. Politiques européennes

1. "Paquet sur le climat et l'énergie à l'horizon 2020", Source: <https://ec.europa.eu>

2. Rapport entre l'énergie utile produite par un système et l'énergie totale consommée pour le faire fonctionner

3. "Cadre d'action en matière de climat et d'énergie d'ici à 2030", Source: <https://ec.europa.eu>

Afin de développer différentes stratégies et scénarios de reconversion de plateformes pétrolières, il est important de s'intéresser aux politiques actuelles en matière de climat et d'environnement. Sans rentrer dans le détail de la législation de chaque pays, il serait intéressant de voir, au niveau européen, quels sont les objectifs et les enjeux émis pour le futur.

La lutte contre le réchauffement climatique est menée par l'Union Européenne par le biais de plusieurs objectifs. Les scientifiques (notamment le GIEC: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) avertissent qu'à défaut d'actions urgentes, le réchauffement de la planète risque de dépasser de plus de 2 °C les niveaux de la période préindustrielle d'ici 2060, voire de dépasser ces niveaux de 5 °C avant la fin du siècle. Ces changements importants de température auront un impact dévastateur sur de nombreux écosystèmes mais aussi sur l'économie des pays de l'Union Européenne car de tels changements bouleverseront plusieurs secteurs dont l'alimentaire par exemple. Afin de contenir ce réchauffement climatique, des accords internationaux ont été rédigés dont l'Union Européenne est signataire. L'accord de Paris, signé en 2016 et pilier du nouveau régime climatique international, a pour objectif de maintenir la hausse des températures de la planète en dessous de 2°C et de poursuivre l'action menée pour limiter cette hausse à 1.5 °C.

L'Union Européenne a, dans ce cadre, fixé des objectifs étalés sur trois piliers principaux: 2020, 2030 et 2050.

Le premier ensemble de mesures de l'Union Européenne en matière de climat et d'énergie a été adopté en 2008 et fixe des objectifs pour 2020¹. À savoir:

- . réduire les émissions de gaz à effet de serre de 20% par rapport aux niveaux de 1990

- . faire passer la part des énergies renouvelables à 20%
- . améliorer l'efficacité énergétique² de 20%

Pour atteindre ces objectifs, l'Union Européenne a adopté le système d'échange de quotas d'émission (SEQE-UE), qui vise à réduire les émissions de gaz à effet de serre, en particulier aux industries grandes consommatrices d'énergie et aux centrales électriques. Dans les secteurs du bâtiment, des transports et de l'agriculture, des objectifs nationaux en matière d'émissions ont été fixés dans le cadre du règlement sur la répartition de l'effort.

En 2014, de nouveaux objectifs en matière de climat et d'énergie pour 2030 ont été approuvés, qui correspondent à la période 2021-2030³:

- . réduire de 40 % les émissions de gaz à effet de serre par rapport à 1990

- . intégrer une proportion de 32% d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique à l'échelle européenne
- . améliorer l'efficacité énergétique de 32.5 %

En décembre 2019, les dirigeants de l'Union Européenne ont approuvé l'objectif consistant à parvenir à une neutralité climatique d'ici 2050. L'Union Européenne fixe ainsi de nouveaux objectifs à atteindre en terme d'émissions de gaz à effet de serre, d'augmentation de la proportion des énergies renouvelables ainsi que d'amélioration de l'efficacité énergétique.

L'objectif de neutralité climatique serait atteint par une décarbonisation de l'économie. Ces objectifs consistent à limiter les émissions de gaz à effet de serre dans les secteurs de l'industrie et du transport notamment. La part grandissante des énergies renouvelables doit aussi permettre d'atteindre ces objectifs, l'exploitation d'énergies fossiles étant très gourmande en émission de gaz à effet de serre. De plus, l'Union Européenne prévoit de soutenir les avancées dans les technologies à faible intensité de carbone et accorde la priorité à la recherche et à l'innovation afin d'encourager la transition du système énergétique par le biais de programmes de financement (le Fond Européen de Développement Régional FEDER ou encore le programme Horizon 2020). La place de la recherche dans de nouvelles manières de produire de l'énergie est donc très importante dans l'optique d'une neutralité carbone d'ici 2050.

1. "Intro to ocean energy", Delft University of Technology, Section of offshore engineering, 16 novembre 2016

2. Voir le document: Delphine Chareyron, Hélène Horsin-Molinaro, Bernard Multon, "Concepts et chiffres de l'énergie : émissions de CO₂", Culture Sciences Physique, 14 septembre 2020

b. La planification de l'espace maritime

1. Voir la page "Planification de l'espace maritime" sur le site de la Commission Européenne, Source: <https://ec.europa.eu>

2. Voir le document complet "Directive 2014/89/UE du Parlement Européen et du Conseil du 23 juillet 2014 établissant un cadre pour la planification de l'espace maritime", Journal officiel de l'Union Européenne, 23 juillet 2014

3. Betty Queffelec, "Planification de l'espace maritime et approche écosystémique en contexte transfrontalier : illustration franco-belge", VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, Hors-série 18, décembre 2013

Autrefois exploitée uniquement par la pêche et le transport, la mer devient petit à petit un espace occupé par de nombreuses activités. L'apparition du tourisme le long du littoral, de l'exploitation d'hydrocarbures offshore, de la construction de pipelines sous marins ou encore plus récemment du développement des énergies renouvelables offshore montrent que l'espace maritime est aujourd'hui le lieu de nombreuses activités qui ne peuvent pas toutes cohabiter.

Une organisation de l'espace maritime devient nécessaire à la fois pour faire cohabiter ces différents secteurs mais aussi pour préserver l'environnement marin. C'est dans cette optique que l'Union Européenne a mis en place en 2014 les premières bases d'une Planification de l'Espace Maritime (PEM). Cette législation a pour but de créer un cadre commun pour la planification de l'espace maritime. Chaque État est libre de planifier comme il le souhaite son espace maritime tout en respectant les directives générales émises par l'Union Européenne. Selon les institutions européennes, établir une planification maritime conduirait à plusieurs avantages¹:

- . Réduire les conflits entre les secteurs et créer des synergies entre les différentes activités.
 - . Encourager les investissements en introduisant de la prévisibilité, de la transparence et des règles plus claires.
 - . Accroître la coopération transfrontalière entre les pays de l'Union Européenne, en vue de développer des réseaux d'énergie, des couloirs maritimes, des canalisations, des câbles sous-marins et d'autres activités, mais aussi de mettre en place des réseaux cohérents de zones protégées.
 - . Protéger l'environnement en déterminant de manière précoce l'impact des utilisations multiples de l'espace et les perspectives qu'elles offrent.
- Les différentes directives données aux États afin d'établir ces plans d'aménagement maritime sont écrites dans un document reprenant à la fois les objectifs de cette planification et les différentes règles émises².

Plusieurs plans d'aménagements maritime sont en cours d'élaboration, ceux-ci devant être terminés en 2021. Leur élaboration doit prendre en compte les différentes activités marines sur différents plans (aérien, surface, colonne d'eau, fond marin) tout en favorisant une approche écosystémique. La planification des espaces marins doit viser un développement durable. Cette approche **"permet de garantir que la pression collective résultant des activités humaines soit maintenue à des niveaux compatibles avec la réalisation du bon état écologique et d'éviter que la capacité des écosystèmes marins à réagir aux changements induits par la nature et par les hommes soit compromise, tout en permettant l'utilisation durable des biens et des services marins par les générations actuelles et à venir."**³

Approche écosystémique

"L'approche écosystémique est une méthode pour étudier la complexité. Elle implique l'interdisciplinarité. C'est une approche globale qui privilégie les interactions entre les composantes d'un système, toute interaction pouvant modifier la nature ou le comportement des différentes composantes du système.

L'approche systémique inclut la connaissance des contraintes exercées par le milieu sur les possibilités d'actions (comportement), d'agencement (structure) et de devenir (évolution) de l'organisation."

Ifremer, Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

7. Voir la page web: "Objectives and goals", north-seaportal.eu

Le projet du même type présent sur la région de la mer du Nord est le projet SEANSE. Sur le même modèle qu'ADRIPLAN, ce projet s'appuie sur une vision à long terme du futur de la mer du Nord, sur une analyse poussée des différents usages, puis sur la conception d'une planification maritime. Le projet SEANSE (Strategic Environmental Assessment North Sea Energy) s'oriente sur l'implantation d'énergies renouvelables en mer du Nord, leur objectif est **"de développer une approche cohérente (logique et bien organisée) des évaluations environnementales axées sur les énergies renouvelables comme support de développement et de mise en œuvre de la planification spatiale maritime"**.

Pour ce faire, les études de SEANSE établissent la même méthodologie que l'ADRIPLAN, à savoir une recherche sur les effets cumulatifs que peuvent avoir l'installation de fermes éoliennes offshore sur l'environnement. Cette phase d'analyse est étayée par différentes données sur les zones propices à l'implantation de parcs éoliens, les espèces animales présentes dans ces régions, etc ... La mise en commun de cette analyse se fait par un partage de données ainsi que par différents séminaires incluant des personnes travaillant dans les différents secteurs concernés, la réunion finale de la SEANSE s'est quand à elle déroulée les 9 et 10 janvier 2020.

Le développement du plan d'aménagement maritime étant prévu pour 2021, cette réunion s'est portée sur l'évaluation des différents outils utilisés par la SEANSE et leur possible amélioration. Les principaux défis à venir dans l'élaboration d'un plan d'aménagement maritime pour la mer du Nord est la coopération entre les pays. Bien que, dans ses directives, l'Union Européenne laisse chaque pays décider de l'aménagement de son propre espace maritime, l'étude d'un cas comme la mer du Nord montre bien qu'il est impossible de proposer un plan cohérent sans coopérer avec les pays voisins. Cette coopération est un des enjeux importants qui ressort des réunions finales de la SEANSE.⁸ Les différentes analyses et cartes produites par ces études montrent, par ailleurs, l'importance que doit avoir la planification spatiale maritime dans le futur. La multiplication des activités, certaines en plein développement (l'éolien offshore), d'autres sur le déclin (exploitation des hydrocarbures), les différents réseaux sous-marins (pipelines, câbles électriques, ...) et la prise en compte de la sauvegarde de l'environnement représentent de nombreux enjeux qu'il faut "spatialiser" en fonction des synergies possibles. A travers les différentes analyses effectuées, il paraît nécessaire de suivre un axe majeur (le développement de l'éolien offshore dans le cas de la SEANSE) car toutes les secteurs ne pourront surement pas être développés de la manière la plus optimale possible. La densité impressionnante d'installations et de flux présents en mer du Nord doit être régulée. La stratégie de reconvertir les structures existantes peut être intéressante dans l'optique d'éviter de nouveaux mouvements trop importants au sein d'un espace qui en subit déjà énormément.

8. Le rapport complet de la réunion est disponible sur la page de la SEANSE: <https://northseaportal.eu/downloads/>

ECOLE NATIONALE SUPÉRIEURE D'ARCHITECTURE DE NANTES
DOCUMENT SOUMIS AU DROIT D'AUTEUR

IV. Scénarios de reconversion

A la suite de ces différentes analyses sur les énergies renouvelables ou les technologies visant à réduire les émissions de gaz à effet de serre pouvant être compatibles avec les plateformes pétrolières, nous allons nous intéresser à différents scénarios qui pourraient permettre de reconverter les plateformes. Ces scénarios prennent en compte les réglementations, actuelles et futures, qui régissent le développement de la mer du Nord, à savoir les objectifs de l'Union Européenne pour 2030 et 2050 ainsi que la planification de l'espace maritime en cours. Ils prennent la forme d'idées qui pourraient être étudiées dans le cas d'un projet de reconversion, ce ne sont pas des projets finis. Pour les réaliser, je pars de mon expérience en tant qu'étudiant en architecture, ces scénarios pouvant s'apparenter à la création de programmes qui devront ensuite être le sujet d'études plus précises pour en connaître la véritable faisabilité.

L'idée de reconverter les plateformes pétrolières vient de deux constats: l'épuisement des puits de pétrole et la difficulté de démanteler ces structures. En effet, le pétrole étant, par définition, une énergie fossile, n'existe pas en quantité illimitée et son extraction va prendre fin à un moment donné. Ce moment est arrivé dans de nombreux puits de mer du Nord, ceux-ci étant exploités depuis plus de trente ans. La solution évidente serait alors de retirer ces structures mais, certaines d'entre-elles étant tellement importantes, il est aujourd'hui impossible de les déplacer. La reconversion serait donc le moyen de ne pas les laisser à l'abandon en pleine mer.

Une question importante se pose: en quoi peut-on reconverter ces structures

Le secteur de la production d'énergie renouvelables pourrait permettre de les reconverter. Ce n'est évidemment pas le seul secteur qui pourrait mener à une reconversion mais c'est une option intéressante à explorer et en adéquation avec les différentes analyses produites sur le contexte de la mer du Nord, ses perspectives futures ainsi que sur la plateforme pétrolière en elle-même. La fin de vie de certaines plateformes pétrolières offshore font partie des signes qui annoncent la future fin de l'exploitation du pétrole. La société étant tournée autour de cet hydrocarbure, le développement de nouvelles manières de produire de l'énergie doit être évoqué. Ce développement à déjà bien commencé mais il doit être poursuivi dans les années à venir. Tout comme l'histoire de l'extraction du pétrole, l'histoire de certaines énergies renouvelables a commencé à terre et se pourrait se poursuivre en mer.

Nous avons vu, par le biais de l'industrie pétrolière offshore, que construire en mer présentait de nombreuses difficultés. Ces difficultés sont toujours présentes même si les moyens et les technologies de l'offshore ont évolué depuis, le transport et l'installation restant des phases critiques qui nécessitent beaucoup de moyens. Les plateformes offshore représentent alors une source d'installations, déjà en place, qui pourraient accueillir de nouveaux usages. Leur réutilisation permettrait d'éviter de nouvelles installations et de nouveaux transport de matériels en pleine mer, dans des conditions souvent difficiles. L'impact environnemental est aussi un aspect à prendre en compte puisque, démolir pour reconstruire est plus nocif pour l'environnement que reconverter.

a. Reconversion par l'éolien offshore

1. Chiffres tirés du rapport "Offshore Wind in Europe: Key trends and statistics 2019", WindEurope, Février 2020

La première piste de reconversion étudiée est la reconversion par le secteur de l'éolien offshore. Elle constitue une des options les plus concrètes lorsque l'on parle de reconvertir les plateformes par des énergies renouvelables. En effet, nous avons vu qu'avec l'arrivée à maturité des technologies éoliennes offshore, les projets énergétiques en mer du Nord des pays côtiers ou de l'Union Européenne, sont tournés vers l'éolien (axe majeur de développement de la SEANSE).

Un parc éolien offshore est constitué de plusieurs turbines (éoliennes) qui, à l'aide de convertisseurs, produisent de l'électricité par le mouvement des pales créé par le vent. Ces éoliennes sont toutes reliées à une sous-station, qui convertit le courant (augmentation du voltage) pour pouvoir ensuite l'acheminer à terre. Ces sous-stations sont des éléments clés qui permettent le bon fonctionnement du parc éolien, et ont des caractéristiques similaires aux plateformes pétrolières.

Avant de s'intéresser à ces sous-stations, il est important de se demander si des parcs éoliens peuvent être implantés autour de plateformes pétrolières car dans une optique de reconversion, les plateformes en questions ne doivent pas être déplacées. Les parcs éoliens offshore sont aujourd'hui majoritairement installés près des côtes (moins de soixante kilomètres de la côte) et dans des profondeurs d'eaux assez faibles (moins de cinquante mètres de profondeur)¹. Cette proximité des côtes est induite par deux raisons principales, la conception des éoliennes et la connexion au réseau électrique. Les éoliennes sont aujourd'hui posées sur des fondations dans le sol marin ou tiennent de façon gravitaire (par leur propre poids). Ces deux manières d'installer une éolienne en mer ne peuvent pas être réalisées dans des profondeurs d'eau trop élevées. L'éolien offshore pourrait cependant s'affranchir de cette contrainte, en proposant des structures flottantes, fixées au fond marin par des câbles. Les premiers projets de ce type sont déjà en fonctionnement (le projet Hywind Scotland est constitué de cinq éoliennes dans une profondeur de cent-cinq mètres) et nul doute que d'autres vont se développer dans le futur. L'implantation en eau profonde permettrait de gagner de nouvelles zones, plus ventées et moins conflictuelles avec les autres activités maritimes présentes près des côtes. De plus, les technologies permettant de faire flotter les éoliennes sont déjà maîtrisées, s'inspirant directement de ce qui est fait dans le milieu du pétrole offshore.

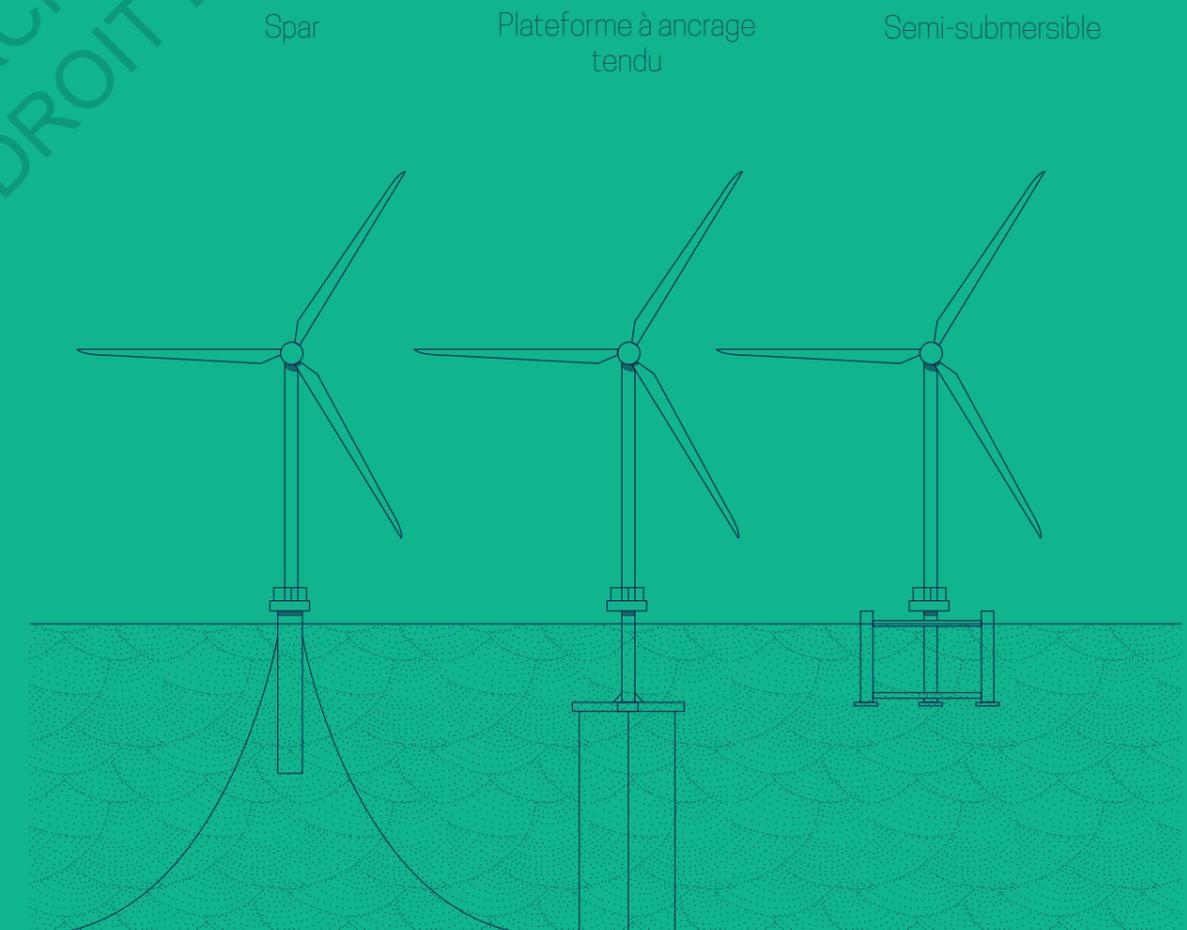
Différents types d'éoliennes flottantes

Fig.32: Les différents types d'éoliennes flottantes

2. Abréviation pour High Voltage Direct Current (Courant continu haute tension)

3. Rapport complet du projet: "D7.9 Regulatory and Financing principles for a Meshed HVDC Offshore Grid", PROMOTioN, 22 Octobre 2019

4. Voir l'étude: Karina Veum, Lachlan Cameron, Daniel Huertas Hernando, Magnus Korpås, "Roadmap to the deployment of offshore wind energy in the Central and Southern North Sea (2020 - 2030)", WindSpeed

5. Karina Veum, Lachlan Cameron, Daniel Huertas Hernando, Magnus Korpås, "Roadmap to the deployment of offshore wind energy in the Central and Southern North Sea (2020 - 2030)", WindSpeed

6. "Une réglementation harmonisée permettrait d'exploiter tout le potentiel d'un réseau offshore à structure maillée", cordis.europa.eu, 3 janvier 2020

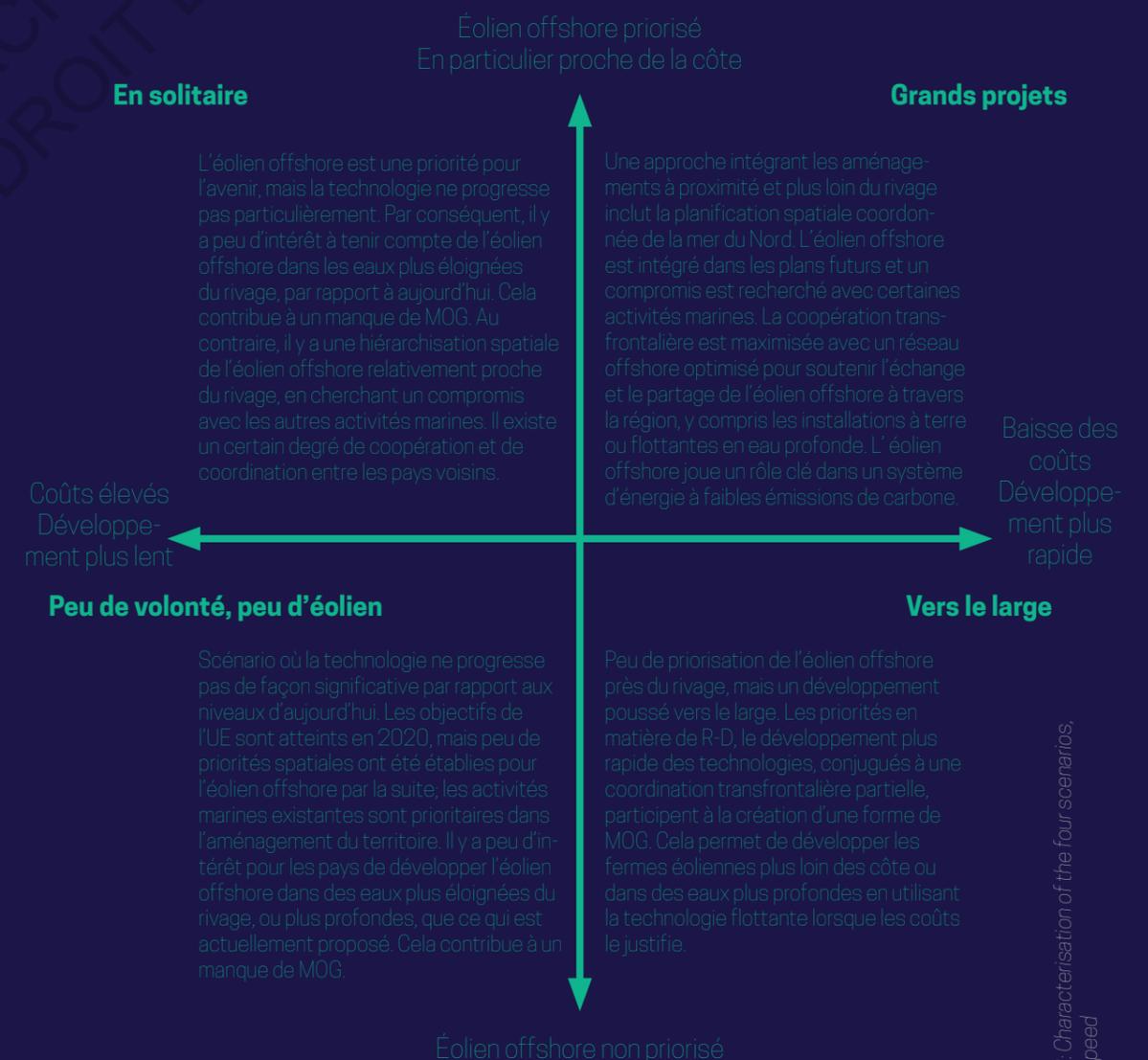
L'autre problématique est la connexion des futurs parcs éoliens au réseau électrique à terre. Cette connexion est un enjeu majeur, d'autant plus important lorsque l'on s'éloigne des côtes. En effet, il paraît peu probable que chaque parc éolien offshore soit doté de sa propre connexion au réseau terrestre dans le futur. Cela entraînerait une multiplication importante des câbles sous marins et donc des coûts élevés pour les pays et entreprises propriétaires des parcs éoliens. La mise en place d'un réseau offshore est une des priorités, en terme d'énergie, de l'Union Européenne. Il permettrait de connecter les réseaux électriques nationaux et relier les parcs éoliens offshore au continent. Pour ce faire, l'Union Européenne a mis en place le projet PROMOTioN (Progress on Meshed HVDC² offshore Transmission Networks)³ qui définit un cadre à la création d'un tel réseau. La création d'un réseau offshore à structure maillée (MOG) est **"un élément clé du déploiement à grande échelle de l'éolien offshore"**, et certaines connexions inter-pays sont aujourd'hui à l'étude entre la Norvège et l'Allemagne et entre la Norvège et la Grande-Bretagne⁴. Ces connexions pourraient permettre **"d'améliorer la sécurité en approvisionnement d'électricité et fournir aux marchés allemand et britannique une hydroélectricité norvégienne flexible. L'hydroélectricité peut être utilisée comme énergie d'équilibrage pour tenir compte de la variabilité de la production que l'augmentation de l'énergie éolienne introduira dans les systèmes allemand et britannique."**⁵

L'installation d'un réseau offshore en mer du Nord permettrait non seulement de diminuer les coûts du câblage sous-marin mais aussi de palier à l'irrégularité de production des énergies renouvelables. Ce réseau impliquerait donc des facteurs politiques puisqu'il demande une coordination entre les pays, ceux-ci devant s'engager **"à mettre en œuvre la coordination et la coopération transfrontalières interdisciplinaires nécessaires pour tirer pleinement profit d'un MOG en mer du Nord"**⁶.

Le développement de l'éolien offshore pourrait se jouer sur plusieurs facteurs et notamment sur cet enjeu de coopération entre les pays côtiers de la mer du Nord. Le rapport de WindSpeed sur le développement de l'éolien offshore en mer du Nord évoque quatre scénarios possibles⁷, ceux-ci dépendant des moyens financiers et politiques mis en œuvre pour le développement de ces technologies. La capacité des plateformes pétrolières à servir de sous-station électrique pour des champs d'éoliennes dépend donc de ces différents scénarios, l'implantation d'éoliennes en eaux profondes n'étant possible que si les politiques en matière d'énergie des pays concernés s'y consacrent pleinement.

Dans le cas d'un scénario permettant le développement de l'éolien offshore en mer du Nord, les zones visées par les champs d'éoliennes seraient, dans certains cas, celles occupées par les installations pétrolières et gazières. Ces anciennes plateformes serviraient alors de sous-station électrique au sein des futurs parcs éoliens.

7. Karina Veum, Lachlan Cameron, Daniel Huertas Hernando, Magnus Korpås, "Roadmap to the deployment of offshore wind energy in the Central and Southern North Sea (2020 - 2030)", WindSpeed



Fonctionnement d'un champ éolien offshore

Station électrique terrestre

tension portée à 400 000 V avant d'être injectée dans le réseau électrique

Sous-station électrique

Convertis une première fois le courant pour éviter les pertes lors du transport

Câble sous-marin

Câble reliant les différentes éoliennes à la sous-station, il est enterré entre un et trois mètres sous le fond marin

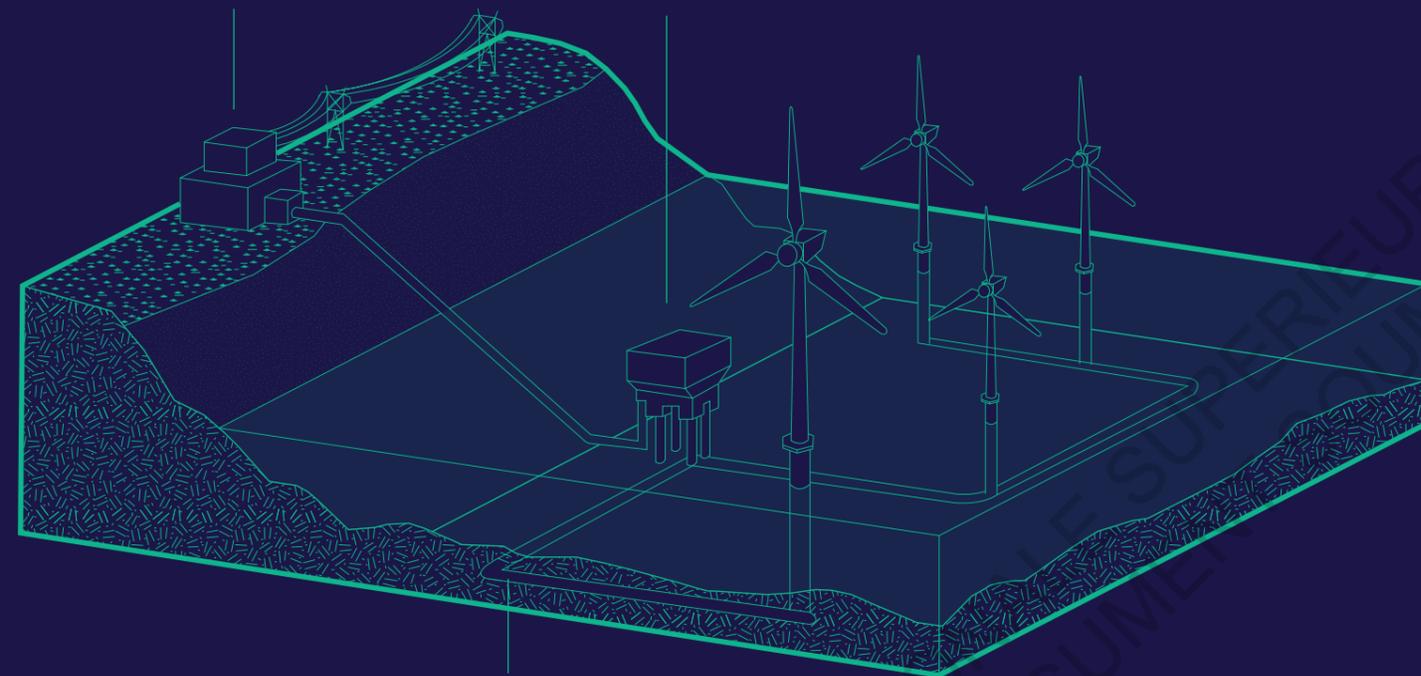


Fig.34: Champ d'éoliennes, futura-sciences.com

Au sein d'un champ éolien offshore, une sous-station possède deux fonctions primordiales. La première est de transformer l'électricité produite par les turbines afin de la transporter à terre. Les sous-stations contiennent en général un ou plusieurs transformateurs électriques qui servent à élever la tension électrique produite par les éoliennes pour limiter les pertes d'électricité lors du transport à terre. Le courant produit est dit CCHT (HVDC en anglais), c'est un courant continu haute tension. Les câbles provenant des éoliennes produisent, en général, un courant de 33 000 Volts, jusqu'à 66 000 Volts pour les futurs projets. Au sein des transformateurs, le courant passe à une tension plus élevée, en fonction du réseau alimenté par la sous-station (en général de 150 000V à 230 000V). Afin de limiter le nombre de câbles connectés à la sous-station, les éoliennes sont reliées entre elles puis à la sous-station.

Sur une sous-station électrique on trouve donc un ou plusieurs transformateurs, un ou plusieurs postes électriques de moyenne tension afin de récupérer l'électricité produite par les éoliennes ainsi qu'un tableau électrique de moyenne tension. A ceci s'ajoute des parties auxiliaires tels des générateurs de sécurité (la sous-station est alimentée par de l'électricité produite par les éoliennes mais des générateurs de sécurité sont prévus en cas de dysfonctionnement), des quartiers de vie ou encore des ateliers. Une sous-station électrique est conçue pour fonctionner automatiquement. Un ensemble d'outils et de systèmes de sécurité permettent de superviser à distance le fonctionnement du parc éolien. Le poste de contrôle terrestre reçoit toutes les informations liées au fonctionnement et à la sécurité de la sous-station et des éoliennes. Ce poste de contrôle peut aussi piloter le parc en décidant d'arrêter une ou plusieurs éoliennes par exemple. Les interventions humaines au sein d'un parc éolien sont rares et liées à des dysfonctionnements, la plupart du temps, le parc va s'autogérer en fonction des conditions météorologiques. Par exemple, l'orientation des éoliennes par rapport au vent est une action réalisée automatiquement. Afin de garantir la maintenance des installations, les sous-stations possèdent des plateformes de transfert de personnel ("boat-landing") ou une piste d'hélicoptère pour les plus importantes.

8. Le chantier STX basé à Saint-Nazaire construit des sous-stations électriques de plus en plus importantes, les champs éoliens produisant plus, la station P34, inaugurée en mars 2018 est trois fois plus grande que la Q34, inaugurée en janvier 2018.

9. Voir le programme SeeOs de STX Source: <https://chantiers-atlantique.com/energies-marines/sous-station-seeos/seeos>

La conception et la forme des sous-stations électriques est très proche de celle des plateformes pétrolières. Elles sont composées d'une structure porteuse en acier (monopile ou multipile) et de "topsides" qui contiennent les éléments cités précédemment. Les normes et les contraintes qui entourent leur fabrication sont les mêmes que celles des plateformes pétrolières et gazières, les conditions de mer et de vent rencontrées étant similaires que sur les champs pétroliers. La transformation d'une plateforme pétrolière en sous-station électrique consisterait à installer de nouveaux "topsides", la structure porteuse ainsi que le plancher métallique pourraient alors servir de base à la nouvelle installation. Tous les types de plateformes peuvent être reconvertis, la structure n'agissant pas sur la forme des "topsides". Dans le cas de cette première piste de reconversion, les pipelines ne peuvent pas être reconvertis, les câbles électriques étant une entité à part qui ne peut pas être incorporée aux pipelines. Le démantèlement des pipelines est obligatoire, ceux-ci faisant partie des éléments à démanteler selon la convention OSPAR. Un autre scénario évoqué par la suite proposera une piste pour la reconversion de ces installations sous-marines.

La reconversion des plateformes pétrolières en sous-stations électriques est une alternative envisageable et assez concrète. La partie technique et matérielle est assez évidente, car les sous-stations électriques actuelles reprennent le modèle des plateformes pétrolières. Dans un secteur très proche de celui du pétrole offshore, il faut prendre en compte les erreurs commises pour éviter de les réitérer. Dans un scénario où le développement de l'éolien offshore est important, les sous-stations électriques vont voir leur taille augmenter car les champs éoliens produiront plus et nécessiteront des installations plus importantes. L'augmentation de la taille des sous-stations électriques⁹ ne doit pas être effectuée de façon aveugle sans se préoccuper de leur futur. Leur installation, quand cela est possible, sur des anciennes plateformes pétrolières éviterait de perturber l'environnement marin par de nouvelles structures imposantes en plus d'allonger la liste importante des installations à démanteler dans le futur. Ce scénario de reconversion dépend donc du développement de l'éolien offshore, notamment de son expansion vers les eaux profondes. Cette expansion n'entraînera pas un sur-dimensionnement de la structure des sous-stations électriques (comme cela a été le cas avec les plateformes pétrolières) puisque des stations flottantes sont déjà imaginées pour le futur⁹. La difficulté de démantèlement et l'impact sur l'environnement de ces structures apparaissent moins importants que dans le cas des plateformes pétrolières. Utiliser le "déjà-là" pourrait cependant être la clé d'un développement contrôlé des énergies renouvelables en mer du Nord plutôt que de se lancer dans une course à l'innovation et à la production.



Fig. 35 Sous-station électrique
Chantiers de l'Atlantique, 2018

1. Irati Legorburu, Kate R. Johnson, Sandy A. Kerr, "Multi-use maritime platforms - North Sea oil and offshore wind: Opportunity and risk", Ocean & Coastal Management, Volume 160, 15 juin 2018

2. Voir la page web "Croissance bleue", sur le site de la Commission Européenne, Source: <https://ec.europa.eu>

b. Reconversion en plateforme multi-usages

La plateforme multi-usages (MUP: Multi-Use Platform) est un concept d'installation offshore intégrant différentes activités maritimes dans un même espace. Ce concept découle des plans d'aménagement maritime en partant du principe que certaines activités pourraient prendre place au même endroit, afin de créer des synergies entre-elles. Ces nouvelles plateformes pourraient entraîner plusieurs avantages comme **"l'utilisation efficace de l'espace marin, le partage des risques et des coûts, le partage des ressources, la réduction des impacts environnementaux et l'amélioration des avantages socio-économiques"**¹.

À l'image des outils développés dans les plans d'aménagement maritimes pour étudier les différents conflits ou synergies qui existent entre les activités maritimes, les concepteurs des MUP utilisent les mêmes démarches pour déterminer, dans une zone donnée, quelles activités peuvent coexister. Autre que les potentiels avantages en terme de planification maritime, la conception de ces nouvelles plateformes prend source à la suite d'un autre constat: la difficulté de construire et d'entretenir les installations offshore. En effet, la construction et la maintenance offshore sont des procédés coûteux et contraignants, regrouper différentes technologies sur une même structure permettrait donc de limiter ces coûts. L'enjeu environnemental est lui aussi évoqué (l'installation d'une structure offshore, quelle qu'elle soit, impacte l'environnement marin et dérègle les écosystèmes présents, regrouper différentes installations en un même lieu permettrait de limiter la propagation de ses impacts à une zone trop importante) ainsi que les avantages socio-économiques (ce type de plateformes permettrait un partage de connaissances et l'apport mutuel de personnes travaillant dans des secteurs différents). La notion de MUP est intéressante et pourrait être un modèle de développement de l'économie maritime en mer du Nord. La grande difficulté qui subsiste lors de la création de tels projets est de trouver la zone parfaite qui permet le développement de plusieurs activités maritimes sans négliger les aspects économiques et techniques. Plusieurs programmes de recherches existent afin de recenser puis de proposer des zones adéquates à l'implantation de MUP. L'Union Européenne finance ces différents projets de recherche (TROPOS, MERMAID, H2OCEAN et MARINA Platform) dans l'optique de développer "l'économie bleue", une stratégie **"visant à soutenir la croissance durable dans les secteurs marin et maritime"**².

Ces différents programmes ont pour but de définir quelles synergies peuvent être mises en place dans les différentes mers de l'Union Européenne (mer du Nord, mer Méditerranée, mer Baltique, mer Adriatique, Océan Atlantique, ...) et quelles formes ces installations peuvent prendre. Ils mettent en relation les quatre grands secteurs économiques présents en mer (transport, énergie, aquaculture et tourisme)³, certains d'entre eux sont localisés (le projet MERMAID prend pour base de travail quatre sites différents en mer du Nord, en mer Baltique, en mer Méditerranée et dans l'Océan Atlantique) permettant de faire évoluer les installations en fonction du contexte de chaque site. Aucune d'entre elles n'évoque la réutilisation d'installations existantes, mon étude sur le sujet s'inspire à la fois de ces programmes mais aussi d'autres études qui évoquent la reconversion de plateformes pétrolières. Au sein d'une MUP, les plateformes pétrolières en fin de vie peuvent prendre différentes fonctions. La première, qui paraît la plus probable, est la transformation de la plateforme en sous-station électrique. En effet, la majorité des MUP vont se tourner vers la production d'énergie renouvelable en incluant différentes sources d'énergie dans une même installation (éolien et houlomoteur par exemple). Les plateformes pétrolières pourront alors, de la même manière que dans un parc éolien offshore classique, servir à transformer puis injecter l'électricité produite dans le réseau. L'autre possibilité consiste en la modification plus importante de la plateforme afin de lui donner d'autres fonctions (production et stockage d'hydrogène, zone de stockage de conteneur, support de production d'énergie renouvelable).

3. Voir le rapport "Review of multi-use of space and multi-use platform projects", MARIBE (Marine Investment for the Blue Economy), 15 février 2016

4. Voir l'étude: Irati Legorburu, Kate R. Johnson, Sandy A. Kerr, "Multi-use maritime platforms - North Sea oil and offshore wind: Opportunity and risk", Ocean & Coastal Management, Volume 160, 15 juin 2018

5.6. Rahul Chokhawala, "Alimenter en énergie électrique les plateformes offshore, Quelles solutions pour couvrir les besoins énergétiques des plates-formes pétrolières et gazières?", ABB, 2008

7. Chiffres tirés du document "L'empreinte carbone des Français reste stable", Commissariat général au développement durable, Janvier 2020

Différents scénarios de MUP peuvent être mis en place en mer du Nord. Le premier, qui correspond à une des options les plus concrètes, serait de créer une zone combinant l'éolien offshore et la production de pétrole. Cette première proposition a pour ligne directrice de lier les deux supports de production d'énergie offshore les plus efficaces aujourd'hui, l'éolien et les forages pétroliers. Cette association serait possible en reprenant le constat fait précédemment, à savoir un développement de l'éolien offshore flottant qui puisse s'implanter dans les zones où les plateformes pétrolières sont présentes. L'apport d'éoliennes offshore dans un champ pétrolier permettrait d'alimenter les plateformes pétrolières en électricité puis de transférer l'électricité restante vers la terre. L'idée d'associer ces deux secteurs vient de différents constats. L'économie pétrolière et gazière, bien qu'elle soit en déclin en mer du Nord, va encore perdurer plusieurs dizaines d'années (certains champs pétroliers, notamment en Norvège, n'ont pas encore atteint leur pic de production)⁴ et les questions autour de son intégration dans le développement de la mer du Nord sont à prendre en compte.

Les éoliennes associées à un champ pétrolier pourrait alimenter en énergie les éléments des plateformes pétrolières qui sont actuellement alimentées par le gaz ou le pétrole produit. En effet, la majorité des plateformes pétrolières sont équipées de turbines à gaz pour alimenter leurs appareils électriques. **“Les turbines à gaz sont essentiellement des moteurs thermiques qui récupèrent l'énergie des gaz chauds issus de la combustion de gaz ou de fioul pour entraîner un générateur d'électricité. Ce processus en quatre étapes - combustion, compression, transfert de chaleur et rotation mécanique - nécessite des équipements énergivores dont l'exploitation et la maintenance sont lourdes.”**⁵

Le nombre de turbines embarquées dépend des besoins de la plateforme mais en général, l'approvisionnement en électricité est responsable d'un important rejet de gaz à effets de serre.

“Une plate-forme produisant 100 MW rejette en moyenne plus de 500 000 tonnes de CO₂ par an.”⁶

(Correspond à la consommation en CO₂ d'environ cinquante milles français par an.)⁷

Une alimentation par des énergies renouvelables serait donc intéressante en sachant que l'industrie pétrolière et gazière offshore n'est pas prête de s'arrêter. Cette association est d'autant plus intéressante puisqu'au sein de nombreux champs pétroliers, des installations offshore sont ou vont être abandonnées. Reprenant le modèle évoqué dans la partie précédente, une ou plusieurs plateformes offshore pourraient alors servir de sous-stations électriques et ainsi être reconverties directement après la fin de l'exploitation des gisements pétroliers. Cette phase d'association entre le pétrole offshore et l'éolien pourrait servir de transition à la fin de vie du secteur pétrolier offshore et l'avènement de nouvelles manières de produire de l'énergie. En effet, il semble aujourd'hui plus intelligent de prolonger l'utilisation de certaines infrastructures pétrolières par l'utilisation d'énergies renouvelables plutôt que de se désintéresser d'un secteur qui, quoi qu'il arrive, est amené à perdurer pendant plusieurs années. Cette association permettrait de fiabiliser et de développer les technologies de l'éolien offshore tout en procédant au démantèlement ou à la reconversion progressive des plateformes pétrolières. Les changements dans notre manière de produire de l'énergie ne vont pas se faire d'un jour à l'autre et il me semble important de mettre en place des zones permettant la transition entre deux modèles énergétiques. Cet exemple de MUP convoque les deux technologies offshore les plus matures, d'autres associations peuvent être possibles, convoquant des secteurs moins développés mais tout aussi intéressants.

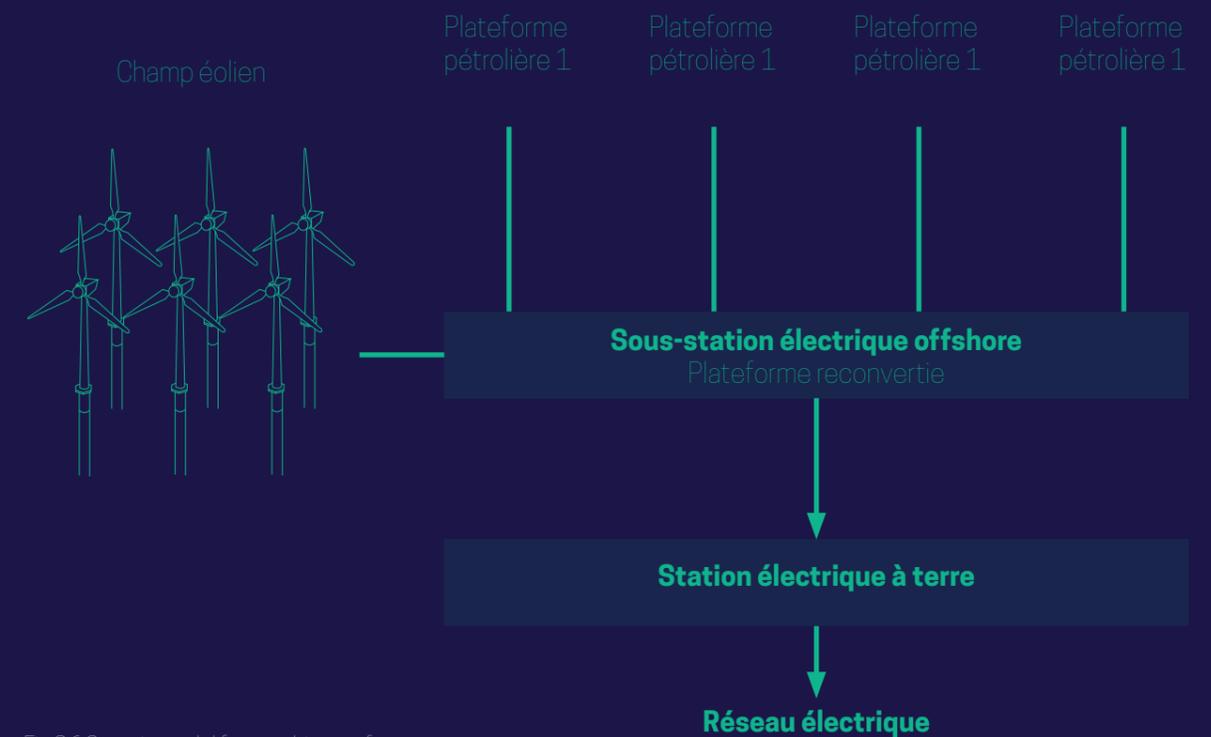


Fig.36. Generic model for a multi-use of space concept combining offshore oil and wind industries. "Multi-use maritime platforms - North Sea oil and offshore wind: Opportunity and risk", Irati Legorburu, Kate R. Johnson, Sandy A. Kerr, 2018

8. Voir le rapport "Review of multi-use of space and multi-use platform projects", MARIBE (Marine Investment for the Blue Economy), 15 février 2016

9. Voir la page web: "Offshore floating solar farm installed and operational at the Dutch North Sea", oceansofenergy.blue, 2020

Le second exemple de MUP que nous allons étudier est une plateforme combinant l'éolien offshore et l'énergie photovoltaïque afin de produire de l'électricité et de l'hydrogène. Ce concept a pour objectif de combiner deux sources d'énergies renouvelables afin de pallier à leur irrégularité de production. Cette association pourrait permettre de produire de l'hydrogène afin de stocker l'énergie produite. La plateforme pétrolière reconvertie servirait d'une part à convertir l'électricité produite et d'autre part à produire, stocker et transporter de l'hydrogène. Dans le cas de cette plateforme, l'hydrogène serait produit par électrolyse de l'eau en se servant de l'électricité produite par les éoliennes et les panneaux solaires. Cet hydrogène pourrait être stocké puis transporté à terre en utilisant les pipelines existants. Ces technologies, aujourd'hui en développement, et la conception d'une telle plateforme paraît pour l'instant utopique. En effet, la production d'hydrogène par électrolyse est très coûteuse et son utilisation ne peut être possible seulement si une volonté politique de développer cette filière est mise en place. Le marché de l'hydrogène est pour l'instant immature mais pourrait représenter une solution de stockage de l'énergie. Le développement des énergies renouvelables pose en effet la question de l'irrégularité de leur production, incompatible avec les besoins actuels de la société.

L'association de plusieurs sources d'énergies renouvelables pourrait être une solution à cette irrégularité. Plusieurs combinaisons sont possibles et sont développés dans différents projets (MERMAID, TROPOS, etc...). Ces combinaisons sont quasiment toutes constituées de l'éolien offshore, l'énergie renouvelable la plus mature, et d'une autre technologie en développement (houlomoteur, panneaux photovoltaïques). L'apport régulier et maîtrisé qu'apporte une éolienne offshore peut alors servir de support à une source d'énergie moins mature qui nécessite d'être développée. C'est dans cette optique que plusieurs propositions d'associations de dispositifs flottant houlomoteurs ou solaires sur un support d'éolienne sont aujourd'hui à l'étude. À l'image de toutes les MUP, l'importance de la zone choisie est primordiale. Dans le cas de la reconversion d'une plateforme pétrolière, cette zone est limitée aux zones dans lesquelles des forages pétroliers ont eu lieu. Elles présentent un potentiel important pour l'éolien et l'houlomoteur. L'option du solaire pourrait paraître moins évidente à cause des conditions météorologiques mais les panneaux photovoltaïques sont aujourd'hui plus efficaces que les technologies houlomotrices. L'entreprise hollandaise Oceans of Energy a mis en place en 2019 une des premières installations photovoltaïques flottantes (installation agrandie en 2020)⁹ afin de développer ces technologies en mer.

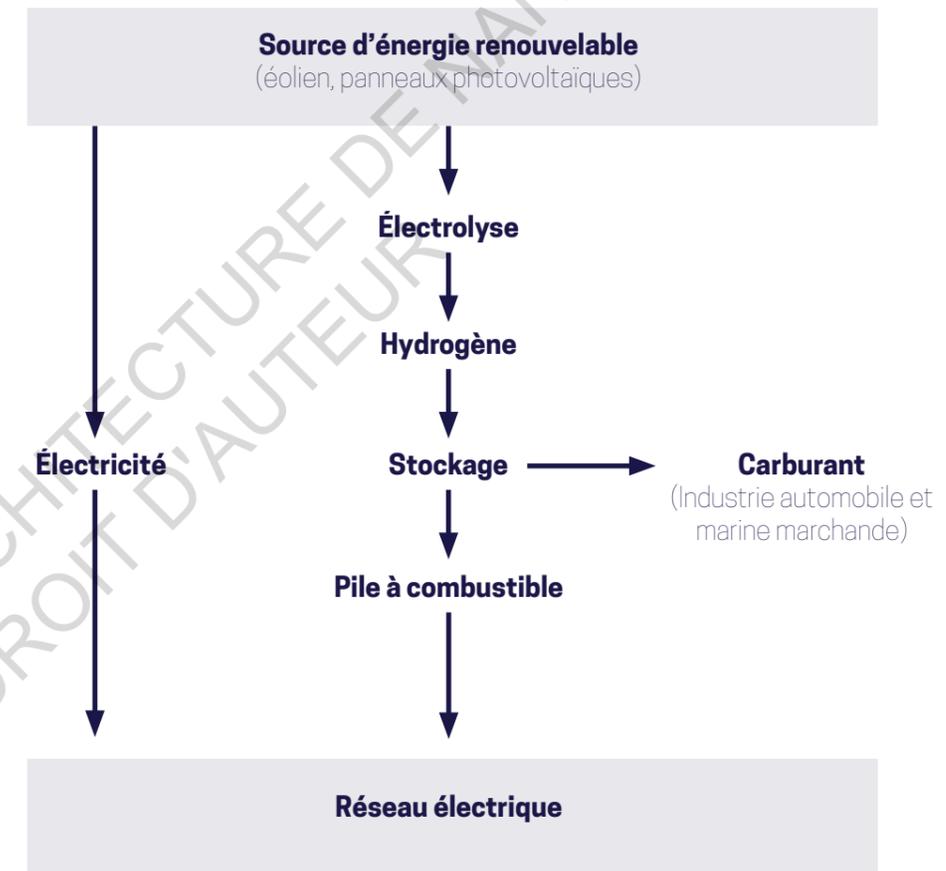


Fig.37: Schéma global d'une MUP combinant l'éolien et le solaire pour la création d'électricité et d'hydrogène

Les plateformes multi-usages constituent un modèle de développement auquel pourraient s'intégrer les plateformes pétrolières en fin de vie. Les différents concepts de MUP sont, en majorité, constitués de technologies en cours de développement qui ne sont pas économiquement viables dans un futur proche (secteur houlomoteur par exemple). La création de synergies entre les différentes activités marines et le regroupement de ces activités sur des installations communes sont néanmoins des idées intéressantes. Des études concernant la faisabilité et les coûts de développement de tels plateformes sont à prendre en compte car accumuler les technologies productrices d'énergie peut s'avérer à la fois intéressant dans la production mais très coûteux et dangereux pour l'environnement. L'étude du cycle de vie (de la conception au possible démantèlement) est primordial ainsi que le choix de la zone d'implantation. Les technologies convoquées doivent correspondre au contexte et il est plus intéressant dans certains cas de privilégier une seule technologie plutôt que d'accumuler les dispositifs sous prétexte d'une meilleure production.

c. Bilan

La reconversion des plateformes pétrolières en fin de vie comme support de production d'énergies renouvelables constitue une option possible de reconversion. Cette reconversion ne pose pas des questions seulement techniques mais aussi spatiales, environnementales ou encore socio-économiques. L'aménagement de l'espace maritime est un enjeu majeur du futur de notre société puisque de plus en plus d'activités et d'installations vont s'accumuler dans l'espace marin. Une stratégie d'aménagement permettrait donc d'éviter un étalement trop important des activités humaines sur la vie marine, en déterminant des zones spécifiques aux activités offshore, à la pêche, au tourisme, etc ...

L'accumulation de dispositifs et de concepts de production d'énergie renouvelable offshore tend à montrer que le futur de la production d'énergie se joue peut-être dans nos océans. Cette production doit cependant être contrôlée et il est nécessaire de prendre en exemple les erreurs commises par les secteurs pétroliers et gaziers. La course à la production sans se soucier du futur de ces installations ni de l'environnement marin commencée au début des années 1970 est un modèle dépassé. C'est dans cette optique qu'utiliser les infrastructures pétrolières existantes, quand il est possible de les utiliser, peut être une solution qui éviterait une nouvelle accumulation de plateformes offshore. Cette reconversion n'est évidemment pas possible pour un grand nombre de plateformes mais elle permettrait de montrer qu'un recyclage est envisageable et pourrait ouvrir la voie à une réflexion plus poussée sur le futur des nouvelles installations offshore (éoliennes, sous-stations électriques, ...).

Conclusion

L'origine et l'intérêt initial de ce travail se portait sur la découverte et l'étude d'un objet lointain et spécifique, la plateforme pétrolière. La problématique autour de sa reconversion pose à la fois des questions techniques mais aussi environnementales, sociétales et permet de s'interroger plus généralement sur la transition énergétique et le futur de notre société.

La plateforme pétrolière est le symbole d'un modèle de développement, à la recherche d'une production maximale. L'étude de l'histoire du pétrole offshore montre que cette course à la production va de paire avec une colonisation de plus en plus importante de notre planète. Les lieux autrefois inaccessibles sont devenus des usines à pétrole fonctionnant toute la journée, toute l'année. Les zones sous-marines les plus profondes sont aujourd'hui les lieux de travail du présent et du futur de cette industrie.

La conception de ces infrastructures est bien entendu contrainte par le milieu marin (à la fois dans la forme, les matériaux, les dispositifs présents à bord, etc ...) mais ces contraintes n'ont jamais représenté et ne représenteront sans doute jamais un frein à l'expansion de l'offshore pétrolier. Ces dans ces conditions qu'un développement non contrôlé de l'exploitation des ressources marines peut être à prévoir. Ce constat est valable pour le secteur des hydrocarbures mais aussi pour celui des énergies renouvelables. Celles-ci, ne disposant pas d'assez de place à terre, vont être adaptées au milieu marin, profitant de l'immensité offerte par ce nouveau territoire. La découverte de gisements sous-marins plus importants peut alors s'apparenter à la possibilité d'exploiter un vent marin plus fort ou des vagues plus puissantes. La trajectoire des énergies renouvelables pourrait alors suivre celle des hydrocarbures, ce constat est renforcé par le fait que de nombreuses entreprises pétrolières s'intéressent au secteur des énergies renouvelables offshore (la compagnie norvégienne Statoil par exemple).

Cet intérêt pour les ressources plus éloignées et potentiellement plus intéressantes entraîne la conception de nombreux projets éoliens, houlomoteurs, hydroliens, fixes, flottants, ... ayant pour but de déterminer quelles sont les solutions techniques les plus efficaces à une installation à grande échelle. Ces nombreuses innovations, toutes très intéressantes, ne doivent pas occulter le fait qu'il faille mettre en place une stratégie de développement des espaces marins afin d'éviter une propagation non contrôlée de ces dispositifs en mer. Les plans d'aménagement maritimes sont ainsi très importants dans la manière de

gérer les territoires et peuvent permettre une intégration intelligente des énergies renouvelables au milieu marin. Le développement de ces nouvelles énergies va évidemment entraîner une multiplication de nouvelles installations offshore, plus modernes, plus performantes. Ces nouvelles installations ne doivent pas occulter le fait qu'il existe aujourd'hui plusieurs dizaines de plateformes offshore qui vont être abandonnées ou démantelées. Recycler les anciennes installations pétrolières pourrait permettre de limiter le nombre de nouvelles infrastructures offshore et serait ainsi bénéfique dans plusieurs domaines (pollution lors de la construction, du transport, de l'installation, coûts importants, etc ...) Bien que son impact soit minime comparé au nombre de nouvelles installations offshore qui vont être développées, la reconversion de quelques infrastructures pétrolières pourrait ouvrir la voie à un développement plus doux des énergies renouvelables en mer du Nord.

“Ainsi, peut-on s'attendre à plus ou moins brève échéance, à l'essor de l'offshore ultra-profond et par suite, non seulement à l'exploitation du pétrole et du gaz, mais aussi à celle de nouvelles sources d'énergie, comme les hydrates de méthane, puis par “dilatation” des espaces mobilisés pour la production des énergies marines renouvelables, à l'exploitation des vents du Grand large, voire des grands courants océaniques. Il serait alors temps de songer à la protection véritable de la Haute mer devant cette dilatation définitive de l'œkoumène.”

L'étude des plateformes pétrolières et plus généralement de la production d'énergie en mer ouvre de nombreuses questions sur le futur de ces écosystèmes. Au-delà des questions de planification et de l'expansion potentielle de ces nouvelles technologies sur l'espace marin, cette recherche pose la question sur la véritable raison de cette course énergétique. Il paraît difficile de produire la même quantité d'énergie qu'aujourd'hui sans avoir recours à des dispositifs extrêmement coûteux d'un point de vue économique et environnemental bien qu'exploitant de l'énergie renouvelable. Se pencher sur la recherche de performance de ces nouveaux dispositifs est une chose, mais il serait tout aussi important de se poser des questions sur notre consommation énergétique actuelle, celle-ci n'étant pas viable le futur.

1. Jacques Guillaume, “Les énergies offshore à la rencontre de la haute mer”, Bulletin de l'Association de Géographes Français, 2013

Bibliographie

Ouvrages et travaux de recherches

A. Alvarez, "Offshore, un voyage en mer du Nord", Flammarion, 1987

Tony Rice, Paula Owen "Decommissioning the Brent-Spar", CRC Press, 1999

Matthieu Auzanneau, "Or noir, la grande histoire du pétrole", La Découverte, 2015

L'atelier régional de Bretagne, "Le littoral breton: 9.3 Ressources de la mer-Pétrole et énergies-Schéma d'aménagement du littoral breton", 1975

Christophe Gautreau, Christophe Thoumzeau, "Transformation d'une plateforme auto-élevatrice en un complexe de thalassothérapie", 1988

Michel Lepetit, "Méthodologie d'analyse des scénarios utilisés pour l'évaluation des risques liés au climat par une approche paradigmatique PIB-Pétrole", Chaire Énergie&Prosperité-Financement et évaluations de la transition énergétique, 2018
<http://www.chair-energy-prosperity.org/wp-content/uploads/2018/09/publication2018-metho-dologie-analyse-scenario-climat.pdf>

Bernard Andrier, Philippe Ozanne, "Offshore - Installations offshore", Universalis
<https://www.universalis.fr/encyclopedie/offshore-installations-offshore/>

Comité d'experts, "Rapport du comité d'experts sur les enjeux environnementaux liés aux levées sismiques dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent", Mars 2004
<https://archives.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/sismiques/documents/rapportlevessismiques.pdf>

Torgeir Bakke, Jarle Klungsøyr, Steinar Sanni "Environmental impacts of produced water and drilling waste discharges from the Norwegian offshore petroleum industry", Marine Environmental Research, Volume 92, 20 septembre 2013
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141113613001621>

Nathalie Paquet, Gaëlle Triffault-Bouchet, "Impact associé aux activités régulières d'une plateforme pétrolière pour les écosystèmes aquatiques du golfe du Saint-Laurent", Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2015
<https://mern.gouv.qc.ca/energie/filiere-hydrocarbures/etudes/GENV25.pdf>

Emmanuel Garland, "Offshore - Démantèlement des plates-formes pétrolières",

Universalis

<https://www.universalis.fr/encyclopedie/offshore-demantèlement-des-plates-formes-petrolières/>

Scarborough Bull and Love, Occidental College, "Oil platforms off California are among the most productive marine fish habitats globally", PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences), 22 septembre 2014
<https://www.pnas.org/content/111/43/15462>

Brigitte Sommer, Ashley M.Fowler Peter, I.Macreadie, David A.Palandro, Azivy C.Aziz, David J.Booth, "Decommissioning of offshore oil and gas structures - Environmental opportunities and challenges", Science of The Total Environment, Volume 658, Décembre 2018
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969718350551>

"Intro to ocean energy", Delft University of Technology, Section of offshore engineering, 16 novembre 2016

Delphine Chareyron, Hélène Horsin-Molinaro, Bernard Multon, "Concepts et chiffres de l'énergie : émissions de CO₂", Culture Sciences Physique, 14 septembre 2020
<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/chiffres-energie-CO2-monde.xml>

Département Géographie et Territoires, "L'usine marémotrice de la Rance", Ecole Normale Supérieure, Octobre 2009
<http://www.geographie.ens.fr/-L-usine-maremotrice-de-la-Rance-.html>

Karina Veum, Lachlan Cameron, Daniel Huertas Hernando, Magnus Korpås, "Roadmap to the deployment of offshore wind energy in the Central and Southern North Sea (2020 - 2030)", WindSpeed

Irati Legorburu, Kate R. Johnson, Sandy A. Kerr, "Multi-use maritime platforms - North Sea oil and offshore wind: Opportunity and risk", Ocean & Coastal Management, Volume 160, 15 juin 2018
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569117304799>

Rahul Chokhawala, "Alimenter en énergie électrique les plates-formes offshore, Quelles solutions pour couvrir les besoins énergétiques des plates-formes pétrolières et gazières?", ABB, 2008
<https://library.e.abb.com/public/45cd5c60f039be7cc125742700464ae6/52-56%201M811-FRA72dpi.pdf>

Articles

Philippe Gauthier, "Une courte histoire du pétrole : 1. Des origines à l'ère moderne", energieetenvironnement.com, 28 mai 2018
<https://energieetenvironnement.com/2018/05/28/une-courte-histoire-du-petrole-1-des-origines-a-lere-moderne/>

Laurie Debove, "Le pétrole : Le sang noir du monde moderne", La Relève et la Peste, 1er mars 2019

<https://lareleveetlapeste.fr/le-petrole-le-sang-noir-du-monde-moderne/>

Jacques Guillaume, "Les énergies offshore à la rencontre de la haute mer", Bulletin de l'Association de Géographes Français, 2013

<https://journals.openedition.org/bagf/2023>

Vincent Collen, "Le secteur parapétrolier français prêt à rebondir", Les Echos, 3 octobre 2018

<https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/le-secteur-parapetrolier-francais-pret-a-rebondir-140722>

Loïc Simonet, "Les hydrocarbures de l'Arctique : Eldorado ou chimère ?", Géoéconomie, N°82, 2016

<https://www.cairn.info/revue-geoeconomie-2016-5-page-73.htm>

Vincent Collen, "La mer du Nord suscite toujours l'appétit des pétroliers", Les Echos, 8 octobre 2019

<https://www.lesechos.fr/industrie-services/energie-environnement/la-mer-du-nord-suscite-toujours-lappetit-des-petroliers-1138066>

Kiran Stacey, "Royaume-Uni. Pétrole : fin de partie en mer du Nord", Courier International, 3 mars 2016

<https://www.courierinternational.com/article/royaume-uni-petrole-fin-de-partie-en-mer-du-nord>

Perrine Mouterde, "Dix ans après l'explosion de Deepwater Horizon : La marée noire a causé des dégâts permanents", Le Monde, 22 avril 2020

https://www.lemonde.fr/planete/article/2020/04/22/dix-ans-apres-deepwater-horizon-la-maree-noire-a-cause-des-degats-permanents_6037451_3244.html

Jack Doyle, "The Brent Spar Fight, Greenpeace 1995", The Pop History Dig, 2020

<https://www.pophistorydig.com/topics/greenpeace-shell-brent-spar/>

Bhushan Bahree, Kyle Pope, and Allanna Sullivan, "How Greenpeace sank Shell's plan to dump big oil rig in Atlantic", Wall Street Journal, 7 juillet 1995

Olivier Blond, "Les leçons de la plate-forme Brent Spar", Les Echos, 17 avril 2002

<https://www.lesechos.fr/2002/04/les-lecons-de-la-plate-forme-brent-spar-689894>

Mark J. Kaiser, Siddhartha Narra, "Decommissioning activity on the decline in the Gulf of Mexico", Offshore-mag, 1er août 2018

<https://www.offshore-mag.com/field-development/article/16762274/decommissioning-activity-on-the-decline-in-the-gulf-of-mexico>

Cassady Craighill, "Spreading Oil Rig Dumpsites in the Gulf of Mexico?", Greenpeace, 31 juillet 2014

<https://www.greenpeace.org/usa/spreading-oil-rig-dumpsites-gulf-mexico/>

Jeremy Beckman, "Shell takes vertical approach to Brent spar decommissioning", Offshore-mag, 1er mars 1998

<https://www.offshore-mag.com/field-development/article/16756493/shell-takes-vertical-approach-to-brent-spar-decommissioning>

Eric Saudemont, "Estelle Brachlianoff, directrice générale de Veolia UK (Royaume-Uni et Irlande)", Pétrole et Gaz Informations, mars 2019

<http://www.petrole-et-gaz.fr/estelle-brachlianoff-directrice-generale-de-veolia-uk-royaume-uni-et-irlande-8811/>

Harrison Tasoff, "Rigs-to-reefs", The Current, 25 janvier 2019

<https://www.news.ucsb.edu/2019/019327/rigs-reefs>

Yves Henocque, "Salon du littoral : plein feu sur la biodiversité et l'éolien flottant - Regards sur l'expérience japonaise - Partie 1", Energie de la Mer, 6 Octobre 2020

<https://www.energiesdelamer.eu/2020/10/06/salon-du-littoral-plein-feu-sur-la-biodiversite-et-leolien-flottant-regards-sur-l Experience-japonaise-partie-1/>

Grégoire Souchay, "En quête d'espace, la filière photovoltaïque lorgne les terres agricoles", Reporterre, 13 juillet 2020

<https://reporterre.net/En-quete-d-espace-la-filiere-photovoltaique-lorgne-sur-les-terres-agricoles>

Christophe Haveaux, "Des centrales photovoltaïques flottantes en Mer du Nord", Renouveau, 6 janvier 2020

<https://www.renouveau.be/fr/technologies/des-centrales-photovoltaiques-flottantes-en-mer-du-nord>

Bernard Deboyser, "Suède : l'hydrogène vert remplacera le charbon pour produire de l'acier neutre en carbone", Révolution énergétique, 8 septembre 2020

<https://www.revolution-energetique.com/suede-lhydrogene-vert-remplacera-le-charbon-pour-produire-de-lacier-neutre-en-carbone/>

Catherine Hours, "Climat : l'hydrogène vert, un tournant à préparer", La Tribune, 9 décembre 2020

<https://www.latribune.fr/entreprises-finance/transitions-ecologiques/climat-lhydrogene-vert-un-tournant-a-preparer-865510.html>

Betty Queffelec, "Planification de l'espace maritime et approche écosystémique en contexte transfrontalier : illustration franco-belge", Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Hors-série 18, décembre 2013

<https://journals.openedition.org/vertigo/14282>

Pages web

"Les types de pétrole", guider.be, 22 juillet 2008

http://www.guider.be/article/les_types_de_ptrole.html

“L’exploration, un processus en plusieurs étapes”, planète-énergie.com, 22 août 2014

<https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/l-exploration-un-processus-en-plusieurs-etapes>

“La production offshore de pétrole et de gaz”, planète-énergies.com, 4 août 2015

<https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-production-offshore-de-petrole-et-de-gaz>

“Offshore : une part grandissante dans l’exploitation pétrolière et gazière”, planète-énergies.com, 20 janvier 2016

<https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/offshore-une-part-grandissante-dans-l-exploitation-petroliere-et-gaziere>

Banque mondiale

donnees.banquemondiale.org

“Stop aux forages pétroliers en Arctique!”, greenpeace.fr, 25 août 2017

<https://www.greenpeace.fr/stop-aux-forages-petroliers-arctique/>

“Le pic pétrolier”, connaissance-des-energies.org, 20 mai 2016

<https://www.connaissance-des-energies.org/fiche-pedagogique/pic-petrolier>

Getech Group plc, “Reduce, reuse, recycle — Decommissioning oil platforms”, storymaps.arcgis.com, 9 juin 2020

<https://storymaps.arcgis.com/stories/7aba78f248974880aee990e6f08a7c39>

Arnaud Abadie, “Les récifs artificiels”, seaescape.fr, mars 2020

<https://seaescape.fr/recifs-artificiels/>

“Sleipner partnership releases CO2 storage data”, equinor.com, 12 juin 2019

<https://www.equinor.com/en/news/2019-06-12-sleipner-co2-storage-data.html>

Seaventure Dive Resort

<https://seaventuredive.com>

“Énergies marines renouvelables”, Ministère de la transition écologique, ecologie.gouv.fr, 12 décembre 2018

<https://www.ecologie.gouv.fr/energies-marines-renouvelables-0>

Northern Lights

<https://northernlightscs.com/en/about>

“Paquet sur le climat et l’énergie à l’horizon 2020”, ec.europa.eu

https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_fr

“Cadre d’action en matière de climat et d’énergie d’ici à 2030”, ec.europa.eu

https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_fr

“Planification de l’espace maritime”, ec.europa.eu

https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/maritime_spatial_planning_fr

Tools4MSP

<http://data.adriplan.eu/tools4msp>

Adriplan conflict score tool

<https://www.msp-platform.eu/practices/adriplan-conflict-score-tool>

Adriplan cumulative impact tool

<https://www.msp-platform.eu/practices/adriplan-cumulative-impact-tool>

“Objectives and goals”, northseaportal.eu

<https://northseaportal.eu/project-information/objectives-and-goals/>

“Une réglementation harmonisée permettrait d’exploiter tout le potentiel d’un réseau offshore à structure maillée”, cordis.europa.eu, 3 janvier 2020

<https://cordis.europa.eu/article/id/411731-how-to-exploit-the-potential-of-a-meshed-offshore-grid-through-harmonised-regulation/fr>

Seeos, Chantiers de l’Atlantique

<https://chantiers-atlantique.com/energies-marines/sous-station-seeos/seeos>

“Croissance bleue”, ec.europa.eu

https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/blue_growth_fr

“Offshore floating solar farm installed and operational at the Dutch North Sea”, oceansofenergy.blue, 2020

<https://oceansofenergy.blue/north-sea-1-offshore-solar-project/>

Chartes et rapports

“Panorama 2012-Les hydrocarbures offshore”, IFP Energies Nouvelles, décembre 2011

<https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/43/095/43095223.pdf>

“Decommissioning insight 2019” The UK Oil and Gas Industry Association Limited, 2019

<https://oilandgasuk.co.uk/wp-content/uploads/2019/11/OGUK-Decommissioning-Insight-2019.pdf>

“Convention de Genève sur le plateau continental”, 29 avril 1958

https://legal.un.org/ilc/texts/instruments/french/conventions/8_1_1958_continental_shelf.pdf

“Convention des Nations Unies sur le droit de la mer, Partie V: Zone économique exclusive”, 10 décembre 1982

https://www.un.org/Depts/los/convention_agreements/texts/unclos/unclos_f.pdf

“Directive 2014/89/UE du Parlement Européen et du Conseil du 23 juillet 2014 établissant un cadre pour la planification de l’espace maritime”, Journal officiel de l’Union Européenne, 23 juillet 2014

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:32014L0089>

“SEANSE Final Conference”, SEANSE, 9 et 10 janvier 2020
<https://northseaportal.eu/downloads/>

“Offshore Wind in Europe: Key trends and statistics 2019”, WindEurope, Février 2020
<https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Offshore-Statistics-2019.pdf>

“D7.9 Regulatory and Financing principles for a Meshed HVDC Offshore Grid”, PROMOTioN, 22 Octobre 2019
https://www.promotion-offshore.net/fileadmin/PDFs/D7.9_Regulatory_and_Financing_principles_for_Meshed_HVDC_Offshore_Grid_2_.pdf

“Review of multi-use of space and multi-use platform projects”, MARIBE (Marine Investment for the Blue Economy), 15 février 2016
<http://maribe.eu/wp-content/uploads/2016/04/d5-1-review-of-multi-use-of-space-and-multi-use-platform-projects.pdf>

“L’empreinte carbone des Français reste stable”, Commissariat général au développement durable, Janvier 2020
<https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-01/datalab-essentiel-204-l-empreinte-carbone-des-francais-reste-%20stable-janvier2020.pdf>

Émissions de radio

Stéphane Bonnefoi, Diphy Mariani, “La France n’a pas de pétrole, mais une petite idée... - 1918, Après la guerre les années folles”, France Culture, 13 novembre 2018
<https://www.franceculture.fr/emissions/l-sd-la-serie-documentaire/1918-apres-la-guerre-les-annees-folles-24-la-france-na-pas-de-petrole-mais-une-petite-idee>

Table des illustrations

Fig.1: Plateforme Huldra, Markus Johansson, StatoilHydro, 2016
<https://www.aftenbladet.no/aenergi/i/QP2bA/naa-skal-statoil-kvitte-seg-med-denne>

Partie 1

Fig.2: La voie sacrée de Verdun, Carte postale
<https://www.geneanet.org/cartes-postales/view/4531161#0>

Fig.3: Crude oil prices 1861-2017, BP Statistical Review of World Energy 2018 schéma retravaillé
<https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>

Fig.4: La formation du pétrole, schéma retravaillé
<https://www.schoolmouv.fr/cours/l-exploitation-du-petrole/fiche-de-cours>

Fig.5: An undated photograph of the derricks in Maracaibo oil fields in Venezuela, Bettmann Archive
<https://www.history.com/news/venezuela-chavez-maduro-crisis>

Fig.6: Transport of Troll A Platform
<https://twitter.com/Rainmaker1973/status/1009067056749301760/photo/1>

Fig.7: FPSO CLOV, Total, 2014
<https://wiki.total/en/angola-clov>

Fig.8: Deepwater Horizon oil spill, NSF Photo/Alamy Stock Photo, 20 avril 2020
<https://www.hakaimagazine.com>

Fig.9: Comment pensent les juristes -Zones maritimes et droit international de la mer, schéma retravaillé
<https://fr.boell.org/fr/2018/05/28/qui-appartient-locean>

Fig.10: Régions pétrolières et profondeurs des puits forés, Deloitte’s Petroleum Services Group, Offshore mag, 2017, carte retravaillée
<https://www.iddri.org/fr/projet/activites-petrolieres-et-gazieres-offshore>

Partie 2

Fig.11: Plateforme offshore norvégienne
<https://www.metalsupply.no/article/view/675956/oljeleverandorene-lavere-vekst-er-forventet>

Fig.12: Les différents types de plateformes, coupe retravaillée
<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/plateformes-petrolieres>

Fig.13: Bio rig, Julien Nolin
<http://juliennolin.com/biorig>

Fig.14: Champ pétrolier en Afrique de l'Ouest, Reuters
<https://afrique.latribune.fr/afrique-de-l-ouest/nigeria/2019-03-18/affaire-bourbon-symbole-de-la-corruption-dans-le-secteur-des-hydrocarbures-en-afrique-811069.html>

Fig.15: One of Statoil's drilling platforms in a storm, Oyvind Hagen/Statoil
<https://www.nationalobserver.com/2016/06/10/news/statoil-finds-million-barrels-oil-inharsh-waters-newfoundland-coast>

Fig.16: North Everest and Lomond living quarters, HSM Offshore BV, 1992
<https://www.hsmoffshore.com/en/projects/oil--gas/living-quarters/central-graben---north-everest-and-lomond-living-quarters/>

Partie 3

Fig.17: Greenpeace vs the Brent Spar, Crude Britannia: The Story of North Sea Oil, avril 1995
https://www.youtube.com/watch?v=0INCoJvEFdw&ab_channel=ricjl

Fig.18: Une évolution réglementaire-Frise chronologique, production personnelle

Fig.19: Gigantic 24,000 tonne oil rig Brent Delta arrives in the North-East on the back of an Iron Lady, The Northern Echo, 2 mai 2017
<https://www.thenorthernecho.co.uk/news/15260145/pictures-gigantic-24-000-tonne-oil-rig-brent-delta-arrives-north-east-back-iron-lady/>

Fig.20: A decommissioned North Sea oil platform, The National, 1er Octobre 2020
<https://www.thenational.scot/news/18761797.tory-plan-turn-old-oil-platforms-asylum-centres/>

Fig.21: Brent Spar under tow from Erfjord to the selected decommissioning site at Vats in Yrkjefjord, Shell Brent-Spar dossier, août 1998
https://www.shell.co.uk/sustainability/decommissioning/brent-spar-dossier/_jcr_content/par/textimage.stream/1426853000847/32a2d94fa77c57684b3cad7d06bf6c7b65473faa/brent-spar-dossier.pdf

Fig.22: Underwater oil rig platform
<https://louisiana-stock-footage.com/pages/oil-rig-gas-platform-marine-environment-stock-footage-underwater-rig-stock-footage-video>

Fig.23: Seaventure Dive Resort
<https://www.zubludiving.com/resort/seaventures-dive-rig>

Partie 4

Fig.24: Long term market potential, graphique retravaillé, "Intro to Ocean Energy", Delft University of Technology, Section of offshore engineering, 2016

Fig.25: Principe d'une usine marémotrice, Petit guide des énergies marines renouvelables axonométrie et coupe retravaillées
<http://emr-brest.e-monsite.com/pages/maremoteur.html>

Fig.26: Le Pelamis, appareil utilisant l'énergie houlomotrice
<https://presselib.com/capter-lenergie-vagues-de-locean-projets-a-letude-pays-basque-landes-a-commencer-celui-prevu-a-hauteur-de-bayonne-tarnos/>

Fig.27: Centrale photovoltaïque flottante de Piolenc
<https://www.theagilityeffect.com/fr/article/le-solaire-flottant-solution-aux-tensions-du-foncier/>

Fig.28: Puissance éolienne offshore installée et connectée au réseau, WindEurope, 2019, graphique retravaillé
<https://www.connaissancedesenergies.org/leurope-passe-le-cap-des-5-000-eoliennes-offshore-connectees-en-2019-200210>

Fig.29: L'éolien offshore en Europe, WindEurope 2019, schéma retravaillé
<https://www.connaissancedesenergies.org/leurope-passe-le-cap-des-5-000-eoliennes-offshore-connectees-en-2019-200210>

Fig.30: La chaîne de valeur du CCUS, Alciméd schéma retravaillé, <https://www.alcimed.com/fr/les-articles-d-alcim/technologies-ccus-co2-ressource-ou-dechet/>

Fig.31: Matrix of conflict scores for each pair of maritime uses for the whole ADRIPLAN study area, ADRIPLAN Project, graphique retravaillé
<https://www.msp-platform.eu/practices/adriplan-conflict-score-tool>

Fig.32: Les différents types d'éoliennes flottantes, production personnelle

Fig.33: Characterisation of the four scenarios, Windspeed, schéma retravaillé,
https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/windspeed_roadmap_final_publication_en.pdf

Fig.34: Champ d'éoliennes, axonométrie retravaillée, <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/developpement-durable-pales-100-m-eolien-offshore-44277/>

Fig.35: Sous-station électrique Rentel, Chantiers de l'Atlantique, 2018
<https://chantiers-atlantique.com/energies-marines/references-projets/sous-station-electrique-rentel/>

Fig.36: Generic model for a multi-use of space concept combining offshore oil and wind industries, schéma retravaillé
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569117304799?casa_token=3mq1alit0CIAAAAA-cRchYgQSckj6IAQTlzrvcQEsOi3BEw6EODGqu4sTeCDYjNoZDH-b7IRqZ-MPwcax9lwNpgqobmw#fig1

Fig.37: Schéma global d'une MUP combinant l'éolien et le solaire pour la création d'électricité et d'hydrogène, production personnelle

