

Exploitation de l'énergie thermique de l'océan

Lors d'une émission télévisée, on a soulevé le problème énergétique mondial et les différentes recherches pour des nouvelles sources. Parmi les solutions préconisées, je cite l'énergie thermique des océans qui a attiré le plus mon attention.

En se penchant sur ce sujet, j'ai pu découvrir que les régions représentant le plus grand potentiel thermique en terme de gradient de température se trouvent au voisinage de l'équateur donc forcément des océans pour cela mon sujet est en adéquation avec le thème.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique de la Matière), CHIMIE (Chimie Théorique - Générale), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Cycle thermodynamique</i>	<i>Thermodynamic cycle</i>
<i>Centrale ETM</i>	<i>ETM central</i>
<i>Gradient de température</i>	<i>Temperature gradient</i>
<i>Fluide</i>	<i>Fluid</i>
<i>Energie</i>	<i>Energy</i>

Bibliographie commentée

Avec l'augmentation remarquable de la population, le monde est face à un besoin énergétique sans cesse. Etant donné que la protection de l'environnement devenant de plus en plus une exigence pour toute orientation vers des nouvelles sources d'énergie qui réduisent la production des gaz toxiques et des déchets nocifs à la planète. L'énergie thermique des océans se présente comme une source d'énergie verte et inépuisable à l'échelle du temps humain. Cette idée était évoquée par le physicien français Jacques Arsène d'Arsonval en 1881. [1]

En effet, vu l'écart de la température entre la surface de l'océan qui est chaude et l'eau de l'océan située à des profondeurs de l'ordre 1000 mètres [2] une production de l'électricité est théoriquement possible à partir d'une centrale ETM (Energie Thermique des mers). Les milieux les plus favorables pour cette centrale sont les zones tropicales comme l'île de la réunion et Hawaï où un démonstrateur a été déjà installé par le groupe français DCNS. [1]

Cette centrale exploite différents cycles thermodynamiques comme le cycle de Claude, cycle d'Uehara, cycle de Kalina et surtout le cycle de Rankine [3][4] C'est le cycle thermodynamique le plus utilisé pour la conversion et qui comprend deux transformations adiabatiques et isobares et qui est composé de plusieurs éléments comme des pompes d'alimentation un ensemble évaporateur-

turbine-condenseur. [1] D'autre part ce cycle peut être amélioré par une solution étagée qui consiste à l'addition d'une autre turbine d'où une détente se fait d'abord dans une turbine « haute pression » puis dans une turbine « basse pression » et entre les deux l'eau passe dans un « surchauffeur ». Cette modification entraîne une amélioration du rendement. Cependant, le coût très élevé de la turbine présente un vrai obstacle vers l'investissement des pays en voie de développement et non fabricants de turbines.

Pour faire une étude précise sur l'installation d'une centrale ETM, il faut prendre en considération la sensibilité aux changements de température de l'eau de l'océan, les fluides à utiliser pour faire fonctionner telle machine et la nature des matériaux au niveau des pompes d'alimentation et les échangeurs thermiques afin d'éviter la corrosion en présence d'eau.

Problématique retenue

Est-ce qu'il est rentable d'investir dans les centrales thermiques ETM? Peut-on améliorer le rendement en réduisant les coûts de construction et d'exploitation?

Objectifs du TIPE

- Etude thermodynamique du cycle de Rankine simple et étagé.
- Etude portant sur le choix des matériaux pour contourner le problème de corrosion en eaux salées.
- Etude sur l'utilisation de l'énergie thermique des mers à Hawaï.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] CONNAISSANCE DES ÉNERGIES : Énergie thermique des mers (ETM) :

<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/energie-thermique-des-mers-etm>

[2] IRENA : Ocean Thermal Energy Conversion: Technology Brief :

<https://www.irena.org/publications/2014/Jun/Ocean-Thermal-Energy-Conversion>

[3] BHARATHAN DESIKAN : Staging Rankine Cycle using Ammonia for OTEC Power Production : 10.2172/1010862

[4] ENCYCLOPÉDIE DE L'ÉNERGIE : ÉNERGIE THERMIQUE DES MERS : CONCEPT ET

RESSOURCES : https://www.encyclopedie-energie.org/energie-thermique-des-mers-concept-et-ressources/#_ftnref1

Détection des cibles à l'aide du sonar

Le naufrage du Titanic en 1912, suite à sa collision avec un iceberg, était un évènement tragique puisqu'il a causé la mort d'environ 1500 personnes. Cette catastrophe m'a donné l'idée d'étudier la détection des icebergs et d'autres cibles à l'aide d'un sonar.

Je vais donc étudier le sonar qui peut fournir énormément d'informations sur l'océan et de ce fait mon sujet est en adéquation avec le thème de l'année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique), SCIENCES INDUSTRIELLES (Traitement du Signal).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>onde acoustique</i>	<i>acoustic wave</i>
<i>piézoélectricité</i>	<i>piezoelectricity</i>
<i>pression</i>	<i>pressure</i>
<i>atténuation</i>	<i>attenuation</i>
<i>analyse du signal</i>	<i>signal analysis</i>

Bibliographie commentée

Le naufrage de Titanic en 1912 était une raison importante pour s'intéresser à l'acoustique sous maritime mais l'événement majeur derrière la création du sonar et son développement, est la première guerre mondiale. Cette invention jouait un rôle important dans la détection des sous-marins et les mines marines. La création du sonar découle des travaux de Lewis Niwon et du célèbre physicien Français Paul Langevin et Constantin Chilowski au cours de la première guerre mondiale.[2][6]

Donc le sonar se repose sur l'acoustique sous-marine. Dans ce contexte on peut se poser la question : pourquoi n'utilise-t-on pas les ondes électromagnétiques ? Surtout que ces ondes de fréquences entre 1MHz et 100 MHz sont couramment employées pour mesurer les distances ou cartographier sur Terre et ils sont même utilisées pour détecter les niveaux des océans. En effet l'étude de ces ondes électromagnétiques dans l'océan montre que ce type d'onde n'est pas approprié pour mesurer les distances ou communiquer dans l'océan. L'onde radar ne pénètre quasiment pas dans l'eau de mer. L'énergie électromagnétique est cédée aux charges libres du milieu et est dissipée par effet Joule.[6]

Par conséquent le sonar se limite à l'utilisation des ondes acoustiques. La production des ondes sonores dans le sonar est due aux transducteurs piézoélectriques fonctionnant avec le principe de la piézoélectricité : sous l'action d'une contrainte mécanique les matériaux contenus dans le transducteur se polarisent électriquement ce qui permet de récupérer un signal, et inversement.[3]

Les ondes sonores sont régies par l'équation de propagation de D'Alembert. Cette équation est démontrée à l'aide de 3 autres équations : L'équation d'Euler, l'équation de conservation locale de

la masse et le comportement thermodynamique de la particule fluide. Mais ces équations étant compliquées vont être linéarisées pour simplifier l'étude.[1] [4][5]

La propagation de l'onde acoustique dans le milieu océanique est très complexe, car elle dépend de la célérité pour une position donnée et à un instant donné. En effet, la célérité dans le milieu océanique dépend de la pression, de la température et de la salinité de l'eau de mer. [1] [2]

Mais cette onde subit des pertes d'amplitude lors de sa propagation dans l'eau. Ces pertes d'intensité sont soit dues à un effet géométrique (les pertes par divergence géométrique), soit dues à l'absorption d'énergie par le milieu (les pertes par amortissement et les pertes liées aux interactions avec les interfaces).[1][2]

Problématique retenue

En comprenant le phénomène de propagation de l'onde et le fonctionnement du sonar, on se pose la question suivante : Comment différencier avec un sonar la nature des obstacles que l'onde acoustique rencontre ? Comment connaître si la cible qu'on a détectée est une roche ou une mine marine ?

Objectifs du TIPE

- Démonstration de l'équation de propagation de l'onde acoustique
- Résolution numérique de cette équation
- Analyse de données pour déterminer la nature de la cible

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] FINN B. JENSEN, WILLIAM A. KUPERMAN, MICHAEL B. PORTER, AND HENRIK SCHMIDT : Computational Ocean Acoustics : *Springer Science&Business Media, March 2000.*
- [2] ALEXIS MOURS : Localisation de cible en sonar actif : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01456797v2/document>
- [3] WIX : Le sonar : <https://inesmattio.wixsite.com/tpeecholocation/le-sonar->
- [4] ISABELLE TERRASSE, TOUFIC ABBoud : Modélisation des phénomènes de propagation d'ondes : <https://www.math.u-bordeaux.fr/~abachelo/Abboud-Terrasse.pdf>
- [5] XAVIER LURTON : Acoustique Sous-Marine : *ÉDITIONS IFREMER (1998) BP 70, 29280 Plouzané, France*
- [6] BENOIT HÉBERT : Acoustique dans les fluides : <https://www.youtube.com/watch?v=911z64NjFPg&t=20s>

Les cyclones tropicaux : étude et prédiction des trajectoires

En regardant un documentaire sur les cyclones tropicaux, j'ai été fasciné par la complexité scientifique du phénomène qui relie l'ordre au chaos. mais j'étais aussi terrifié par son impact dévastateur sur le plan économique, social et humain. D'où la nécessité des modèles de prédiction météorologique .

Mon travail s'intéresse à l'étude des cyclones tropicaux. Il envisage en outre la prédiction de leurs trajectoires, ces derniers ne prenant naissance qu'au-dessus des océans. Ce sujet s'inscrit ainsi dans le thème de cette année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Analyse), INFORMATIQUE (Informatique pratique), PHYSIQUE (Mécanique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>cyclone tropical</i>	<i>tropical cyclone</i>
<i>Prédiction</i>	<i>prediction</i>
<i>Modélisation</i>	<i>modelling</i>
<i>Équation non linéaire</i>	<i>non linear equation</i>
<i>Analyse de données</i>	<i>data analysis</i>

Bibliographie commentée

Chaque année Août et Septembre représentent une source de crainte pour les populations côtières des régions tropicales; En effet, ces deux mois présentent respectivement une moyenne de 12.85 et 13.31 systèmes cycloniques sur les 13 dernières années[3]; Ce qui affecte un nombre considérable de pays dans le monde, des pertes colossales sur les plans économiques et sociaux sont enregistrées annuellement, citons Bangladesh avec ses deux cyclones de 1970 et 1991 qui ont causé chacun plus de 200 milles victimes et l'ouragan Katrina dont le coût des dégâts a dépassé cent milliards d'euros lors de son passage par New-Orleans.[1]

Ces statistiques terrifiantes nous emmènent à étudier ce phénomène ravageur que l'Organisation Météorologique Mondiale le définit par: « perturbations dépressionnaires d'échelle synoptique non accompagnées d'un système frontal, prenant naissance au-dessus des eaux tropicales ou subtropicales et présentant une activité convective organisée et une circulation cyclonique, plus intense en surface qu'en altitude » (OMM 1992). Cette perturbation (appelée cyclone sur l'océan Indien, typhon sur le Pacifique nord-ouest et ouragan sur l'atlantique nord, mer des Caraïbes et le Pacifique nord-est)[3] est couplée à des fortes précipitations et des vents intenses supérieurs à 120 km/h.Ces derniers servent à classer selon leurs vitesses le phénomène cyclonique en des catégories

(de 1 à 5)[4][2].

La naissance de ce phénomène est due à la collaboration de maintes contraintes dynamiques comme le mouvement tourbillonnaire, le faible cisaillement vertical du vent horizontal, une divergence au niveau des couches supérieures de la troposphère et l'existence au préalable d'une perturbation présentant un tourbillon relatif des basses couches; et des contraintes énergétiques : une température de surface de l'eau supérieure à 26.5°C, une instabilité convective potentielle entre la surface et les couches moyennes de l'atmosphère et une humidité en moyenne troposphère suffisamment élevée[4].

Malheureusement, ce phénomène qui fascine les scientifiques par sa complexité et qui joue un rôle essentiel dans la distribution de l'énergie des zones chaudes vers les zones froides, est dévastateur pour l'humanité; ce qui nécessite des moyens de prédiction qui servent à prévoir les trajectoires des cyclones afin de minimiser leurs dommages ravageurs. C'est la météorologie qui englobe les sciences physiques et les mathématiques dans l'analyse de données statistiques afin de fournir des modèles de prédiction[4].

Il est connu que les mouvements des fluides sont décrits par le système d'équations de Navier-Stokes de la mécanique des fluides; Lorenz, vu que les ordinateurs à son époque étaient incapables de résoudre ce système compliqué, a voulu chercher un modèle très simplifié; aussi a-t-il élaboré un système dynamique différentiel, plus simple à résoudre numériquement, et qui peut modéliser les phénomènes météorologiques[6].

Or il s'avère que ce modèle de Lorenz n'est pas assez précis pour le considérer comme solution pour prévoir ces trajectoires. Des méthodes plus sophistiquées ont été élaborées par les scientifiques, ces méthodes peuvent être classées en :

- Des modèles statistiques qui reposent sur la répétitivité dans l'espace et le temps des trajectoires des cyclones c'est-à-dire chercher dans les données des autres cyclones ayant les caractéristiques les plus proches du cyclone étudié.

- Des modèles dynamiques qui sont basées sur des données atmosphériques globales prenant en compte les différents paramètres (vent, humidité, pression, température) et utilisant les lois de la physique aboutissant à des équations dont la résolution est la clé de prévoir la trajectoire du

cyclone[3][5][4].

Problématique retenue

Un cyclone tropical est ainsi un potentiel ravage pour l'Homme. Vu la gravité de l'enjeu, il est impératif de prévoir son trajectoire; Cela n'est pas assez facile à cause du caractère chaotique du phénomène. Comment, alors, peut-on aboutir à des modèles de prédiction ?

Objectifs du TIPE

- Présenter le phénomène : comprendre comment se forme Les cyclones et leurs relation avec l'océan.
- Tentative de réaliser une expérience (un mini cyclone).
- Élaborer un modèle primaire de prédiction en se basant sur la correspondance entre l'aspect chaotique du phénomène et une particule qui vérifie le système de Lorenz.
- Étude mathématique du système de Lorenz : existence et unicité des solutions.
- Résolution numérique du modèle de Lorenz, implémentation en Python et comparaison des résultats avec des vraies données.
- Tentative d'élaborer un meilleur modèle de prédiction en utilisant l'analyse des données avec l'intelligence artificielle.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] ROUX FRANK : Cyclones tropicaux: impacts et risques : https://www.encyclopedie-environnement.org/air/cyclones-tropicaux-impacts-risques/#2_Prevision_des_cyclones_tropicaux
- [2] ROUX FRANK : Cyclones tropicaux: Développement et organisation : <https://www.encyclopedie-environnement.org/air/cyclones-tropicaux-developpement-organisation/>
- [3] CYCLONEXTREME : Météorologie : <http://www.cyclonextreme.com/cyclonemondeactivitemoisseptembre19.htm>
- [4] SAMUEL JOLIVET : Modélisation mésoéchelle des cyclones tropicaux dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien avec Méso-NH. Cas d'étude DINA : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00462517/document>
- [5] STERENN MARIE LIBERGE, SILEYE BA, PHILIPPE LENCA, RONAN FABLET : Préviation de trajectoires de cyclones à l'aide de forêts aléatoires avec arbres de régression : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00632779/document>
- [6] EDWARD N. LORENZ : Deterministic Nonperiodic Flow : <https://journals.ametsoc.org/doi/pdf/10.1175/1520-0469%281963%29020%3C0130%3ADNF%3E2.0.CO%3B2>

Étude et modélisation du milieu de vie naturel des crevettes

Soeur d'un employé en formation afin de maîtriser la culture des crevettes bio, j'ai été intéressée par ce sujet surtout qu'il fait appel à une étude de l'évolution d'une population qui vit dans l'océan. Mon étude porte sur l'étude d'un milieu océanique afin de pouvoir le répliquer et s'inscrit donc dans le thème de cette année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Analyse), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Crevette</i>	<i>Shrimp</i>
<i>Dynamique des populations</i>	<i>Population dynamics</i>
<i>Phytoplancton</i>	<i>Phytoplankton</i>
<i>Ammoniac</i>	<i>Ammonia</i>
<i>Nitrite / Nitrate</i>	<i>Nitrite / Nitrate</i>

Bibliographie commentée

La crevette représente une ressource crustacée d'une très grande importance, elle est élevée et cultivée surtout dans tous les pays de l'Asie, en Inde et en Amérique Latine. Cependant, les techniques utilisées par la plupart des sociétés d'élevage font appel à des produits chimiques et des antibiotiques nocifs à l'environnement. Par contre, il existe une autre méthode alternative qui non seulement élimine l'utilisation des produits chimiques, mais produit une crevette bio à bas prix. Celle-ci consiste à élever les crevettes dans un milieu qui réplique le plus possible leur milieu naturel en l'occurrence l'océan, avec le paramétrage le plus optimal[1].

La connaissance des conditions naturelles de vie des crevettes est nécessaire pour pouvoir modéliser et se rapprocher le plus possible du milieu naturel où elles vivent [2]. On sait que la température agit énormément sur la nutrition et donc sur le développement des crevettes [3]. L'ammoniac issu de les matières fécales des crevettes, s'il s'accumule, devient toxique pour elles et affecte la production[4]. La solution est de nitrifier une partie de l'ammoniac en nitrite et nitrate assimilés par le phytoplancton qui sert à son tour de nourriture pour les crevettes. On peut ainsi adapter la concentration en ammoniac de façon à ce que le milieu soit identique au milieu naturel[5]. Il faudra aussi ajouter un prédateur pour limiter le nombre de crevettes afin qu'elles ne soient pas nombreuses et donc de mauvaise qualité. Plusieurs modélisations sont possibles: le modèle de Malthus, le modèle de Verhulst[6], le modèle de Lotka-Volterra faisant interagir plus que deux espèces[7], le modèle de Lotka-Volterra avec diffusion[7]. D'une autre part, la suite logistique et son diagramme de bifurcation semblent imposer des contraintes afin de pouvoir atteindre une certaine stabilité[8].

Problématique retenue

Comment peut-on modéliser mathématiquement les interactions entre les crevettes et les différentes variantes et espèces vivantes dans son milieu naturel?

Objectifs du TIPE

1-Expérience

a-Paramétrage

b-Réalisation

2-Modélisation de l'évolution des crevettes

a-Modèle de Malthus

b-Modèle de Verlust

c-Modèle de Lotka-Volterra

d-Modèle de Lotka-Volterra avec diffusion

e-Simulation Python

3-Comparaison avec l'expérience réelle

4-Conclusion

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] PINGSUN LEUNG, EITHAN HOCHMAN, LAWRENCE W. ROWLAND & JAMES A. WYBAN : Modeling shrimp production and harvesting schedules :

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308521X90900039?fbclid=IwAR2m_XFLXKLq4bhR-p2ug9XugMuancGRG7XWXHb8sEcL8BI-tNXZ4fBaKKI

[2] A.R. FRANCO, J.G. FERREIRA & A.M. NOBRE : Development of a growth model for penaeid shrimp :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848606004261?fbclid=IwAR2LpGQ9UmdJGKEOcc-S8WvUyzuNT9pGVwxFR-1deO5HkFhSBvdSoSWi-6U>

[3] JAMES WYBANA, WILLIAM A. WALSH, DAVID M. GODIN : Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*) :

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0044848695000321?fbclid=IwAR2K7mMxi3Gnl7zxeUWzollanTN_zqBAnVibu9tZyb5S5jxBuhd4VM8rIEM

[4] XIA LUA, SHENG LUAN, PING DAI, KUN LUO, BAOLONG CHEN, BAOXIANG CAO, SUN, YUNJUN YAN, JIE KONG : Insights into the molecular basis of immunosuppression and increasing pathogen infection severity of ammonia toxicity by transcriptome analysis in pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei* : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1050464819301731>

[5] RUBY A. MONTOYA, A.L. LAWRENCE, W.E. GRANT, M. VELASO : Simulation of nitrogen dynamics and shrimp growth in an intensive shrimp culture system: effects of feed and feeding parameters :

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380099001234?fbclid=IwAR1aXNvbBX9wzAtXWvUYdP6qFWWzCmQ0fCe3rFKFmdqWrFrOd9Z_C2Ss3Oc

- [6] Modèle de Verhulst : https://fr.wikipedia.org/wiki/Modèle_de_Verhulst
- [7] Équations de compétition de Lotka-Volterra :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Équations_de_compétition_de_Lotka-Volterra
- [8] This equation will change how you see the world : <https://youtu.be/ovJcsL7vyrk>

Etude des vagues et conversion d'énergie houlomotrice

Originaire d'une ville côtière, le monde des mers est pour moi un héritage familial et le mouvement incessant des vagues était toujours un phénomène que j'essaie de décortiquer. C'est pourquoi j'ai choisi d'orienter mon TIPE sur l'étude des vagues et tenter d'exploiter leur mouvement pour produire de l'énergie.

Qui dit vague pense immédiatement aux mers et océans. Ainsi, mon choix ne peut produire qu'un sujet bien attaché au thème du TIPE.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
-------------------------	------------------------

<i>Vague</i>	<i>Wave</i>
--------------	-------------

<i>Onde mécanique</i>	<i>Mechanical wave</i>
-----------------------	------------------------

<i>Equations de la houle</i>	<i>Wave equations</i>
------------------------------	-----------------------

<i>Energie</i>	<i>Energy</i>
----------------	---------------

<i>Conversion</i>	<i>Conversion</i>
-------------------	-------------------

Bibliographie commentée

Une vague n'est qu'une onde mécanique qui se propage à la surface de l'eau entre deux fluides, qui sont en fait l'eau et l'air. Ce mouvement ondulatoire est appelé houle et constitue un parmi les phénomènes prépondérants de l'océan.

Depuis une quarantaine d'années, plusieurs recherches sur l'étude et la compréhension du phénomène du mouvement des vagues ont eu lieu et ont réalisé un remarquable progrès qui a beaucoup aidé en ingénierie côtière par exemple. [6]

Cette intensité de recherches et projets à propos des vagues et leur mouvement peut être expliquée par la façon étonnante dont l'eau répond à une perturbation de sa surface par les vents : en effet les vagues partent de nombreux kilomètres par grand fond puis subissent une modification en s'approchant de la côte et s'échouent sur la plage.

Des analyses mathématiques ont été réalisées pour expliquer le phénomène de la houle en se basant sur l'étude de plusieurs équations appelées équations de la houle [5] qui sont en relation avec la mécanique des fluides comme les équations de Navier Stokes qui sont des équations aux dérivées partielles non linéaires, les équations d'Euler et de continuité. Le but de ces études était d'essayer d'obtenir des simplifications de ces équations compliquées en posant des hypothèses [1]. Ces études et modélisations ont vérifié que le problème est complètement résolu pour une onde monochromatique [5] mais on a eu toujours des difficultés pour savoir comment se fait la formation et la croissance des vagues [7]

En plus des études mathématiques, plusieurs modélisations 'simplifiées' de la vague ont eu lieu en

plusieurs domaines comme l'infographie [1]. La houle d'Airy par exemple est un modèle simplifié [2]. Et ce sont en fait ces modèles qui ont permis d'exprimer le flux d'énergie des vagues [3] c'est-à-dire l'énergie des ondes se propageant à la surface des océans [2]. On a constaté qu'on peut profiter de la houle pour produire de l'énergie. Plusieurs expériences ont eu lieu pour mettre en évidence la possibilité d'une telle conversion d'énergie houlomotrice en énergie électrique [8]. Plusieurs études ont montré que l'énergie des vagues peut couvrir une partie importante de la consommation électrique mondiale [2]. Ce qui permet de considérer cette conversion de l'énergie houlomotrice comme une probable solution pour le problème d'énergie prépondérant de nos jours. Et d'ailleurs il y a beaucoup de différents projets à l'heure actuelle à ce propos avec des tentatives d'optimisation [4].

Problématique retenue

Comment peut-on profiter d'une étude du mouvement des vagues pour produire de l'énergie non-polluante ?

Objectifs du TIPE

1. Etudier les équations de Navier Stokes et essayer de trouver une possible simplification.
2. Simulation numérique des modèles physiques.
3. Mettre en évidence la présence de l'énergie houlomotrice et la possibilité de la convertir en énergie électrique expérimentalement en utilisant un prototype simplifié.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] JEAN-MARC CIEUTAT : Modélisation physiquement réaliste de simulation d'entraînement maritime : <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01707710/document>
- [2] AURÉLIEN BABARIT : Introduction à l'Énergie des vagues : <https://formationemr16.sciencesconf.org/file/266743>
- [3] AURÉLIEN BABARIT, JEAN-MARC ROUSSET, HAKIM MOUSLIM, JUDICAEAL AUBRY, HAMID BEN AHMED, BERNARD MULTON : La récupération de l'énergie de la houle, partie 1 : caractérisation de la ressource et bases de l'hydrodynamique : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00676184/document>
- [4] THOMAS LATERRADE PIERRE METGE BENJAMIN MOREAU ROMAIN ZILAH M. CABALLERO : ETUDE DU PHENOMENE DE PROPAGATION DES ONDES ET CONVERSION DE L'ENERGIE DE LA HOULE EN ENERGIE ELECTRIQUE : https://odpf.org/images/archives_docs/12eme/memoires/gr-17/memoire.pdf
- [5] INSTITUT JEAN LE ROND @'ALEMBERT : Houle et Vagues. "Ecoulements en Milieux Naturels" : <http://www.lmm.jussieu.fr/~lagree/COURS/MFEnv/MFEhoule.pdf>
- [6] NICOLAS JARRY : Etudes expérimentales et numériques de la propagation des vagues au-dessus de bathymétries complexes en milieu côtier : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00644931/file/These_JARRY.pdf
- [7] BRUNO DUCHET YANNICK NABIL-MOREAU DAMIEN VERDAGUER : TPE SUR LA VAGUE : http://laroche.lycee.free.fr/TPE/Vague/TPE_vague.pdf

[8] LOUIS, SIMON ET CLOVIS : Searev: Expérience avec un prototype simplifié : *<http://tpe-energiedelamer.e-monsite.com/pages/souspages/ii-searev-experience-avec-un-prototype-simplifie.html>*

Vague Scélérate du mythe à la réalité

Les vagues scélérates, qui faisaient autrefois partie des mythes du monde marin, préoccupent encore la communauté scientifique. En effet, les dégâts colossaux engendrés par ces vagues constituent un danger imminent pour n'importe quel bateau qui les rencontre. Il est alors nécessaire de les étudier afin d'essayer de prédire leurs apparitions.

La vague scélérate est un phénomène à caractère imprévisible et destructif. Il a été observé dans presque tous les océans du monde et il a causé de nombreux naufrages. Mon étude est alors en corrélation avec le thème car elle met en évidence un phénomène océanique.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Vague scélérate</i>	<i>Rogue Wave</i>
<i>Hauteur significative</i>	<i>Significant Wave Height</i>
<i>Mécanique des fluides</i>	<i>Fluid mechanics</i>
<i>Optique ondulatoire</i>	<i>Wave optics</i>
<i>soliton</i>	<i>soliton</i>

Bibliographie commentée

Le 1er janvier 1995, la vague baptisée de Draupner ou « vague du nouvel an » heurte la plateforme pétrolière Draupner en mer du nord. Cela fut la première fois où on a enregistré l'amplitude d'une vague scélérate dans l'histoire de l'océanographie. Cette vague d'environ 26 m de haut dans une houle environnante de 10 m vient alors contredire le modèle généralement utilisé pour prédire le comportement des vagues. [1,3]

Ainsi, ces vagues qui faisaient autrefois partie du folklore maritime commencent à être sérieusement étudiées. Les scientifiques commencent tout d'abord par définir plus exactement les critères caractérisant ce phénomène extrême en comparant la hauteur crête-creux de la vague scélérate avec deux fois la hauteur significative de l'état de mer, une hauteur définie par la moyenne des combinaisons statistiques à long terme des états de mer. [2]

En observant des zones où l'interaction vent-courant est forte, une théorie émerge : Lavrenov, en 1998, explique l'apparition de ces vagues. [8]

Néanmoins, il s'avère que les lieux d'apparition de ces vagues sont très variés. En effet, elle peut naître au large, aux zones côtières, indépendamment la force des courants ou du vent. Il n'y a donc pas de corrélation directe entre un phénomène météorologique particulier et la formation de ces vagues. Cela nous pousse alors à croire que cette théorie ne décrit pas parfaitement la génération des vagues scélérates.[2]

Les scientifiques ont alors opté pour une autre solution, une équation que l'on trouve à partir des équations de l'hydrodynamique tout à fait classique mais initialement introduite pour des fluides quantiques, il s'agit des équations non linéaires de Schrodinger qui viennent alors décrire l'évolution de ces vagues qui se créent en pompant l'énergie des autres vagues voisines. [4]

Vu l'étendue des océans et le caractère imprévisible de ce phénomène, l'analyse statistique reste très difficile car elle ne permet l'accès qu'à un petit nombre d'entre elles, on peut faire appel alors à une analogie avec les systèmes optiques où on peut observer ce phénomène extrême lors de la propagation des ondes dans une fibre optique, afin d'obtenir une masse de données qui permettra un élargissement des études. [5]

Cette analogie a été établie en 2007 suite aux expériences faites par des chercheurs de l'institut de femto-st qui ont pu montrer l'existence de fluctuations extrêmes qui caractérisent ce phénomène en analysant des statistiques sur les pics d'intensité en optique. [5,6]

Des scientifiques estiment aujourd'hui être en mesure de mieux prévoir ce phénomène méconnu, en effet des chercheurs d'Oxford et d'Edimburgh réussissent à créer en 2018, une vague qui a le profil exact d'une vague scélérate en manipulant, dans un bassin circulaire, des champs de vagues qui se rencontrent selon des angles différents. [7]

Problématique retenue

Comment peut-on caractériser le phénomène de vague scélérate et le modéliser ? Et avec quels modèles physiques?

Objectifs du TIPE

Je me propose de :

- Distinguer les vagues scélérates des autres vagues .
- Etudier un des mécanismes de génération, la focalisation spatio-temporelle.
- Etablir deux modèles qui décrivent ce phénomène : les équations non-linéaire de Schrodinger et les équations de Korteweg De Vries , les comparer afin de déterminer le meilleur modèle.
- Etablir une analogie entre les vagues scélérates et un phénomène extrême en optique non-linéaire par le biais des équations non-linéaire de Schrodinger .

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] LES NOUVELLES DE L'IFREMER N°81 : Vague scélérate : , *le marin du 30 juin 2006*
- [2] MICHEL OLAGNON : VAGUES SCÉLÉRATES : QUELLES PRÉOCCUPATIONS POUR L'INGÉNIEUR ? : *ATMA , 2011 , Ifremer – Centre de Brest – Plouzané (France)*
- [3] WIKIPÉDIA : Vague de Draupner : https://fr.wikipedia.org/wiki/Vague_Draupner
- [4] MICHEL OLAGNON : Vagues scélérates et tsunamis : <http://www.ifremer.fr/web-com/molagnon/divers/pres-ecp12.pdf> , *Journées UPS-ECP 2012*
- [5] JOHN M. DUDLEY, GOËRY GENTY, ARNAUD MUSSOT, AMIN CHABCHOUB, FRÉDÉRIC DIAS : Rogue

waves and analogies in optics and oceanography : *Nature reviews physics* , volume 1 , novembre 2019

[6] CHRISTOPHE FINOT, KAMAL HAMMANI, BERTRAND KIBLER, GUY MILLOT : Du soliton hydrodynamique à la vague scélérate : reproduire optiquement les ondes non-linéaires pour mieux les comprendre et les maîtriser : *Sciences de la matière et Technologies*, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00469896/document>

[7] DRAYCOTT, S, McALLISTER, M, ADCOCK, T, TAYLOR, P & VAN DEN BREMER : Laboratory recreation of the Draupner wave and the role of breaking in crossing seas : *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 860 ,pp. 767-786. DOI: 10.1017/jfm.2018.886

[8] LAVRENOV : The Wave Energy Concentration at the Agulhas Current off South Africa : *Natural Hazards* , 1998, vol. 17, issue 2, 117-127

Reconstruction des différentes propriétés d'une source acoustique à l'aide d'un sonar

Féru d'histoire et plus précisément celle du 20^{ième} siècle, je me suis depuis longtemps intéressé au chapitre sous-marin de la deuxième guerre mondiale. Le sonar a été beaucoup utilisé pendant cette période et ses performances se sont améliorées progressivement.

Mon sujet s'inscrit dans le thème de l'année « Océan » parce que le sonar est utilisé dans ce milieu.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Algèbre).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Méthode des moindres carrés</i>	<i>Method of least squares</i>
<i>Impulsion acoustique</i>	<i>Acoustic pulse</i>
<i>Gradient stochastique</i>	<i>Stochastic gradient descent</i>
<i>Gradient déterministe</i>	<i>Steepest descent</i>
<i>Intelligence artificielle</i>	<i>Artificial intelligence</i>

Bibliographie commentée

Le sonar est un appareil qui permet de détecter et situer les objets dans l'eau grâce à l'utilisation des propriétés de l'onde acoustique. Son invention découle notamment des travaux des français Paul Langevin et Constantin Chilowski pendant la première guerre mondiale. Le sonar a été utilisé en premier lieu pour la détection des obstacles immergés tels que les sous-marins et les icebergs. C'est pendant la deuxième guerre mondiale que cet appareil a été perfectionné et que son utilisation a commencé à couvrir plusieurs domaines : scientifique, civil et militaire. Il permettait par exemple de cartographier les fonds marins [1].

Par ailleurs, les océans ont des effets de déformation sur la propagation des ondes acoustiques: celles-ci subissent notamment une atténuation. En plus, le milieu sous-marin est bruyant. On distingue plusieurs sources de bruits acoustiques correspondants à des gammes de fréquences différentes. On peut citer le bruit du trafic maritime, l'agitation de la surface, les poissons et autres organismes vivants, la pluie ainsi que le bruit thermique [2].

Ainsi, on a intérêt à recourir au filtrage pour extraire le signal utile du signal capté. Ce dernier peut être représenté dans deux domaines : le domaine temporel où on représente le signal en fonction du temps et où on peut appliquer plusieurs algorithmes comme la détection avec un seuil mais aussi le domaine fréquentiel. Dans ce dernier cas, on applique une transformation de Fourier pour obtenir le spectre du signal et il est plus facile de supprimer les fréquences indésirables. Un des filtrages les plus utilisés est le filtrage adaptatif. Il a montré son efficacité dans le traitement des signaux. Il

s'agit d'un filtre numérique dont les coefficients se modifient eux-mêmes en fonction des signaux extérieurs. Il est utilisé pour supprimer des perturbations situées dans le domaine des fréquences du signal utile, ce que les filtres classiques ne peuvent pas faire. On distingue le filtre de Wiener qui a été proposé par Norbert Wiener dans les années 1940. On distingue également la méthode des moindres carrés qui a été introduite par Widrow et Hoff en 1959 et qui est très utilisée dans les applications techniques et industrielles, en raison de sa simplicité et sa robustesse face aux erreurs de calcul. On peut aussi citer d'autres algorithmes du filtrage adaptatif comme l'algorithme des moindres carrés récursif, l'algorithme du gradient stochastique et l'algorithme du gradient déterministe [3],[4].

Par ailleurs, l'intelligence artificielle a montré son efficacité dans la résolution de plusieurs problèmes compliqués comme la reconnaissance d'images ou de voix. Cette discipline propose plusieurs algorithmes d'optimisation différentiable tels que les algorithmes du gradient permettant ainsi de filtrer le signal capté issu de la source.[5]

Problématique retenue

Comment le sonar se sert-il du filtrage adaptatif pour extraire le signal informatif du signal capté ?

Objectifs du TIPE

Je me propose de :

- Manipuler les algorithmes sur lesquels se base le filtrage adaptatif tels que l'algorithme des moindres carrés.
- Comparer ces différents algorithmes et leurs performances.
- Appliquer ces algorithmes sur des données simulées et des données réelles.
- Essayer de quantifier l'application des méthodes issues de l'intelligence artificielle dans le processus de reconstruction.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] DAVID I. ROSS : Sonar : <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/fr/article/sonar>
- [2] XAVIER LURTON : Acoustique sous-marine :
<https://archimer.ifremer.fr/doc/00017/12790/9731.pdf> pages 48-49
- [3] J.-F. BERCHER ET P. JARDIN : Introduction au filtrage adaptatif :
https://perso.esiee.fr/~bercherj/New/polys/FILT_ADA_jfb.pdf
- [4] SIMON HAYKIN : Adaptive Filter : <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/adaptive-filter>
- [5] JASON BROWNELEE : Gradient Descent For Machine Learning :
<https://machinelearningmastery.com/gradient-descent-for-machine-learning/>

Étude de la propagation des ondes acoustiques

J'ai été marqué par le film "U-571" retraçant le rôle décisif joué par les sonars dans l'issue de la deuxième guerre mondiale, ainsi que ses innombrables applications scientifiques. J'ai décidé alors de comprendre ce détecteur et la physique sous-jacente.

Les sonars sont très répandus dans le domaine de la navigation maritime et les marines de guerre. Mon travail consiste à étudier l'acoustique sous-marine qui continue à jouer un rôle très important en tant qu'une technologie essentielle permettant le repérage, la localisation et l'identification d'objets immergés dans les océans.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Analyse).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Acoustique sous-marine</i>	<i>Underwater acoustics</i>
<i>Ondes acoustiques</i>	<i>Acoustic waves</i>
<i>Équation de Helmholtz</i>	<i>Helmholtz equation</i>
<i>Impulsion</i>	<i>Pulse</i>
<i>Célérité du son</i>	<i>Speed of sound</i>

Bibliographie commentée

En 1490, le polymathe italien Léonard de Vinci a eu l'idée de détecter les bateaux en utilisant un tube inséré dans l'eau [1].

Cela a poussé plusieurs ingénieurs à s'approfondir dans l'étude de cette technique jusqu'à développer un appareil permettant de détecter et situer les objets sous l'eau en indiquant leur direction et leur distance, c'est le sonar (SOund NAvigation Ranging). Parmi eux, le célèbre physicien français Paul Langevin qui, en 1915, met au point un modèle qui fut le premier à pouvoir déterminer la distance et la direction d'un sous-marin en utilisant les propriétés piézoélectriques du quartz [2].

On trouve deux types de technologies partageant le nom sonar, le sonar passif et le sonar actif [3].

Le principe de fonctionnement des sonars est basé sur la propagation des ondes acoustiques dans l'eau de mer. Ces ondes sont des vibrations mécaniques causant un changement de densité du milieu et un déplacement local de la masse de celle-ci. Ce déplacement a pour conséquence de conduire à la formation de forces qui créent un mouvement visant à ramener la densité à l'état d'équilibre. Les ondes électromagnétiques ne peuvent pas être utilisées pour étudier cette propagation. Cela est dû au fait que la salinité de l'océan atténue fortement ces ondes [4].

Plusieurs facteurs physiques influent radicalement sur le son et sa propagation dans l'océan. En effet, la célérité des ondes acoustiques dans l'eau, dépend de la température, la pression et la salinité [5,6]. L'équation simplifiée de Mackenzie, nécessitant des données collectées pendant une

série d'expériences, permet de mettre en relief cette dépendance [6].

La propagation des ondes acoustiques en milieu homogène est décrite par l'équation de Helmholtz. Dans le cas où la densité varie spatialement, il est primordial d'utiliser une équation d'onde légèrement différente. Cette équation, qui est beaucoup utilisée en acoustique sous-marine, a été développée pour la première fois par Bergmann en 1946 [5].

En acoustique, l'image des rayons a évolué comme étant une approximation mathématique de la théorie des ondes. En acoustique sous-marine, dans laquelle le milieu est inhomogène et délimité par des interfaces compliquées, la théorie des rayons s'est avérée être un outil indispensable pour comprendre et étudier la propagation du son. Un exemple d'application de cette théorie est le canal SOFAR qui se conduit comme un guide d'ondes et permet de propager les ondes acoustiques basses fréquences sur des milliers de kilomètres avant de s'atténuer [7].

De nos jours, l'acoustique sous-marine à vocation civile est un secteur d'activité industrielle et scientifique en phase de croissance. Assurément, on peut évoquer plusieurs applications civiles dans ce domaine tel que les sondeurs bathymétriques, les sondeurs multifaisceaux de cartographie, les systèmes à effet Doppler permettant de mesurer la vitesse d'un objet mobile dans l'eau [1].

Problématique retenue

Comment se propagent les ondes acoustiques dans les océans? Quel effet a la variation de densité du milieu? Comment peut-on caractériser la vitesse du son dans les profondeurs sous-marines? Comment une impulsion générée par un sonar permet de localiser une cible sous l'eau?

Objectifs du TIPE

Je me propose :

- de caractériser la variation de la célérité du son en fonction de la température, de la pression et de la profondeur.
- de résoudre les équations aux dérivées partielles obtenues afin d'aboutir à une modélisation numérique des équations de Helmholtz et Bergmann.
- d'étudier une impulsion générée par un sonar.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] XAVIER LURTON : Acoustique sous-marine (Présentation et applications) : *Pages (15,18)*
- [2] WIKIPEDIA : Sonar : <https://en.wikipedia.org/wiki/Sonar>
- [3] WILLIAM A. KUPERMAN, JAMES F. LYNCH : Shallow-Water Acoustics : <https://pdfs.semanticscholar.org/192f/7f5edc6cc92b556fef74a92f8967e4b7ac3d.pdf>
- [4] JENS M. HOVEM : Underwater acoustics: Propagation, devices and systems : https://www.researchgate.net/publication/225630477_Underwater_acoustics_Propagation_devices_and_systems
- [5] LAURENT DALLOIS : Propagation des ondes acoustiques dans les milieux de mouvement: extension grande angle de l'approximation parabolique : https://acoustique.ec-lyon.fr/publi/dallois_thesis.pdf
- [6] BRIAN D. DUSHAW, HANNE SAGEN ET AGNIESZKA BESZCZYNSKA-MÖLLER : Sound speed as a proxy variable to temperature in Fram Strait : <https://asa.scitation.org/doi/full/10.1121/1.4959000>

[7] ALEXIS MOURS : Localisation de cible en sonar actif : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01456797v2/document>

Effet de l'augmentation de la température sur l'absorption du CO₂ par les océans.

Choqué par les incendies qui ont ravagé l'Australie en janvier dernier, j'ai décidé d'étudier l'effet de l'augmentation de la température sur l'absorption du CO₂ par les océans, en effet les émissions anthropiques de ce gaz constituent une menace dont il faut prendre la pleine mesure.

Mon étude a pour but de visualiser les données de la température de l'océan en fonction du temps et de l'espace et de comprendre le processus d'échange du CO₂ entre l'atmosphère et l'océan. A cet égard, mon travail est en relation avec le thème de l'année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique), CHIMIE (Chimie Analytique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Absorption du CO₂</i>	<i>CO₂ absorption</i>
<i>Augmentation de la température</i>	<i>Temperature increase</i>
<i>Acidification des océans</i>	<i>Ocean acidification</i>
<i>Série temporelle</i>	<i>Time series</i>
<i>Effet de serre</i>	<i>Greenhouse effect</i>

Bibliographie commentée

Il convient tout d'abord de dire que l'effet de serre est un processus naturel et nécessaire, en effet les composés chimiques minoritaires dans l'atmosphère ont un impact fondamental sur la propriété, du fait de leur structure moléculaire, d'absorber une partie du rayonnement infrarouge terrestre. Ces gaz dits, à effet de serre, sont naturellement présents dans l'atmosphère (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, méthane ...). L'énergie qu'ils captent est ensuite renvoyée dans toutes les directions, à la fois vers l'espace mais aussi vers la surface et vers les différentes couches de l'atmosphère. C'est l'effet de serre naturel qui permet d'avoir une température de surface moyenne de 15 degrés au lieu de -18 degrés si l'atmosphère était transparente au rayonnement terrestre.[1] En conséquence, toute modification de ce bilan d'énergie peut être à l'origine d'une modification du climat.

Le principal gaz à effet de serre est d'ailleurs la vapeur d'eau, mais sa concentration est régulée par les précipitations mais ce n'est pas le cas du dioxyde de carbone, de plus, vu l'augmentation exponentielle de sa concentration depuis la révolution industrielle, on craint une modification de la composition chimique de l'atmosphère à l'échelle de la terre toute entière.[2]

Or naturellement, l'océan absorbe du CO₂ atmosphérique, cependant cette absorption est favorable en basse température, et par suite, vu le réchauffement global, la température des océans va

augmenter, ainsi ces derniers pourront absorber moins de CO₂, celui-ci va s'accumuler dans l'atmosphère et donc accentuer le réchauffement de la planète.[3]

On décrit les données de températures océaniques en se servant de l'étude des séries temporelles[5]. On récupère des bases de données contenant l'évolution de la température en fonction du temps sous différentes échelles (annuelle, mensuelle, journalière) et en fonction de la position géographique (pôle, équateur)[4].

Pour analyser et comprendre ces données, on applique des algorithmes de nettoyage (analyse par composante principale qui fait appel à l'algèbre linéaire). On applique aussi quelques algorithmes de prédiction (régression linéaire, régression multi-linéaire) et des algorithmes de prédiction avec une série temporelle (ARMA, ARIMA, SARIMA...) afin de prédire l'influence des émissions anthropiques sur les échanges du dioxyde de carbone entre l'océan et l'atmosphère.[6].

Les transferts de gaz entre l'océan et l'atmosphère comportent différents aspects: un aspect thermodynamique avec les différences de pression partielle du CO₂ entre l'océan et l'atmosphère, un aspect cinétique avec les transferts de gaz à l'interface océan-atmosphère, et un aspect dynamique avec le renouvellement de l'eau de surface et son transfert en profondeur.[7] On s'intéresse essentiellement à l'aspect thermodynamique.

Des échanges de CO₂ gazeux ont lieu en permanence entre l'atmosphère et l'océan et sont gouvernés par la loi de Henry, définissant le coefficient de solubilité du CO₂ dans l'eau de mer. Ces échanges sont dirigés par la différence de pression partielle en CO₂ (pCO₂) entre l'atmosphère et l'océan.

L'augmentation actuelle de la pCO₂ atmosphérique est à l'origine de modifications physiques (et biogéochimiques) majeures au sein des océans. Ces émissions sont susceptibles d'avoir des répercussions aussi sur le pH des océans, en effet l'augmentation de la concentration en ion hydronium induite par la quantité croissante de CO₂ diffusant dans les océans est responsable d'une diminution du pH de l'eau, appelée acidification des océans.

Problématique retenue

Comment le dioxyde de carbone est-il absorbé par l'océan?

Existe-t-il un algorithme permettant de prédire l'évolution de la température?

Objectifs du TIPE

-Collection des données liées à l'évolution de la température de l'océan en fonction du temps d'une part et en fonction de la position géographique d'une autre part.

-Analyse et compréhension de ces données.

-Application des modèles prédictifs.

-Etude de l'effet de la température sur le mécanisme d'absorption du CO₂.

-Etude de l'effet de la température sur l'acidification des océans.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] JEAN LOUS DUFRESNE : Mémoire: L'effet de serre: sa découverte, son analyse par des puissances nettes échangées et les effets de ses variations récentes et futures sur le climat
- [2] <https://www.kaggle.com/nayansolanki2411/global-warming-eda/code>
- [3] <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/observations-atmosphere-and-surface/>
- [4] <https://data.world/datasets/global-warming>
- [5] JULIEN JACQUES : INTRODUCTION AUX SÉRIES TEMPORELLES
- [6] LOLA CORRE : Evolution récente des Océans Tropicaux : le rôle de l'influence humaine
- [7] ROY BARMAN : Chapitre 7: Les échanges de CO₂ entre l'océan et l'atmosphère

Détection des nappes de pétrole dans l'océan par ondes électromagnétiques: pollution de l'ERICA

L'océan est l'objet de divers pollutions en provenance des activités humaines qui s'exercent à sa surface. C'est le cas de l'ERICA qui a causé selon un documentaire que j'ai regardé des mauvaises conséquences environnementales. D'où la nécessité de détecter les nappes de pétrole pour la prévention de telles calamités.

L'intérêt de mon Tpe sera donc de distinguer entre une surface océanique propre et une autre polluée par une nappe de pétrole ce qui est en accord avec le thème "océan".

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Analyse).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
Diffusionn électromagnétique	Electromagnetic scattering
Surfaces rugueuses	Rough surfaces
Réflexion électromagnétique	Electromagnetic reflection
Approximation de Kirchhoff	Kirchhoff approximation
Approximation de l'optique géométrique	Geometric optics approximation

Bibliographie commentée

De nos jours, on entend beaucoup sur les pollutions du pétrole sur la surface de la mer et ses impacts sur la faune et la flore.

Face à ce problème, certains pays ont intégré une surveillance de ces pollutions avec des différentes méthodes classiques basées principalement sur les jumelles, les hélicoptères, les photographies aériennes... et des méthodes plus développées comme le SAR (Synthétique Aperture Radar).

La grande surface des océans qui recouvrent environ 361 millions de kilomètres carrés rend les résultats obtenus relativement imprécis de sorte que la présence d'une anomalie ne permet pas toujours de distinguer, avec ces techniques, s'il s'agit d'une nappe de pétrole ou d'un autre phénomène (autres déchets, des zones protégées du vent, ...) vis la performance limitée des radars actuels.

La modélisation électromagnétique du comportement de la surface de l'océan permettrait donc d'apporter un complément à l'observation pour distinguer entre les surfaces océaniques propres et celles contaminées. Ainsi, on voit l'importance d'étudier une nappe de pétrole dans une surface océanique calme c'est-à-dire une interface plane qui donne lieu à un phénomène de réflexion d'où l'utilisation des coefficients de Fresnel [1] qui caractérisent un tel comportement entre deux milieux semi-infinis. Ces interfaces naturelles ont la particularité d'être rugueuses[2] ce qui impose une formulation du problème considérant l'ensemble des déphasages élémentaires que subit l'onde

électromagnétique lorsque celle-ci est réfléchi sur la surface. Et dans ce contexte, il existe des modèles électromagnétique de diffusion sur des surfaces rugueuses comme celle de la mer. L'une des approches c'est la méthode de Kirchhoff [3](approximation de l'optique physique) qui considère que la surface rugueuse présente localement une surface plane et l'approximation de l'optique géométrique [4] qui est une limite de l'approximation de l'optique physique . Ces méthodes offrent une rapidité par rapport aux modèles numériques rigoureux [5]qui nécessitent une grande durée de calcul et un grand espace mémoire mais qui peuvent être utilisés comme une référence pour valider les méthodes rapides.

Problématique retenue

La grande surface de l'océan rend la détection des nappes de pétrole très difficile, c'est pour cela qu'on va utiliser les ondes électromagnétique.

Peut-on détecter d'une manière efficace une tâche de pétrole à la surface de l'océan?

Objectifs du TIPE

Je me propose de distinguer une surface océanique propre et celle-ci polluée du pétrole. pour ce faire:

Je commencerai par une analyse à basse fréquence, à haute fréquence puis des théories unifiées.

Ensuite, en dissociant le cas d'une surface océanique propre et celle contaminée, je modéliserai le phénomène de diffusion.

Enfin, je résoudrai ce modèle avec une approche analytique en utilisant un code python.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] J.OGILVY : Theory of wave scattering from random surfaces : *Institute of Physics Publishing 1991*

[2] P.-F.COMBES : Micro-ondes- Cours et exercices avec solutions: Tome 1 : *Lignes, guides et cavité. Dunod, 1996*

[3] WIKIPÉDIA : Théorie de Kirchhoff :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Th%C3%A9orie_de_Kirchhoff

[4] AYMERIC MAINVIS : Modélisation et mesure de l'interaction d'une onde électromagnétique avec une surface océanique. Application à la détection et à la caractérisation radar de films d'hydrocarbures : *Thèse de doctorat, Institut Supérieur de l'Aéronautique et de l'Espace, Toulouse, 5 décembre 2018*

[5] N.DÉCHAMPS : Méthodes numériques appliquées au calcul de la diffusion d'une onde électromagnétique par des interfaces naturelles monodimensionnelles : *Thèse de doctorat, Université de Nantes, Nantes, France, Décembre 2014*

Dynamique des populations d'animaux marins: Le modèle proies-prédateurs

Les organismes marins représentent la principale ressource exploitée par l'homme dans les océans. Pour cela il est important d'étudier la dynamique des populations d'animaux marins, afin d'assurer la bonne exploitation de ce milieu aquatique. C'est-à-dire pouvoir pêcher le plus possible tout en évitant la surexploitation.

Recouvrant plus de 70% de la terre, les océans constituent le plus grand espace de vie de la planète. Donc l'océan est une vaste faune marine où interagissent prédateurs et proies pour leur survie. D'où la cohérence entre mon sujet et le thème de cette année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Analyse).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>dynamique des populations</i>	<i>population dynamics</i>
<i>modèle prédateur-proie</i>	<i>predator-prey model</i>
<i>systèmes dynamiques</i>	<i>dynamic systems</i>
<i>systèmes différentiels</i>	<i>differential systems</i>

Bibliographie commentée

Les hommes ont toujours prélevé dans la nature les ressources naturelles pour leurs besoins quotidiens, surtout à la suite de l'avènement de l'industrialisation et de la société de grande consommation, qui a fait évoluer ces activités vers une destruction massive de la nature et le gaspillage des ressources naturelles. La situation du milieu marin et plus précisément l'exploitation des ressources marines est particulièrement préoccupante car l'immensité des océans et les difficultés liées à leur connaissance ont longtemps été un argument contre leur protection. Aujourd'hui, les conséquences de cette exploitation anarchique sont dramatiques : les populations d'animaux marins se trouve divisés par deux entre 1970 et 2012 [1,2].

D'où, la nécessité d'organiser les activités de pêches et de savoir le bon moment et le bon endroit pour qu'on puisse pêcher. C'est là où rentre la dynamique des populations, en particulier les équations de Lotka-Volterra qui étudie les interactions entre prédateurs et parois, développé par Alfred James Lotka (mathématicien, staticien américain) en 1925 et Vito Volterra (mathématicien, physicien italien) en 1926 et couramment appelé le modèle proie-prédateur. Le modèle de Lotka-Volterra se présente comme un couple d'équations différentielles non-linéaires pouvant décrire l'évolution en « prédateurs » et « proies » au cours du temps avec des données telles que le taux de reproduction intrinsèque des proies, le taux de reproduction des prédateurs en fonction des proies, le taux de mortalité des proies due aux prédateurs, le taux de mortalité intrinsèque des prédateurs,

ainsi que de la disposition spatiale des individus [3,4].

Dans ce modèle, le nombre de prédateurs augmente lorsque les proies sont profuses, mais finit par régresser lorsque les ressources (en proies) déclinent. Lorsque la population de prédateur a diminué, les proies, moins traquées, ont dû répit et leur population augmente de nouveau. Cette dynamique se poursuit incessamment en un cycle de croissance et de déclin. Une modélisation des deux graphes dans un champ de vecteurs pour des solutions particulières donne deux courbes fermées de forme ovoïde parcourues dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et les graphes des deux composantes des équations différentielles sont d'une dynamique périodique d'oscillations auto-entretenues, avec le graphe "prédateur" en retard d'environ 90° c'est à dire un quart de période sur celui «proie» [5,6].

L'étude de ce couple d'équations différentielles de Lotka-Volterra dans un laps de temps sensiblement réduit donne des résultats approximativement égaux aux observations faites en pratique. Mais l'absence de contraintes telles que l'influence du milieu extérieur sur les acteurs prédateurs proies, les limites en densité d'acteurs, les compétitions pour la nourriture ou diverses autres formes de compétitions, rendent ce modèle peu valable pour des temps très grands. Dans ces conditions les modèles tels que celui de Rosenzweig-MacArthur (1963) sont plus précis puisqu'ils modifient celui de Lotka-Volterra en y ajoutant d'autres contraintes diverses [5,6]

Problématique retenue

En fonction du domaine considéré et de la précision escomptée des résultats, certains modèles d'étude conviennent plus que d'autres. Dans le cas des milieux animaux, dans un laps de temps contrôlé, abordons le modèle de Lotka-Volterra quitte à étudier un cas pratique, pour voir sa congruence.

Objectifs du TIPE

J'aborderai : (i) une étude plus ou moins complète du modèle de prédation de Lotka-Volterra (avec une approche mathématique puis informatique pratique), ensuite (ii) une simulation informatique d'une interaction du type prédateur-proie après modélisation par implémentation Python, en utilisant préférentiellement le modèle de Rosenzweig-MacArthur

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] DJAKARIJA FOFANA : L'exploitation des ressources marines et la protection de l'environnement : https://www.memoireonline.com/12/08/1692/m_lexploitation-des-ressources-marines-et-la-protection-de-lenvironnement0.html
- [2] FRANCEINFO : Les populations d'animaux marins divisés par deux depuis 1970 : https://www.francetvinfo.fr/monde/environnement/les-populations-d-animaux-marins-divisees-par-deux-depuis-1970_1708309.html
- [3] Le modèle proies-prédateurs de Lotka-Volterra : <https://math.unice.fr/~diener/MAB07/LotVolt.pdf>
- [4] NICOLAS KIELBASIEWICZ : Le modèle de compétition-diffusion de Lotka-Volterra : <https://perso.ensta-paris.fr/~kielbasi/docs/SIM202/projets/reaction-diffusion.pdf>
- [5] MICKAEL TEIXEIRA ALVES : Des interactions indirectes entre les proies : modélisation et influence

du comportement du prédateur commun : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00833242/PDF/2013NICE4024.pdf>

[6] JEAN-RENÉ CHAZOTTES , MARC MONTICELLI : Sur les modèles proie-prédateur en écologie : <http://www.espace-turing.fr/Sur-les-modeles-proie-predateur-en.html?artpage=4-6>

Extraction d'un signal informatif à l'écoute de l'océan

Un article publié récemment sur l'usine nouvelle explique comment, par le biais de la tomographie, le satellite Biomass a pu réaliser des cartes 3D des forêts afin de lutter contre la déforestation. La lecture de l'article a suscité en moi l'intérêt pour la tomographie appliquée spécifiquement au domaine océanique.

Le sujet de mon étude porte sur le traitement de données océaniques collectées par des sonars submergés et relève donc du thème de cette année « Océan »

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique), SCIENCES INDUSTRIELLES (Traitement du Signal).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Sonar</i>	<i>Sonar</i>
<i>Codage de prédiction linéaire</i>	<i>Linear Predicting Coding (LPC)</i>
<i>réduction du bruit</i>	<i>Noise reduction</i>
<i>Transformée de fourier</i>	<i>Fourier transform</i>
<i>Équation de propagation</i>	<i>Propagation equation</i>

Bibliographie commentée

L'océan, vu son étendue et sa profondeur, reste l'un des milieux les plus obscurs et mystérieux pour la connaissance humaine. L'homme a toujours essayé de percer ses mystères et c'est de cet intérêt qu'a émergé le domaine de l'acoustique sous marine menant à plusieurs innovations qui sont en fait résultats de recherches entretenues depuis très longtemps. En effet, ces expériences datent de 1822, quand le physicien suisse Daniel Colloden a utilisé une cloche sous-marine afin de mesurer la célérité du son sous l'eau, expérience faite dans le Lac de Genève. Ceci fut une source de motivation pour Lewis Nixon qui a développé en 1906 le premier sonar (sound navigation and ranging) comme système d'écoute sous-marin pour la détection des icebergs ainsi que pour Paul Langevin, le célèbre physicien français qui, basé sur les propriétés piézoélectriques du quartz invente le premier sonar pour la détection des sous-marins en 1915 [3].

Le sonar jouant le rôle d'un émetteur-récepteur dans le cas d'un sonar actif dispose d'un système d'émission de grande puissance. Il émet par l'intermédiaire de l'un de ses transducteurs une onde acoustique qui se propage dans l'océan et qui, une fois réfléchi par une cible sera reçue par l'antenne de la partie réceptrice [2].

Ce mode de fonctionnement étant très similaire à celui du radar dans le domaine aérien laisse penser qu'il serait préférable d'utiliser les ondes électromagnétiques afin d'avoir les mêmes observations. Cependant le caractère dissipatif de l'eau salée de l'océan et sa forte conductivité laissent difficile, voire impossible, la propagation des ondes électromagnétiques en hautes fréquences

en induisant une forte atténuation de celles-ci [1] laissant perdre leurs énergies notamment par effet joule. Quant aux basses fréquences, la propagation est autorisée sur des distances significatives mais au prix d'une puissance d'émission considérable. C'est de ce fait que les ondes acoustiques ayant la capacité de se propager sur des grandes distances dans l'océan [4] constituent une solution pratique avec l'utilisation des sonars.

On détecte de nombreuses sources émettrices d'ondes acoustiques dans l'océan provenant de sources biologiques comme les cétacés qui, produisent des émissions sonores dans une très large bande de fréquence s'étalant de 10KHz jusqu'à 150 KHz. Les baleines à fanons communiquent entre elles à basses fréquences. Les cétacés à dents (dauphins...) utilisent des fréquences jusqu'à 150 KHz pour leur système de l'écholocation afin de repérer les fonds et les proies [6]. Il existe aussi des sources artificielles créées par l'homme qui produisent des sons très variables en intensités et en fréquences comme les sous-marins nucléaires, les bateaux militaires d'exploration, la prospection pétrolière offshore. Ces sources relèvent une vraie catastrophe pour la faune marine car elles perturbent leur communication et sont donc responsables dans l'échouage massif de cétacés vivants chaque année [7].

Toutes ces émissions provenant de diverses sources sous-marines subissent des réflexions multiples dues aux roches, aux fonds marins, aux mines et perturbent donc leur propagation en leur superposant du bruit ambiant de l'océan [2]. C'est pourquoi il est indispensable de développer des techniques d'analyse de signal basées sur des approches mathématiques afin de traiter le signal reçu par le sonar actif mélangé avec ces sources de bruit afin d'en tirer les informations nécessaires. Comme exemple de ces méthodes on peut citer le filtrage adaptatif qui, appliqué sur des signaux bruités, permet d'obtenir l'information utile [8]. On peut citer aussi la méthode de détection avec le seuil qui consiste à déterminer l'erreur ou l'écart type dans les bandes latérales puis déclencher sur le maximum du signal quand il dépasse une valeur bien déterminée d'écart type.

Problématique retenue

La vastitude de l'océan, étant néanmoins un milieu favorable à la propagation des ondes acoustiques met en question la précision des résultats qui y sont réalisées. La question naturelle émanant de cette réflexion est donc : Comment est-il possible d'améliorer les connaissances sur l'océan profond ?

Objectifs du TIPE

1. Je me proposerai en premier lieu d'étudier brièvement la propagation des ondes acoustiques dans les océans afin de pouvoir mettre en évidence la dépendance de la célérité de ces ondes des différents paramètres d'états de ce milieu
2. Je procèderai ensuite à une analyse des signaux reçus par un sonar dans le but de réduire le bruit et arriver à un estimé du signal pur en utilisant d'une part des algorithmes de débruitage implémentés en langage Python et d'autre part par une approche mathématique basée sur la méthode de Codage de prédiction linéaire (LPC)

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] JEAN-YVES BRUXELLES : Thèse de l'université des sciences et technologies de Lille, Analyse de la Propagation Électromagnétique en Milieu Marin & Méthode de Localisation Spatiale d'une Source Dipolaire (1995) : *page 19*
- [2] XAVIER LURTAN : Acoustique sous-marine, Présentation et applications : *pages 12,13*
- [3] BELLIS, MARY : The History of Sonar, ThoughtCo, Jan. 29, 2020 : *thoughtco.com/the-history-of-sonar-1992436*
- [4] SHOM : Acoustique sous marine : *<https://www.shom.fr/fr/nos-domaines-dexpertise/acoustique-sous-marine>*
- [5] SANDRA VALCARES : De la mesure des champs électriques par l'expérience Codalema aux caractéristiques des rayons cosmiques : *page 57*
- [6] SEA EXPLORER PAR L'ASSOCIATION TERRE MARINE : Communication des cétacés : *<https://terre-marine.org/communication-des-cetaces/>*
- [7] SCIENCES ET AVENIR : Face aux sonars militaires, les baleines peuvent souffrir de maladie de décompression : *https://www.sciencesetavenir.fr/animaux/animaux-marins/les-sonars-militaires-un-danger-pour-les-baleines_131139*
- [8] GROUPE ESIEE PARIS, J.-F. BERCHER & P. JARDIN : Introduction au filtrage adaptatif

ELECTROSENSIBILITE DU REQUIN-MARTEAU

Les requins marteaux utilisent le champ électrique pour repérer leurs proies. Fasciné par ce mode de prédation, j'ai décidé d'étudier ce sixième sens du requin-marteau.

Le sujet s'inscrit bien dans le thème de cette année car les requins-marteaux sont exclusivement retrouvés en milieu océanique.

Une demande de confidentialité a été enregistrée pour ce MCOT.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Champ électrique</i>	<i>Electric field</i>
<i>Ampoules de Lorenzini</i>	<i>Ampullae of Lorenzini</i>
<i>Champ magnétique</i>	<i>Magnetic field</i>
<i>électrosensibilité</i>	<i>Electrosensitivity</i>
<i>Requin-marteau</i>	<i>Hammerhead shark</i>

Bibliographie commentée

L'océan est un milieu vaste contenant plusieurs espèces vivantes. Le problème en océan est que l'eau est salée. La salinité de l'eau implique des pertes par rapport à la propagation des ondes électromagnétiques. En effet les ondes ne se propagent pas sur des grandes distances en profondeur [4]. Mis à part les quelques centaines de kilomètres en dessous de la surface océanique où la lumière du soleil parvient, les profondeurs sidérales de l'océan sont souvent obscures. Des biologistes ont montré l'existence de requins dans ces profondeurs qui arrivent à se déplacer, se nourrir ou pour déterminer les obstacles, non pas par le sens de la vue mais plutôt par des capteurs électromagnétiques [1].

Les expériences du docteur Meyer ont permis de montrer ces capteurs électriques du requin [2]. Afin de prouver cela, il réalise plusieurs fois une expérience avec différents requins. On place des électrodes dans une région aquatique fermée. Le prédateur testé est préalablement à jeun afin que le facteur de la faim ne fausse pas l'expérience. Le docteur enregistre le nombre de passages dans la zone contenant les électrodes. On récupère une fréquence d'un à deux passages par minutes en absence de stimulus. Lorsqu'on émet une tension entre les électrodes, les battements de la queue du requin s'accroissent et il se dirige vers la zone excitée. Dans ce cas, on enregistre une fréquence de quatorze à quinze passages par minute. Les requins sont donc réellement sensibles au champ électrique.

Cependant, l'expérience ne montre pas que c'est la déformation du champ magnétique qui attire le requin [3]. Certains pensent que c'est un bruit de fond ou la nature des électrodes qui pousserait le

requin à réagir.

Pour confirmer l'hypothèse d'une faculté électrique des requins, le docteur Kalmijn reprend les travaux du docteur Meyer. Seulement cette fois-ci les requins sont équipés d'aimant dans leurs cavité nasale afin de brouiller leur sensibilité au champ électrique [3]. On remarque que le nombre de passages dans la zone excitée n'augmente plus pendant la phase de stimulation. Le requin n'est donc plus sensible aux perturbations électriques.

Les requins sont pourvus d'un système de détection appelé les ampoules de Lorenzini [1]. Ces organes sont constitués de cellules électro-réceptrices qui sont reliées à des pores autour de la zone naso-olfactuelle du requin par des tubes remplis d'une gelée conductrice. Ces ampoules se comportent comme des capteurs d'intensités basses fréquences qui vont permettre au requin de se faire une image sur son milieu.

Problématique retenue

Comment les requins-marteaux réussissent-ils à repérer leurs proies à partir des perturbations électriques ?

Objectifs du TIPE

1. Modéliser le circuit électrique correspondant aux ampoules de Lorenzini et étudier sa réponse face à un stimulus électrique
2. Prévoir la trajectoire du requin

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] EDWARD S. HODGSON, ROBERT F. MATHEWSON : Sensory Biology of Sharks, Skates, and Rays : *Arlington, Va*
- [2] CARL G MEYER, KIM N HOLLAND, YANNIS P PAPASTAMATIOU : Sharks can detect changes in the geomagnetic field : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16849172>
- [3] JAMES M. ANDERSON, TAMRYNN M. CLEGG, LUISA V.M.V.Q. VERAS, KIM N. HOLLAND : Insight into shark magnetic field perception from empirical observations : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5591188/#Equ5>
- [4] JEAN-YVES BRUXELLE : Analyse de la propagation électromagnétique en milieu marin & Méthode de localisation spatiale d'une source dipolaire : <https://ori-nuxeo.univ-lille1.fr/nuxeo/site/esupversions/2fddc52c-6523-4407-8232-2d2f92e71b3a>

Optimisation de la conversion de l'énergie houlomotrice par un houlogénérateur pendulaire

Durant le dernier siècle, la population mondiale a quadruplé et la consommation énergétique mondiale a été multipliée par vingt impliquant l'épuisement des ressources fossiles polluantes. Le recours aux énergies renouvelables devient inévitable. Conscient par ce fait, j'ai décidé de me pencher sur un système de récupération de l'énergie des vagues.

Mon TIPE consiste alors à optimiser la conversion énergétique d'un houlogénérateur pendulaire qui est l'un des systèmes récupérateurs de l'énergie de la houle qui se produit dans les océans. Il est donc en adéquation avec le thème de l'année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Fluide</i>	<i>Fluid</i>
<i>La houle</i>	<i>Swell</i>
<i>Pendule</i>	<i>Pendulum</i>
<i>Résolution numérique</i>	<i>numerical resolution</i>
<i>Optimisation</i>	<i>Optimization</i>

Bibliographie commentée

Le principe de la récupération de l'énergie de la houle est une idée ancienne. Les frères Girard étaient les premiers à proposer un brevet illustrant ce principe en 1799. Plus récemment, plusieurs études et recherches ont été menées sur des systèmes pour récupérer cette énergie : les houlogénérateurs [1]. En effet, le recours à l'énergie de la houle est justifié pour diverses raisons. L'un des avantages de cette énergie est sa disponibilité quasi-permanente, ce qui n'est pas le cas pour l'énergie éolienne. Notons aussi que la forte augmentation de la population mondiale dans les années à venir nécessitera une meilleure gestion de la surface libre habitable. Or l'exploitation de l'énergie houlomotrice permet de s'affranchir de cette contrainte puisque les installations houlogénératrices sont implémentées dans la mer et l'océan [2].

Pour pouvoir étudier les houlogénérateurs, il est inévitable d'appréhender le phénomène de la houle, source d'excitation de ces systèmes. En effet, les vagues sont créées localement par le vent. La houle se propage en dehors de la zone où le vent lui a donné naissance avec des oscillations relativement lentes, typiquement de 10 secondes, avec une grande longueur d'onde (150 m) et une vitesse de propagation d'environ 14 m/s [3]. Afin de modéliser la houle, les équations de Navier-Stokes s'imposent dans le cadre de la mécanique des fluides. La résolution de ces équations étant complexe, les physiciens optent pour des approximations afin de simplifier la compréhension du phénomène

physique et d'établir analytiquement des formules des propriétés caractéristiques de ces ondes gravitationnelles. [4][5]

Par ailleurs, des centres de recherche compétents en la matière mènent des analyses sur les données recueillies expérimentalement afin de les confronter aux précédentes modélisations théoriques [6]. Ces analyses font recours aux outils de traitement du signal et notamment la transformation de Fourier discrète (TFD) pour effectuer l'analyse spectrale des ondes de la houle [7].

L'étude de la réponse mécanique d'un houlogénérateur pendulaire, excité par la houle, fait appel à une modélisation par les équations du mouvement. La résolution de ces équations permet donc d'établir un modèle de ce convertisseur mécanique et de déterminer la puissance récupérable par ce système.

Enfin, comme son nom l'indique, l'houllogénérateur a pour objectif la création de l'énergie électrique. Cette énergie est générée grâce à la conversion électromécanique qui se base sur le phénomène de l'induction [8].

Problématique retenue

Qu'est-ce qu'une houle ? Comment optimiser la récupération de l'énergie des vagues à partir d'un houlogénérateur pendulaire ?

Objectifs du TIPE

• Caractérisation de la houle :

- Modélisation physique des ondes gravitationnelles par des équations aux dérivées partielles.
- Vérification de la pertinence des approximations faites en utilisant l'analyse des données.

• Etude mécanique du système pendulaire :

- Modélisation du système physique par des équations différentielles.
- Résolution des équations obtenues avec des méthodes numériques.

• Optimisation des paramètres du système afin d'augmenter l'énergie récupérable.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] JUDICAËL AUBRY, AURÉLIEN BABARIT, HAMID BEN AHMED ET BERNARD MULTON : La récupération de l'énergie de la houle, Partie 2 : Systèmes de récupération et aspects électriques. :

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00676186/document>

[2] CLÉMENT FOURNIER : Et si on utilisait l'énergie de l'océan pour produire de l'électricité ? :

<https://youmatter.world/fr/energie-marine-maremotrice-vagues-electricite-developpement/>

- [3] MARIE RUELLAN : Méthodologie de dimensionnement d'un système de récupération de l'énergie des vagues : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00239367>
- [4] P.-Y. LAGRÉE : Écoulements en Milieux Naturels : <http://www.lmm.jussieu.fr/~lagree/COURS/MFEnv/MFEhoule.pdf>
- [5] HÉLÈNE ROUX : Les différentes théories de la houle : <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0001/travaux/optsee/hym/7/pa01.htm>
- [6] CANDHIS : Données sur la houle : <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/campagne/?idcampagne=26657d5ff9020d2abefe558796b99584>
- [7] JÉRÉMY : Transformée de Fourier Discrète : <http://gobgob-technology.fr/cours/tfd/>
- [8] CHRISTIAN BISSIERES : Cours sur la conversion électromécanique : <http://cbissprof.free.fr>

Mouvement d'un banc de poissons.

Lors de ma visite du Morocco Mall à Casablanca j'ai été fasciné par le mouvement cordonné et groupé des poissons dans l'aquarium. Ceci m'a poussé à me poser plusieurs questions par rapport à ce phénomène d'où le choix d'en faire mon sujet.

Ce sujet s'inscrit clairement dans le thème puisqu'il étudie le mouvement de l'espèce la plus présente dans les océans .

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Mécanique), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Interactions de groupe</i>	<i>Group Interactions</i>
<i>Banc de poisson</i>	<i>Shoal of fish</i>
<i>Transition de phase</i>	<i>Phase transition</i>
<i>Modélisation</i>	<i>Modeling</i>
<i>Mouvement</i>	<i>Motion</i>

Bibliographie commentée

Les oreilles internes des poissons perçoivent tout un monde aquatique que les humains ne peuvent appréhender sans l'aide d'hydrophones. Ainsi meme sans cordes vocales, les poissons communiquent entre eux.[6]

En biologie lorsqu'un groupe de poisson est en mouvement il est qualifié de banc[1].

Chez les poissons se mouvoir efficacement est une question de survie, la dynamique des poissons doit pouvoir alterner rapidement entre différentes phases selon les circonstances. En observant virevolter de conserve des centaines de poissons on ne peut toutefois s'empêcher d'être fasciné par la vision complexe offerte à nos yeux[2] . Ceci dit, ce mouvement collectif semble être commandé par une sorte de leader vu sa coordination. Toutefois toutes les recherches aboutissent au fait qu'il résulte des actions individuelles de chaque poisson , ce dernier agissant uniquement en se basant sur la perception locale de son environnement.

Les mécanismes et les règles de comportement qui déclenchent de telles transitions demeurent mal connus[3].

L'enjeu est alors est alors d'identifier la nature des interactions et les mécanismes liés aux changement de régimes dynamiques.

Plusieurs modèles ont été mis en place pour ceci à l'instar de celui d'AOKI-COUZIN selon lequel, de fortes transitions dans le comportement collectif sont observées pour de petits changements de paramètres[4] . Dans ce modèle zonal, des légères variations de la largeur de la zone d'alignement des poissons peuvent entraîner des changements drastiques de la structure. Ainsi l'intérêt pour ses mouvements collectifs s'est diffusé au-delà de la biologie. En physique, les transitions entre

différents types de comportements collectifs sont souvent décrites comme des transition de phase. Un cas bien étudié est le passage à l'ordre d'orientation observé dans le modèle populaire de Vicsek[5].

Toutefois ces modèles ne résonnent que sur les symétries du problème. Malgré leur intérêt théorique, il est difficile de les confronter quantitativement aux observations biologiques. Les modélisations mathématiques et informatiques apparaissent alors comme moyens complémentaires à l'observation capables d'expliquer les mécanismes et de permettre une meilleure utilisation des observations.

Problématique retenue

Comment peut-on expliquer ces mouvements aussi coordonnés et efficaces ? Existe-t-il alors un Algorithme décrivant le mouvement d'un banc de poissons?

Objectifs du TIPE

- Réculte et regroupement des données liées au mouvement.
- Description de la dynamique du banc de poisson.
- Modélisation du mouvement collectif.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] https://en.m.wikipedia.org/wiki/Shoaling_and_schooling
- [2] BASILE PERRIN-REYMOND : Pourquoi les poissons nagent-ils en banc ? : *camintereese.fr*
- [3] DANIEL S CALOVI : Swarming, schooling, milling: phase diagram of a data-driven fish school model : <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/16/1/015026/pdf>
- [4] GUY THERAULAZ, VALENTIN LECHEVAL, CLÉMENT SIRE : La danse organisée des bancs des poissons. : http://www.lpt.upstlse.fr/spip.php?action=accéder_document&arg=2360&cle=ac0e014dcb735e6e40602fb44f47c112f49bdd6c&file=pdf%2FLa_Recherche_Juillet_2018.pdf
- [5] T. VICSEK, A. CZIRÓK, E. BEN-JACOB, IN. COHEN ET O. SHOCHET : Novel type of phase transition in a system of self-driven particles,
- [6] Comment les poissons "parlent" entre eux - L'atelier : <https://www.terresacree.org/actualites/1643/actualite-comment-les-poissons-parlent-entre-eux-125179>

Bathymétrie et ondes de surface

J'ai récemment regardé un documentaire à propos de l'île Tuvalu qui est menacée de submersion. Ceci m'a mené à l'étude de l'évolution et des caractéristiques des ondes de gravité dans l'océan. La compréhension et l'analyse de ces propriétés sont en effet indispensables à la prévision de plusieurs phénomènes marins.

Mon étude porte sur l'effet des fonds océaniques sur les ondes de gravité dans les eaux peu profondes au voisinage des côtes. Mon sujet s'inscrit donc dans le thème de l'océan.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Mécanique), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
-------------------------	------------------------

<i>Houle</i>	<i>Swell</i>
--------------	--------------

<i>Bathymétrie</i>	<i>Bathymetry</i>
--------------------	-------------------

<i>Propagation dispersive</i>	<i>Dispersive propagation</i>
-------------------------------	-------------------------------

<i>Equations de Saint-Venant</i>	<i>Shallow-water equations</i>
----------------------------------	--------------------------------

<i>Ondes de Kelvin</i>	<i>Kelvin waves</i>
------------------------	---------------------

Bibliographie commentée

L'érosion, la submersion ou encore les tsunamis inquiètent en premier lieu les pays insulaires, ce qui rend l'étude des transformations opérées sur les ondes de surface une nécessité, en particulier l'effet de la variation des fonds marins en régime d'eau profonde ou en régime d'eau peu profonde. La construction de modèles permettant l'étude de tels effets remonte au 19ème siècle. Cependant, la majorité de ces essais se sont révélés peu concluants car ils se restreignaient souvent au cas d'un fond plat et ce type d'approximation ne reflète pas l'effet des variations bathymétriques [1].

Quelques études expérimentales illustrent parfaitement l'effet d'un changement de relief sur les vagues en surface, comme la réflexion ou la réfraction ainsi que le changement de la vitesse et la direction de propagation de ce type d'ondes. Les résultats expérimentaux peuvent être encore mieux mis en valeur par l'utilisation de quelques logiciels d'acquisition tels que « aviméca » ou « Latispro » [2]

Une autre approche, plus théorique et plus réaliste dont le but est de montrer l'effet du profil du fond océanique sur celui de la surface libre, s'appuie sur l'étude de la dynamique des fluides réels incompressible faisant appel aux équations de Saint-Venant, dites en anglais Shallow-water equations, déduites des équations de Navier-Stokes et de la conservation de la masse. [3]

Ces équations permettent de rendre compte la propagation de l'onde de gravité sur la surface libre.

Toutefois, en tenant en compte du terme convectif du vecteur accélération d'une particule fluide (figurant dans l'équation de Navier-Stokes) qui devient non négligeable quand la profondeur de l'eau devient du même ordre ou plus faible que la longueur d'onde des vagues, ces équations deviennent non linéaires et leur étude est fastidieuse sans approximations[3][7].

Tout en passant d'un fond plat à un autre présentant une pente importante, comme on en retrouve dans les océans, on pourra se permettre de faire quelques approximations pour faire l'étude de la dynamique de ces ondes de surface dans les eaux peu profondes où on peut négliger la composante horizontale de la force d'inertie de Coriolis (due aux turbulences) qui n'influe que très peu sur le poids volumique d'une particule[3][4][6].

A partir de ces études théorique et expérimentale, on peut retrouver l'état de surface mais les résultats obtenus peuvent être consolidés par un traitement numérique d'image et une analyse détaillée de la surface[8].

Problématique retenue

Comment s'incarne l'effet des variations bathymétriques sur les ondes de surface ? Peut-on alors déduire l'état des fonds océaniques à partir de l'état de surface?

Objectifs du TIPE

- Illustrer expérimentalement l'effet de la bathymétrie variable sur les vagues dans des eaux peu profondes comme la célérité ou le changement de la direction de propagation.
- Retrouver des solutions numériques et analytiques des ondes de surface dans les différents cas de fonds marins.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] MICHEL TALON : Ondes de surface : <https://www.lpthe.jussieu.fr/~talon/ondessurface.pdf>
- [2] LYCÉE JEAN-JACQUES HENNER-ALTKIRCH : Des ondes sur un plan d'eau, une histoire qui fait des vagues. : https://odpf.org/images/archives_docs/18eme/memoires/gr-23/memoire.pdf
- [3] P.-Y. LAGRÉE : Equations de Saint Venant et application aux mouvements de fonds érodables. "Ecoulements en milieux naturels" Cours MSF12, M1 UPMC : <http://www.lmm.jussieu.fr/~lagree/COURS/MFEnv/MFEnv.pdf>
- [4] DAVID LANNES : Modelling shallow water waves : https://www.youtube.com/watch?time_continue=2&v=fLx2n7yXlrM&feature=emb_logo
- [5] RUBIN.H LANDAU _ MANUEL.J. PÀEZ _ Z _ CRISTIAN.C. BORDEIANU : Computational physics
- [6] P.-Y. LAGRÉE : Houle et Vagues. "Ecoulements en Milieux Naturels" Cours 4AF04 , M1 UPMC : <http://www.lmm.jussieu.fr/~lagree/COURS/MFEnv/MFEhoule.pdf>
- [7] HARVEY SEGUR : The Shallow-Water Equations : https://gfd.who.edu/wp-content/uploads/sites/18/2018/03/lecture8-harvey_136564.pdf
- [8] G. DEMOMENT : Problèmes inverses en traitement du signal et de l'image : <https://jp4.journaldephysique.org/articles/jp4/pdf/2002/01/jp4pr1p3.pdf>

Vers un système d'alerte globale et rapide contre les grandes vagues dans l'océan

Etant un habitant de Carthage :Tunisie, une ville au bord de la mer, j'étais fasciné par le grand bleu depuis mon jeune âge, cependant en regardant des reportages sur les catastrophes naturelles comme les Tsunamis, je me suis demandé comment nous, êtres humains, pourrions être alertés avant d'être impactés ?

Après quelques recherches , j'ai découvert qu'on parvient à l'aide de satellites à déterminer le relief des océans. Le principe de leurs fonctionnements repose sur l'interaction entre l'onde électromagnétique émise par l'un des satellites et la surface de l'océan. Mon étude s'insère bien dans le thème du TIPE de cette année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Onde électromagnétique</i>	<i>Electromagnetic wave</i>
<i>Propagation des ondes</i>	<i>Waves propagation</i>
<i>Réflexion</i>	<i>Reflection</i>
<i>Hauteurs des vagues</i>	<i>Waves height</i>
<i>Satellite</i>	<i>Satellite</i>

Bibliographie commentée

Les **Tsunamis** ont toujours causés de grosses pertes à l'humanité, on cite ici l'exemple de la catastrophe naturelle qui s'est abattue sur l'Indonésie et sur le Sri Lanka principalement , ainsi que 10 autres pays voisins en Décembre 2004. Elle a causé plus de 230,000 morts et disparus. [5]

Face à ces menaces de la nature, l'**altimétrie satellitaire océanique** représente un moyen de **prévention** contre les séismes maritimes et leurs contreparties comme les tsunamis.

L'altimétrie est basée sur la technique de télédétection : c'est le fait d'acquérir des informations sur des objets distants. **La NASA** et **le CNES** ont envoyé des satellites pour la détection de vagues géantes. L'un d'eux est le satellite **JASON-3** qui est équipé d'un **radar altimètre** d'une très grande précision (3.3 cm). [3] Un radar altimètre envoie une succession de signaux ondulatoires à très haute fréquence (13.576 GHz) donc de longueurs d'onde de l'ordre de 2.21 cm et en outre la durée de transmission est égale à 3 ns. [4] Cette onde électromagnétique est émise de façon verticale à la surface de la mer et le radar analyse l'écho réfléchi par cette surface à l'aide d'un détecteur. L'analyse de ce signal reçu permet de déterminer une mesure de la durée du trajet aller-retour entre le satellite et la surface de la mer. Ainsi, il suffit de multiplier cette durée par la vitesse de propagation pour obtenir le double de la distance océan-satellite. La distance qu'on souhaite

mesurer est la hauteur de l'océan (h) sachant que nous avons déjà obtenu la distance océan-satellite (R)

il nous faut donc faire la soustraction suivante : $h=H-R$ avec H c'est l'altitude du satellite. La position du satellite (latitude, longitude) est connue et déterminée par rapport à un ellipsoïde de référence. Donc on parvient à déterminer la hauteur de l'océan, toutefois il faut éliminer les variations de hauteurs dues aux marées. En effet, la profondeur de l'océan varie principalement à cause du phénomène des marées. Ces hauteurs de marées sont connues à l'aide de tables et donc on peut en tenir compte. Après ces corrections, la mesure est d'une précision de l'ordre d'un cm. [1]

Malheureusement, **les ondes électromagnétiques sont ralenties pendant leurs émissions dans l'atmosphère** (qui n'a pas les mêmes caractéristiques du vide). Ce ralentissement est dû à la présence de la vapeur d'eau, au taux d'ionisation et à l'effet du vent au niveau de la surface de l'océan. [1] Pour pouvoir réaliser ces corrections et mesurer le retard du trajet, le satellite Jason-3 est doté d'un radiomètre à micro-ondes-2 (AMR-2) qui mesure le rayonnement de la surface de l'eau à trois fréquences. Pour connaître le taux de vapeur d'eau dans l'atmosphère, on utilise un canal à 23.8 GHz, de plus pour corriger la présence des nuages non-précipitant il y a un autre canal à 34 GHz et enfin pour réduire les effets du vent pendant la réflexion sur la surface maritime on utilise un canal à 18.7 GHz. [6]

Ces ondes émises se propagent jusqu'à atteindre la surface de l'eau, à ce moment-là il y a naissance de deux phénomènes physiques. Le premier est leurs **réflexions sur la surface de contact atmosphère-océan et leurs retours** vers un détecteur hébergé dans le satellite et le deuxième est la naissance d'une **onde évanescence dans l'eau** qui est considérée comme un milieu diélectrique . [2]

Problématique retenue

Comment peut-on détecter les variations **brutales** du niveau de l'océan à l'aide d'un **radar embarqué dans un satellite** ?

Objectifs du TIPE

J'étudierai le principe de fonctionnement d'un radar embarqué sur un satellite utilisé en **altimétrie** en exploitant :

- Le principe de **télé-détection**

- L'interaction entre l'**onde électromagnétique** et le **milieu de propagation** .

- L'interaction entre l'**onde électromagnétique** et l'**interface océan-atmosphère**.

- La **visualisation** et l'**analyse** des signaux émis et reçus par le radar du satellite (Programmation en python).

-**Analyse de données** pour représenter l'allure de l'océan (Programmation en python).

-Classification des vagues par hauteur en utilisant des **algorithmes de machine learning** (Programmation en python)

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] JUAN GABRIEL LÉON : Utilisation conjointe de l'altimétrie spatiale et de la mesure in-situ pour la régionalisation du débit dans le Bassin Versant du Rio Negro : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00079951/document>
- [2] Réflexion-Réfraction : <https://www.edu.upmc.fr/physique/phys325/Documents/Reflexion-Refraction.pdf>
- [3] LA NASA : Jason-3 : <https://sealevel.jpl.nasa.gov/missions/jason3/>
- [4] MARIE-CHRISTINE ARTRU & JULIETTE LAMBIN : Les satellites JASON et la mesure du niveau des océans : <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/CSP-Jason-mesure-niveau-ocean.xml>
- [5] RTS : Le tsunami du 26 décembre 2004 minute par minute : <https://www.rts.ch/info/monde/6390807-le-tsunami-du-26-decembre-2004-minute-par-minute.html>
- [6] LA NASA : Jason-3 RADIOMETRE MICRO-ONDES – 2 (AMR-2) : https://www.nesdis.noaa.gov/jason-3/pdf/Jason-3%20AMR-2_francais.pdf

Modélisation de la propagation des ondes de surface dans l'océan

Pendant l'été, je passais la plupart de mes journées en nageant avec mes amis mais je ne parvenais pas à nager jusqu'aux eaux profondes. En effet, la variation de la profondeur de la mer me déstabilise. Cela a attisé ma curiosité autour de la propagation des ondes de surface.

Mon TIPE est en adéquation avec le thème de l'année « Océan » car il traite la propagation des ondes de surface dans l'océan.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), INFORMATIQUE (Informatique Théorique), PHYSIQUE (Mécanique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Océan</i>	<i>Ocean</i>
<i>Niveau de l'océan</i>	<i>Ocean level</i>
<i>Analyse numérique</i>	<i>Numerical analysis</i>
<i>Simulation numérique</i>	<i>Numerical simulation</i>
<i>Condition aux limites</i>	<i>Boundary condition</i>

Bibliographie commentée

Les océans occupent approximativement 70,9% de la surface de la terre [1]. Les fonds marins, qui peuvent atteindre 10,911 km [1], sont en partie méconnus et souvent difficiles d'accès [2]. Cependant, il s'avère que leur connaissance est devenue importante pour l'homme. Du fait de l'augmentation de l'activité humaine dans l'océan [3], prévoir la propagation des ondes de surface permet de réduire considérablement les coûts de ces activités tout en augmentant la chance de réussite.

Le comportement de l'onde de surface dépend des caractéristiques du milieu. Ce qui montre que les facteurs qui rentrent éventuellement en jeu sont nombreux [4].

L'optimisation de ces paramètres pour obtenir la meilleure qualité de prédiction de la propagation des ondes de surface reste complexe et utilise actuellement des traitements informatiques notamment pour résoudre les équations aux dérivées partielles régissant cette propagation [5].

On trouve plusieurs méthodes qui sont employées à cet effet dont entre autres :

Les méthodes de transformations classiques :

La transformation de Fourier [6] qui donne plus d'importance aux composantes fréquentielles en fonction de leur amplitude. Ceci mène à négliger les fréquences les moins amples pour mieux étudier

les dominantes.

La méthode de développement de Taylor et La méthode de développement de Runge-Kutta ordre n [7] : Si on utilise ces méthodes, on négligera les dérivées de plus hauts ordres. La performance des machines constitue une contrainte à ces méthodes. En effet, si on augmente le nombre de dérivation, la complexité de l'algorithme augmente.

La méthode de différences finies [8] encore plus exigeante en performance mais qui fournit des solutions plus précises.

La méthode par image [9] est une méthode qui permet de résoudre des équations différentielles.

La résolution des équations de propagation nécessite l'application des conditions aux limites. Ceci consiste à fixer les valeurs aux limites en fonction du temps et de l'espace. La frontière est définie par le domaine privé de l'intérieur. Intuitivement, la frontière est située au bord du domaine. Bien qu'elle soit en réalité aléatoire, on est obligé de choisir quelque type de conditions aux limites. Les plus utilisées sont [10] :

Conditions aux limites de Neumann : consiste à spécifier les valeurs des dérivées que la solution doit vérifier sur les frontières du domaine.

Conditions aux limites de Dirichlet : consiste à spécifier les valeurs que la solution doit vérifier sur les frontières du domaine.

Conditions aux limites de Robin : (appelée aussi conditions aux limites de Fourier) consiste à combiner Conditions aux limites de Neumann et Conditions aux limites de Dirichlet.

Conditions aux limites dynamiques : elle consiste à faire une combinaison linéaire entre la dérivée temporelle et la dérivée spatiale de la solution d'une équation aux dérivées partielles aux bords du domaine d'étude.

Conditions aux limites mêlée : (appelée aussi condition aux limites mixte) consiste à juxtaposer des différentes conditions aux limites sur différentes parties du bord.

Problématique retenue

Il n'est pas évident de prendre en compte tous les paramètres influant sur la propagation de l'onde de surface dans l'océan tout en ayant des résultats de modélisation proches de la réalité et peu exigeants en performance. Peut-on les déterminer de manière simple mais fidèle à la réalité physique?

Objectifs du TIPE

1) Premièrement, je proposerai une étude physique judicieuse principalement par l'utilisation du

principe fondamental de la dynamique.

2) Deuxièmement, je m'attacherai à la recherche de la solution analytique puis sur des approximations numériques implémentées en Python.

3) Je m'intéresserai, ensuite, à une comparaison de ces algorithmes en évaluant leurs complexités algorithmiques.

4) Enfin, je finirai par une comparaison entre les différentes approches.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] NATIONAL CENTERS FOR ENVIRONMENTAL INFORMATION : statistique sur ocean : https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/etopo1_ocean_volumes.html ; consulté le 02/08/2019
- [2] NICOLAS JOSSO : Caractérisation des milieux sous marins en utilisant des sources mobiles d'opportunité : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00546875/document> , page 1 ; consulté 25/12/2019
- [3] CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES SUR LE COMMERCE ET LE DÉVELOPPEMENT : L'étude sur les transports maritimes 2018 : https://unctad.org/fr/PublicationsLibrary/rmt2018_fr.pdf , page 41 ; consulté le 01/01/2020
- [4] MARTINEZ LOÏC : Nouvelles méthodes d'identification d'ondes de surface - étude de l'onde à sur une cible courbe : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00583081/document> , chapitre 1 , page 5 ; consulté le 20/12/2019
- [5] POLY INITIALEMENT DE MARIE POSTEL, REMANIÉ PAR HERVÉ LE DRET LABORATOIRE JACQUES-LOUIS LIONS : Méthodes numériques pour les équations différentielles : <https://www.ljll.math.upmc.fr/ledret/3M236/HLD-3M236-2016.pdf>
- [6] MARK HANDLEY : Fourier Transforms : <http://www0.cs.ucl.ac.uk/teaching/GZ05/03-fourier.pdf> , page 4 ; consulté le 20/12/2019
- [7] D. DETURCK : Power series and Taylor series : <https://www.math.upenn.edu/~deturck/m104/notes/week7.pdf> ; consulté le 10/08/2019
- [8] DR HARNANE YAMINA : Méthodes numériques I Méthodes des différences finies : <http://www.univ-oeb.dz/fssa/wp-content/uploads/2017/02/Cours-M%C3%A9thodes-num%C3%A9riques-I-M%C3%A9thodes-des-diff%C3%A9rences-finies-HARNANE-YAMINA.pdf> ; consulté le 10/08/2019
- [9] PROF. K.-L. WU , PROF. TH. BLU : Method of Images : <http://ivp.ee.cuhk.edu.hk/~ele3310/data/Lesson11-13.pdf> ; consulté le 10/08/2019
- [10] WIKIPÉDIA : Condition aux limites : https://fr.wikipedia.org/wiki/Condition_aux_limites ; consulté 17/12/2019

Etude des vagues solitaires océaniques

Les vagues solitaires sont à l'origine des Tsunamis et des mascarets, leurs dégâts notables observés m'ont incité à m'intéresser à leur mécanisme de génération et étudier leurs conditions de formation afin d'éviter de telles catastrophes et assurer la sécurité maritime.

Les vagues solitaires sont l'une des causes les plus répandues des catastrophes océaniques. Chose qui poussa les océanologues à essayer de comprendre leurs mécanismes.

Mon étude portera sur ce phénomène océanique, elle s'inscrit donc pleinement dans notre thème.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>vague solitaire</i>	<i>soliton</i>
<i>Korteweg-De Vries</i>	<i>Korteweg-De Vries</i>
<i>équation de Burger</i>	<i>Burger's equation</i>
<i>équation de Sine Gordon</i>	<i>Sine Gordon equation</i>
<i>Lax-Wendroff</i>	<i>Lax-Wendroff</i>

Bibliographie commentée

La vague solitaire est un événement maritime extrême qui a été initialement introduit par John Scott Russell en 1834 suite à son observation d'une vague se propageant tout au long d'un canal sans pour autant s'affaiblir. [1]

Cette onde solitaire a suscité l'intérêt des scientifiques jadis dénigrant son existence. De nombreuses recherches ont eu pour objectif d'analyser et comprendre la structure et comportement de cette vague d'extrême dangerosité et dont les risques sont amplifiés suite à son caractère imprévisible et son amplitude dépassant de loin la hauteur des vagues de la houle. [2]

Une caractéristique qui servira de méthode d'identification d'une vague solitaire peut être définie. On dégage ainsi une condition sur le mode de propagation d'un soliton. Ce dernier se propage avec une période infinie d'une façon non linéaire.

Il est parfaitement défini par sa capacité de se propager en conservant quasi intégralement l'énergie qui est à l'origine de sa formation. [2]

Le modèle d'Airy qui constitue une approche linéaire simple et efficace pour décrire les vagues de faibles courbures en eaux profondes s'avère inconsistant dans la description des vagues solitaires. [9]

Ce qui nous pousse à aborder des modèles non linéaires afin d'expliquer le comportement singulier

de cette vague.

L'observation d'une vague solitaire qui se propage tout au long d'un canal permet de remarquer que la vitesse dépend de l'amplitude de la vague, plus précisément elle est une fonction croissante de l'amplitude. Ce phénomène est qualifié de raidissement du front d'onde et est à l'origine de l'effet non linéaire de la vague solitaire. Ceci nous permet d'affirmer que cet effet non linéaire s'ajoute à l'effet linéaire traduisant la dispersion de l'onde. Et la formation de la vague solitaire n'est autre que la compensation des deux effets. [3]

Fondé sur cette hypothèse, on aboutit à l'équation de Korteweg de Vries qui découle du principe fondamental de la dynamique des fluides ou plus précisément de l'équation de Navier Stokes. [4]

Toujours en partant de Navier stokes une autre approche est de se ramener aux équations de Burger en négligeant la dispersion qui donnent d'une manière analytique la solution soliton ce qui constitue une approche plus ou moins simplifiée du problème tout en gardant des résultats assez satisfaisants. [5]

Une analyse numérique permet d'expliciter les solutions de type soliton de ces équations.

La résolution numérique de l'équation de Burger peut se faire à travers l'illustration d'un programme python par la méthode de Lax-Wendrof. [7]

L'équation de KDV (Korteweg-de vries) pourrait être à son tour abordé numériquement par la méthode des différences finies. [7]

Le soliton peut être retrouvé dans divers domaines de la physique autre que l'hydrodynamique, ou plusieurs analogies peuvent être établies

De nombreux domaines de la physique peuvent entrer en jeu notamment la mécanique du solide ou une expérience simple consiste à coupler des pendules au moyen de ressorts à torsion et de générer une onde qui se propage tout au long du dispositif sans pour autant s'atténuer ou se diluer. Cette onde s'identifie bien à un soliton.

Ce résultat expérimental peut être validé par une approche plus théorique en attaquant l'équation de Sine Godron (qui résulte de l'application du théorème du moment cinétique au dispositif décrit ci-dessus) dont les solutions sont conformes aux résultats observés et prévus pour un soliton [6].

Le soliton est par ailleurs retrouvé en optique et ses applications sont diverses notamment en télécommunication. Ils sont utilisés pour des transports d'information optimisés. [8]

Problématique retenue

Quelle est le mécanisme de génération d'un soliton ?

Quelles sont les différents modèles théoriques dont la vague solitaire serait solution ?

Objectifs du TIPE

Exploiter les modèles de Burger et de Kortweg-de Vries afin de retrouver les solutions de type soliton.

Modéliser numériquement les solutions soliton de deux équations et comparer les résultats.

Etablir une analogie mécanique à l'aide du modèle de Sine Gordon et mettre en évidence le caractère non dissipatif du phénomène.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] PAULINE GRAVEL : Solitaires et singuliers solitons :

<https://www.ledevoir.com/societe/science/440808/solitaires-et-singuliers-solitons#>

[2] DÉBORAH DREVAR : Etude expérimentale et numérique de la propagation d'ondes de gravité en zone de déferlement page 45 : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00141744/document>

[3] FRÉDÉRIC ÉLIE : Onde solitaire à la surface de l'eau tsunamis et mascarets :

https://www.researchgate.net/publication/316145402_Onde_solitaire_a_la_surface_de_l'eau_tsunamis_et_mascarets

[4] GABRIEL LAPOINTE : Les vagues solitaires :

<http://camus.math.usherbrooke.ca/revue/revue4/lapointe.pdf>

[5] MIKEL LANDAJUELA : Burger's equation :

http://www.bcamath.org/projects/NUMERIWAVES/Burgers_Equation_M_Landajuela.pdf

[6] THIERRY DAUXOIS : : ILLUSTRATION EXPERIMENTALE DE LA PROPAGATION DE SOLITONS LE LONG D'UNE CHAÎNE DE PENDULES COUPLES :

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/pendules-couples-soliton.xml>

[7] RUBIN H. LANDAU, MANUEL J. PAEZ ET CHRISTIAN C. BORDEIANU : Computational Physics (pages 557-558 et pages 565-566) : WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. 12, 69469 Weinheim, Germany ePDF ISBN 978-3-527-68466-3

[8] VIRGINIE CODA : Solitons optiques spatiaux Kerr et photoréfractifs : propriétés fondamentales et application à l'adressage optique : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00137257/document>

[9] JEAN BOUGIS : Les houles périodiques simples (Houle infinitésimale d'Airy 03) :

<http://www.scs-ingenierie.com/pdf/cours/Houles.pdf>

MODELISATION D'UNE VOILE DE BATEAU

Durant mes vacances, j'ai eu l'occasion d'aller à la plage où j'ai eu le plaisir de pratiquer de la planche à voile, me conduisant à me demander comment les voiles faisait avancer un flotteur. Je me propose ainsi d'approfondir mes connaissances en ce sujet

Mon sujet est en adéquation avec la thème de cette année «océan» car je me propose de modéliser une voile d'un bateau principale mode de déplacement maritime .

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Trainée</i>	<i>trail</i>
<i>Portance</i>	<i>lift</i>
<i>Pression</i>	<i>pressure</i>
<i>soufflerie</i>	<i>wind tunnel</i>
<i>angle d'incidence</i>	<i>angle of incidence</i>

Bibliographie commentée

Les recherches maritimes se sont développer depuis plusieurs siècles sur plusieurs domaines dont l'optimisation des performances et des réglages du voile , pour cela on se doit d'effectuer une modélisation d'une voile .

Pour modélisation optimale on se doit de faire une étude dynamique .le mouvement d'un bateau se fait suite au contact d'un flux d'air. Le flux d'air s'exerçant sur une voile modifie sa forme, on peut ainsi définir deux parties l'intrados (partie concave) et l'extrados (partie convexe) [1]. Ce flux d'air subit une déviation sur l'extrados ce qui ralentit fortement et dévie les particules d'air de leur trajectoire [7] la pression étant inversement proportionnel au carré de la vitesse « l'équation de Bernoulli» .Une vitesse plus élevée donne une pression plus faible (forte pression à l'intrados) et inversement à l'extrados,[6]. Cette différence de pression permet de définir une force appelée force aérodynamique proportionnelle à un paramètre appelée coefficient aérodynamique [7].

Sa décomposition respectivement sur les axes respectifs du (vent, perpendiculaire au vent et a l'allongement de voile) donne (la trainée, la portance, portance latérale (très faible face aux deux autres composantes)). Introduisant les coefficients de portance et de trainée qui contribuent respectivement à l'accélération et à l'opposition du mouvement.

Pour avoir un rendement de vitesse efficace que le facteur portance multiplié par l'inverse de la trainée soit maximal [3].

Pour une surface de voile définie le principal facteur de la portance pour une voile est l'angle d'incidence (angle que forme le vent apparent avec l'axe du bateau) (elle augmente avec l'angle d'incidence jusqu'à un l'angle de décrochage puis décroît) qui affecte faiblement la trainée et le vent. [4,5, 8]

Pour cela, on réalise très souvent une étude en soufflerie numérique où l'on utilise deux principales méthodes d'écoulement de potentiel et la méthode RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) . Passant par la résolution des équations de Navier -Stokes . Qui est l'équation qui gouverne le mouvement des particules d'air.

Pour la méthode RANS, on peut réaliser une modélisation en 2D dont on étudiera les limites (où l'on voit l'influence de l'angle d'incidence sur le facteur définit plus haut) ou 3D (l'on fait des schémas du champ des vitesses , de pression ou de courant).

La méthode de l'écoulement de potentiel, qui consiste résolution des équations de Navier-Stokes simplifiées pris dans des conditions précises , on utilise principalement le théorème de Kelvin [4,6] cette méthode donne des résultats moins précis que la méthode précédente ,mais demandes moins de temps.

On réalise aussi des expériences en soufflerie pour mesurer la portance et la trainée sous plusieurs conditions .Elle est recommandée car elles sont les plus précises mais sont de plus en plus délaissée vu qu'elle est onéreuse et nécessite beaucoup de temps .[7]

Une étude de l'interactions entres deux voiles sur un bateau est faite ou l'on étudie la distribution de la pression sur les deux surfaces et la déviation de l'écoulement donc a un effet plus important que la somme des deux [5]

Problématique retenue

Quels sont les forces qui gouvernent le mouvement d 'une voile et les caractéristiques qu'on peut en tirer ? Quelles modélisations simplifiées peut-on en tirer ?Pourquoi les voiliers de courses ont ils deux voiles ?

Objectifs du TIPE

- Décrire les forces qui régissent la circulation d'un flux d'air sur une voile
- Faire des modélisations simplifiées d'une voile sous certaines conditions et définir quelques caractéristiques physiques puis les comparer
- Comprendre les intérêts du choix de deux voiles

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] DAMIEN LAFFORGUE : les voiles de expérimentale au numérique. :

http://www.finot.com/ecrits/Damien%20Lafforgue/article_voiles.html

[2] QUENTIN LUX . : Calcul des coefficients aerodynamiques d'un avion complet par la methode

RANS

- [3] BENOIT AUGIER : Etudes expérimentales de l'interaction fluide structure sur surface souple: application aux voiles de bateaux
- [4] JOSÉ BICO, MARC FERMIGIER, MATHILDE REYSSAT : Mécanique des Fluides
- [5] PATRICIA IZAGUIERRE ALZA : Numerical and experimental studies of sail aerodynamics
- [6] JULIEN DEPARDAY : Experimental studies of Fluid-Structure Interaction on Downwind sails
- [7] Forces on sails : https://en.wikipedia.org/wiki/Forces_on_sails
- [8] Portance (aérodynamique) : [fr.wikipedia.org/wiki/Portance_\(aérodynamique\)](fr.wikipedia.org/wiki/Portance_(aérodynamique))

Centres de données sous-marins

D'après L'Agence Internationale d'Énergie (IEA), environ 1,1% de la consommation mondiale d'électricité est dédiée aux centres de données pendant l'année 2018. À cet égard, nous nous sommes intéressées à l'idée d'immerger les centres de données dans l'eau afin d'optimiser les coûts de refroidissement de ces dispositifs aussi énergivores.

Ce sujet s'inscrit dans le thème de cette année. En effet, la capacité de refroidissement des océans, à une profondeur bien déterminée, servira à remplacer aux coûteuses techniques de refroidissement des centres de données terriens gigantesques dont on trouve le refroidissement électrique, à eau et même par l'azote liquide.

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- JENNI Amel

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique de la Matière), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Modélisation scientifique</i>	<i>Scientific modelling</i>
<i>Transfert thermique</i>	<i>Heat transfer</i>
<i>Equation de chaleur</i>	<i>Heat equation</i>
<i>Résolution analytique</i>	<i>Analytical solution</i>
<i>Analytical solution</i>	<i>Numerical solution</i>

Bibliographie commentée

Un Data Center ou centre de données est un espace physique qui regroupe des équipements informatiques (serveurs, baies de stockage...) permettant le stockage, le traitement et la protection de données [1].

De nos jours, on compte plus que 8 millions de centres de données autour du monde et entre 2019 et 2023 les analystes estiment un taux de croissance annuel composé (CAGR) de 17% [2].

Le problème est que ces centres de données consomment environ 200 TWh soit l'équivalent de la production 33 réacteurs nucléaires de puissance 900 MW ou la consommation de 13 600 000 foyers environ par an [3].

Vers la moitié du coût global d'un centre de données est destinée à l'alimentation dont 40% est consommée par les équipements de refroidissement. De plus, ces établissements énormes contribuent considérablement aux émissions du dioxyde de carbone [3], principalement pour la construction des bâtiments et la production de l'électricité pour le refroidissement.

A cause de ses différents points, un groupe d'ingénieurs responsables des data centers de Microsoft ont proposé cette ingénieuse idée. Une idée appréciée par Microsoft qui a entamé la création d'un premier prototype en 2014. Aujourd'hui, Microsoft est dans la Phase 2 de ce projet. Après une première phase de test qu'elle décrit réussie

Cette solution modulaire qui nous fait gagner énormément de ressources ainsi que plusieurs autres avantages par rapport aux centres de données classiques [4] :

- Conservation des terres utilisées pour la construction des centres.
- Économiser la consommation énorme en énergie pour le refroidissement et l'alimentation par l'exploitation de l'énergie thermique des mers (ETM).
- Mobilité des centres de données et possibilité de changement d'emplacement.
- Déploiement très rapide (environ 90 jours) par rapport à 2 ans pour un centre de donnée typique.
- Amélioration considérable au niveau des latences de connexion grâce à la distance réduite entre les utilisateurs et les centres de données.

Autres que ces avantages multiples, cette idée d'immerger les centres de données sous l'eau présente aussi des inconvénients qu'on peut considérer comme défis afin de réussir à élaborer ce projet concrètement ; principalement l'accès très limité au serveur du centre de données

Ces centres de données sous-marins seront modélisés par un cylindre [4]. Une forme avec des côtes totalement arrondies afin d'assurer une distribution surfacique infinie des forces de pressions pour éviter l'effondrement mécanique (pour assurer la tenue mécanique).

Ce cylindre est en contact direct avec l'eau qui est un fluide possédant des caractéristiques très différentes du vide. Ce qui nous incite à vérifier la validité des différents modes de transfert d'énergie thermique afin de pouvoir effectuer un bilan énergétique.

La conduction thermique: un mode de transfert thermique dans les solides sans déplacement macroscopique de matière. Ce transfert s'effectue de proche en proche des parties chaudes vers les parties froides, grâce à l'agitation thermique. Ce phénomène apparaît entre les différents composants informatiques (principalement des serveurs avec des processeurs qui émettent de la chaleur), et on obtient ainsi un terme de production provenant de l'énergie dissipée par effet joule dans les circuits à l'intérieur du centre, à comptabiliser dans le bilan [5].

Le transfert conducto-convectif résulte de l'écoulement du fluide près de la paroi du cylindre. En effet, l'ensemble des mouvements internes (verticaux ou horizontaux) qui animent l'eau effectuent un transfert de la chaleur entre la surface du cylindre et l'eau en mouvement. L'expression du flux de chaleur est donnée par la loi de Newton.

Le rayonnement électromagnétique est émis par un corps chaud et dont l'énergie reçue par le système est absorbée et convertie en énergie thermique. Pour notre cas d'étude, le rayonnement solaire, qui couvre une large gamme de fréquences, intervient. Cependant, lors de sa pénétration dans l'eau, ce rayonnement subit une absorption et à la profondeur désirée (de l'ordre de 40 m) on ne détecte plus que des émissions de longueurs d'onde entre 450 et 500 nanomètres et dont l'apport énergétique sera négligé [6].

Problématique retenue

Est-ce que le refroidissement par les eaux de l'océan est efficace? Comment peut-on désigner un rendement qui permette de comparer les deux systèmes terrien et sous-marin ?

Objectifs du TIPE

- Étude de faisabilité d'un centre de données sous forme géométrique autre que cylindrique.
- Détermination des modèles physiques permettant de tenir en compte des modes de transferts sous-

jacents.

-Résolutions des modèles trouvés analytiquement par la transformation de Fourier et numériquement par la méthode de Crank-Nicholson.

-Comparaison avec les solutions trouvées par ma collègue.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] ANTHONY BARBIER : L'efficacité énergétique dans les data center : page 8 : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-27968-data-center-atee.pdf>

[2] MARKETWATCH : Data Center Market Size & Share 2019 - Review, Key Findings, Company Profiles, Complete Analysis, Growth Strategy, Developing Technologies, Trends and Forecast by Regions : <https://www.marketwatch.com/press-release/data-center-market-size-share-2019---review-key-findings-company-profiles-complete-analysis-growth-strategy-developing-technologies-trends-and-forecast-by-regions-2019-10-21>

[3] NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL, INC : Data Center Efficiency Assessment : Page 5 : <https://www.nrdc.org/sites/default/files/data-center-efficiency-assessment-IP.pdf>

[4] MICROSOFT : Project Natick : Facts and Figures : <https://natick.research.microsoft.com/>

[5] JAY HENDRIX : How And Why Thermal Optimization Pays Off - Figure 1 : <https://www.missioncriticalmagazine.com/articles/88785-how-and-why-thermal-optimization-pays-off>

[6] WATER ENCYCLOPEDIA : Light Transmission in the Ocean - Light Spectrum : <http://www.waterencyclopedia.com/La-Mi/Light-Transmission-in-the-Ocean.html>

La vague parfaite

En posant le sujet de TIPE à ma soeur, celle-ci a attiré mon attention sur le futur projet au lac du Chasseneuil, proche de son école d'ingénieur. Ce dernier consiste à créer une vague artificielle dans le lac qui représentera un moyen de loisir surtout pour les passionnés de surf.

En effet, ces vagues n'aurons pas seulement pour but d'épanouir les jeunes surfeurs mais aussi d'oxygéner l'écosystème. Ceci n'est qu'un prototype pour un projet qui vise à protéger nos océans, le sujet qui concerne tous les peuples en ce moment.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Vague</i>	<i>wave</i>
<i>Surf</i>	<i>Surf</i>
<i>Le déferlement</i>	<i>Breaker</i>
<i>Équation de La houle</i>	<i>Swell equation</i>
<i>Resolution numérique</i>	<i>Digital resolution</i>

Bibliographie commentée

Le déferlement c'est la dernière étape de la vie d'une vague suite à sa genèse, sa propagation et puis sa transformation. Il existe plusieurs formes de vagues différentes, que ce soit dans leurs tailles, leurs vitesses et bien évidemment leurs déferlements. Les surfeurs sont les plus intéressés par ces détails, ils rêvent d'une vague parfaite qui s'harmonise avec leurs mouvements. De ce fait le nombre des machines à vagues artificielles est en croissance vu cette demande marquante pour pratiquer ce sport dans les meilleures conditions [1].

L'exemple le plus connu des vagues déferlantes sont les tsunamis. Ils font partie des catastrophes les plus destructrices de l'histoire. Pour cette raison plusieurs études sont réalisées sur ces vagues pour mieux les prévoir. Afin de les modéliser, on fait une simulation numérique à l'aide d'une méthode d'intégrales de frontières appelée BIEM. En supposant que l'élévation et la vitesse de ces vagues s'annulent à l'infini, on rend compte de la vague solitaire à partir de la théorie de Korteweg de Vries (KdV). Ceci permettra de contrôler le terme non linéaire qui représente l'amplitude normalisée de l'onde solitaire [2]. La méthode BIEM peut servir à simuler une onde solitaire et donc une vague déferlante. Mais ce type de vague ne satisfait pas aux exigences des surfeurs. En effet, ces vagues peuvent voyager à des vitesses très élevées et arrivent sur les côtes à des hauteurs d'environ 30 mètres ce qui ne donne aucune chance de faire du surf.

Une autre approche consiste à résoudre les équations de Navier-Stokes à l'aide du modèle

lagrangien SPH (Smooth Particle Hydrodynamics) en discrétisant le fluide à l'aide de particules possédant leurs propres masses, densités, pressions, vitesses. La méthode SPH permet d'approximer la densité puis les forces de pression et de viscosité selon le voisinage d'une particule. Cette dernière représente une estimation du fluide dans une région donnée et non pas une molécule de fluide. Le calcul du champ de densité et de pression puis le calcul des forces de ces particules aboutissent à la simulation des vagues déferlantes en utilisant la méthode d'intégration Euler explicite qui permet de positionner chaque particule. Le problème de cette méthode réside du fait que le temps ne doit pas être limité ce qui peut engendrer une divergence numérique [3].

Suite aux problèmes rencontrés lors de l'étude du déferlement, on se propose de traiter les équations de la houle (théorie de Stokes) en se basant sur des hypothèses adéquates pour obtenir une équation linéaire, à partir de laquelle on pourra modéliser le déferlement. Enfin, le fait d'étudier la houle qui représente l'origine du déferlement permet de manipuler la forme, la taille et la vitesse de la vague déferlante pour satisfaire aux besoins du surfeur [4].

Problématique retenue

Comment rendre compte du déferlement des vagues à partir d'un modèle linéaire de la houle ?

Objectifs du TIPE

- Dédution physique des conditions pour lesquelles les ondes vont déferler.
- Identification des mécanismes conduisant au déferlement.
- Classification de ces mécanismes.
- Résolution numérique des modèles physiques obtenues afin d'effectuer des simulations numériques proches de la réalité

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] GRÉGOIRE ALLIX : Les vagues de surf artificielles déferlent sur la France :

https://www.lemonde.fr/economie/article/2019/11/30/les-vagues-de-surf-artificielles-deferlent-sur-la-france_6021139_3234.html?fbclid=IwAR3kwBIbH5hG8BUfINrcw6Rjz9MkdOmG7eiv1wIo284ZpxG0zR904_A0TBg

[2] JULIEN CHAMBAREL : Étude des vagues extrêmes en eaux peu profondes : [https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00448656/document?fbclid=IwAR02qKL3wLi0wPCuPxETc9_CXjyqdyklOjzMjOBswjzCuGzJF0cXtp2Bg40)

[00448656/document?fbclid=IwAR02qKL3wLi0wPCuPxETc9_CXjyqdyklOjzMjOBswjzCuGzJF0cXtp2Bg40](https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00448656/document?fbclid=IwAR02qKL3wLi0wPCuPxETc9_CXjyqdyklOjzMjOBswjzCuGzJF0cXtp2Bg40)

[3] EMMANUELLE DARLES : Représentation et rendu de l'océan en synthèse d'images réalistes :

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00914626/document?fbclid=IwAR0cKTHRGo6UHa0Loq1pzcedBKIE8M0zOrBkwfdw8XPGTLfLJuyaARb2-8Q>

[4] MARIE DUVAL : Etude du déferlement d'une onde de Stokes et de la dissipation associée par simulation directe : <http://ethesis.inp->

toulouse.fr/archive/00000602/01/duval.pdf?fbclid=IwAR3mN2FECcysZtDEdGfLqzIa_An039AJM4KnHOagXkKbBMZEsc7ybRGeIa8

Les ondes de Kelvin lors du phénomène El Niño

150.000 morts en Europe d'ici 2100 à cause des changements climatiques ! Ce chiffre effrayant, m'a poussé à lire des articles sur le sujet et à regarder des documentaires portant sur les fluctuations importantes de la température qui touchent la planète et mettent en danger l'humanité.

El Niño-l'oscillation australe (ENSO) est l'une des fluctuations climatiques les plus remarquables sur la Terre. Ce phénomène se manifeste environ deux fois par décennie dans la région du Pacifique. Tel sera, mon sujet qui se trouve donc en adéquation avec le thème de l'année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>ondes de Kelvin</i>	<i>Kelvin waves</i>
<i>thermocline</i>	<i>thermocline</i>
<i>les alizés</i>	<i>trade winds</i>
<i>Pacifique</i>	<i>Pacific</i>
<i>barocline</i>	<i>barocline</i>

Bibliographie commentée

El Niño, signifiant l'enfant en espagnol et donc par extension l'enfant de Jésus, doit son nom aux pêcheurs péruviens qui ont constaté, lors de la période de Noël, une augmentation de la température des courants. Etudié pour la première fois par Klaus Wyrtki, ce phénomène est expliqué par une instabilité entre les alizés et la thermocline [1]. Fortement corrélé avec l'oscillation australe, ce phénomène donne naissance à l'ENSO (El Niño Southern Oscillation) qui est l'un des plus intenses changements climatiques pouvant engendrer des dégâts dramatiques pour notre planète. En 1925, Sir Gilbert Walker a prouvé qu'il y a une différence de pression tout au long de l'équateur. L'oscillation de cette différence donne des écarts positifs ou négatifs durant certaines périodes. Il a fallu attendre 35 ans pour que le météorologue norvégien Jacob Bjerknes donne une explication à ce phénomène sous forme d'un mode de couplage entre El Niño et l'oscillation australe [2,3]. En effet, selon les auteurs, la période de l'ENSO est précédée par deux changements liés aux affaiblissements des alizés :

- Un changement atmosphérique : destruction de la cellule de Walker, la zone de dépression pouvant migrer jusqu'au centre du pacifique avec la formation de deux nouvelles cellules l'une à l'ouest, l'autre à l'est [4].

- Un changement océanique : des eaux chaudes sur le côté ouest, entraînées par la circulation normale des alizés, s'écoulent en retour vers l'est. Ce retour est traduit par un modèle numérique introduisant des ondes de Kelvin [5].

Lors de l'ENSO, on peut voir l'évolution des ondes de Kelvin à partir d'une décomposition des anomalies de la surface d'eau. Définie physiquement comme étant une onde de gravito-inertie, l'onde océanique de Kelvin joue un rôle crucial dans l'accomplissement du phénomène el Niño. Les ondes de Kelvin sont le produit soit d'une réflexion des ondes de Rossby sur les côtes ouest du pacifique, soit d'une perturbation de la surface océanique due aux anomalies relatives aux alizés [6].

Quant à l'impact que peuvent avoir ces ondes sur l'état du Pacifique équatorial deux phénomènes peuvent être observés le Upwelling et le Downwelling. Différents processus associés à l'onde de Kelvin sont donc à l'origine de la variation de la température des surfaces des eaux. Alimentées d'anomalie sous forme de courant ces mêmes ondes et selon le phénomène conséquent (Upwelling et Downwelling) résultent à l'apparition de zones chaudes ou "warm pool", soit à l'est, soit à l'ouest [7]. Ces anomalies de température sont constamment suivies par le Centre De Prévision Climatique en vue de prévoir les épisodes El Niño [8].

Découlant des équations de Barré de Saint-Venant, ces ondes définissent un système d'équations aux dérivées partielles admettant une solution générale de même forme qu'une onde plane. Cette solution a été proposée, numériquement, par Richardson-Sielecki en considérant la grille Arakawa C [9].

Problématique retenue

Dans le phénomène El Niño l'océan, déstabilisé, retourne lentement vers un état d'équilibre grâce à des ondes internes : les ondes de Kelvin et les ondes de Rossby qui modifient les profondeurs de la thermocline.

Comment les ondes de Kelvin modifient la profondeur de la thermocline en se propageant ?

Objectifs du TIPE

Je me propose :

- 1) D'étudier les ondes équatoriales en surface à partir des équations RSW (Rotating Shallow Water).
- 2) D'étudier les ondes internes pour en arriver à montrer que le premier mode barocline est responsable de la variation de la profondeur de la thermocline.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] ALEXANDRE PROUST & VINCENT SIMION : El Niño :

<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD9899/travaux/optsee/hym/nome05/pa01.htm>

[2] WIKIPÉDIA : Oscillation australe : https://fr.wikipedia.org/wiki/Oscillation_australe

[3] FRANÇOIS DURAND-DASTES : Oscillation australe : <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article722>

- [4] RENÉ MOREAU : Le phénomène des marées et El Niño : <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/meteorologie-air-eau-deux-fluides-essentiels-1782/page/7/>
- [5] MERLE JACQUES, TOURRE YVES : El Niño 1982-1983 et ses conséquences climatologiques : https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/b_fdi_37-38/43830.pdf
- [6] K.-Y. KIM, Y. Y. KIM : Mechanism of Kelvin and Rossby waves during ENSO events : https://www.researchgate.net/publication/226102849_Mechanism_of_Kelvin_and_Rossby_waves_during_ENSO_events
- [7] KOBİ A. MOSQUERA VÁSQUES : L'onde de Kelvin équatoriale océanique intra saisonnière et les événements El Nino du Pacifique central : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01417276>
- [8] CLIMATE PREDICTION CENTER / NCEP : ENSO: Recent Evolution, Current Status and Predictions : https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/lanina/enso_evolution-status-fcsts-web.pdf
- [9] M.G.G FOREMAN : A Two-Dimensional Dispersion Analysis of Selected Methods for Solving the Linearized Shallow Water Equations : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0021999184900974#!>

Modélisation des vagues scélérates dans le but de les prédire

Je me suis toujours demandé s'il existait sur Terre des vagues aussi impressionnantes que celles qu'on a vu dans le fameux film "Interstellar".

Après plusieurs lectures, il s'avère qu'en effet ils en existent sous le nom de vagues scélérates. C'est pourquoi j'ai décidé de me pencher sur leur étude.

Mon Tipe s'intéresse aux vagues scélérates qui se trouvent bien dans les océans. Il est donc en parfaite adéquation avec le thème de cette année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Analyse), PHYSIQUE (Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>vague scélérate</i>	<i>freak/rogue wave</i>
<i>prévention des catastrophes</i>	<i>disaster prevention</i>
<i>non linéarité</i>	<i>nonlinearity</i>
<i>soliton</i>	<i>soliton</i>
<i>instabilité hydrodynamique</i>	<i>hydrodynamic instability</i>

Bibliographie commentée

Des navires disparaissent sur les vastes étendus océaniques, avec un taux d'un par semaine, dans des circonstances assez mystérieuses [1] .

Les scientifiques n'ont que récemment (depuis les années soixante-dix) commencé à croire qu'un grand nombre de ces incidents a probablement été dû aux fameuses vagues scélérates [2] .

En effet, les vagues scélérates sont un phénomène naturel très intrigant, mais le manque de preuves objectives a fait qu'elles ont longtemps été considérées comme légendaires appartenant au folklore maritime [1] .

Voici une série d'événements remarquables qui a fait de sorte que les scientifiques prennent au sérieux ce phénomène :

-La disparition du cargo "Munchen" le 12 décembre 1978 malgré qu'il soit équipé d'une technologie avancée et qu'aucune tempête n'avait été enregistrée .

-La prise en photo d'une vague géante en 1980 par Esso Languedoc.

-Le premier enregistrement de la vague Draupner (ou vague du nouvel an) par des sondes à vagues. Elle a été détectée sur la plate-forme pétrolière Draupner dans la mer du Nord, au large de la Norvège, le 1er janvier 1995. Elle mesurait 26 mètres. C'est après cette première que l'étude de ces vagues, appelées aussi vagues tueuses, a réellement débuté .

Une vague scélérate est par définition une vague dont l'indice d'anormalité (le rapport de la longueur de la vague H sur la longueur significatif H_s qui est de 10 m) est strictement supérieur à 2 [4] .

Elles peuvent parfois dépasser 30 mètres de hauteur creux-crête et exercent des pressions phénoménales d'où leur dangerosité. Il est important de noter que ces vagues sont possibles en plein océan comme sur les côtes, quelques soient les profondeurs, et avec ou sans vent. Cela explique la difficulté de les étudier [2] .

L'une des particularités de ces vagues est leur caractère non-linéaire très élevé. Ceci ajoute de la difficulté à l'étude de ce phénomène, vu que la superposition de deux vagues scélérates va au delà de leurs simple sommation. Mais cela a aussi servi comme piste aux scientifiques qui ont cerné le lien entre ces ondes hydrauliques non-linéaire et les ondes lumineuses .Ce qui les a incité à chercher des liens avec l'optique. Après maintes études, il s'est avéré possible d'étudier les vagues scélérates à travers les fibres optiques [3]&[4] .

De plus, il a récemment été possible de recréer la vague Draupner au laboratoire de l'université d'Edinburgh à la FloWaveTT, chose que les chercheurs pensaient impossible, ce qui a montré que la vague de Daupner a été créée à cause de croisement à grands angles (entre 60° et 120°) [5].

Au cours de la dernière décennie , il a été couramment confirmé que ces vagues sont dues à l'effet d'instabilité de Benjamin-Feir qui résulte d'une augmentation de la déformation d'une onde périodique (dans notre cas d'une onde hydraulique) ce qui génère un train d'impulsion entraînant l'augmentation de sa puissance ou/et l'amplitude de sa propagation, ce qui confirme encore la dangerosité de ces vagues [4]&[6].

Problématique retenue

Serait-il est possible de prédire ces vagues monstrueuses grâce aux modèles physiques et mathématiques, auxquels plusieurs travaux de recherches se sont intéressés, dans le but de minimiser leurs dégâts matériels et les éventuelles pertes humaines ?

Objectifs du TIPE

- Modélisation d'une vague scélérate avec un modèle simpliste de Burgers
- Amélioration de la modélisation à l'aide de l'équation de Korteweg-de Vries.
- Résolution analytique, dans quelques conditions particulières, des modèles choisis.
- Eventuelle résolution numérique des cas ne pouvant pas être résolus de façon analytique.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] VICTOR S. LVOV : freak Waves in the Ocean
- [2] CHRISTIAN KHARIF, EFIM PELINOVSKY : Physical Mechanisms of the Rogue Wave Phenomenon : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00000352>
- [3] CHRISTOPHE FINOT, KAMAL HAMMANI, BERTRAND KIBLER, JOHN M. DUDLEY, GUY MILLOT : Du soliton

hydrodynamique à la vague scélérate: reproduire optiquement les ondes non-linéaires pour mieux les comprendre et les maîtriser : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00469896>

[4] KAMAL HAMMANI : Ondes scélérates et statistiques extrêmes dans les systèmes optiques fibrés

[5] M. L. McALLISTER : Laboratory recreation of the Draupner wave and the role of breaking in crossing seas

[6] WEIDA XIA : Numerical simulation of freak waves in random sea state

Les barrages flottants: Il est temps de nettoyer nos océans !

En voyant davantage de sacs plastiques dans l'eau que de poissons, il devient évident que la pollution littorale par ces déchets est aujourd'hui l'un des problèmes majeurs pour le milieu maritime. Ainsi, j'ai décidé de travailler sur une solution innovante qui consiste à utiliser des barrages flottants océaniques anti-polluants

Mon sujet traite de la modélisation de la structure mécanique d'un barrage flottant face aux forces extérieures dues à la houle et aux différentes vagues océaniques. Il s'inscrit naturellement dans le thème de cette année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>modélisation</i>	<i>modelling</i>
<i>structure mécanique</i>	<i>mechanical structure</i>
<i>flotteur océanique</i>	<i>ocean float</i>
<i>pollution océanique</i>	<i>ocean pollution</i>
<i>plateforme pétrolière</i>	<i>oil platform</i>

Bibliographie commentée

A nos jours, un barrage flottant est une structure indispensable pour les milieux maritimes, vu l'état tragique de nos océans.

En effet, on produit 300 millions de tonnes de plastique moyennement par année et entre 8 et 12 millions de cette quantité finissent malheureusement dans nos océans –qui est analogue à vider un camion poubelle chaque minute. {1}

Polluer nos océans qui sont essentiels à notre vie sur Terre est irresponsable et ne pas essayer de trouver la solution pour les nettoyer est pire. Les océans fournissent la moitié d'oxygène qu'on respire, grâce à la photosynthèse réalisée par les organismes végétaux vivant en suspensions dans l'eau. {2}

Les océans constituent une composante essentielle de l'écosystème terrestre et une source de biodiversité, de nourriture et de vie. Ils sont pareillement d'indubitables «puits à carbone» du fait que 30% du CO₂ libérés sur l'échelle mondiale est absorbée par nos océans d'ou leurs primordialité pour éviter les changements climatiques.

C'est un projet ambitieux au cours de sa réalisation par 'ocean cleanup': une organisation néerlandaise qui vise sans aucun avantage financier de vider dans cinq ans environ la moitié

d'ordures deversées dans la région océanique connue sous le nom de 'la grande zone d'ordures du pacifique' et localisée entre Hawaï et la Californie. {3} Ce barrage flottant est l'équivalent d'une poubelle flottante qui va éliminer 15,000 tonnes de plastique par an.

Après la réussite du premier essai de ce flotteur en recueillant les déchets, le problème de la taille de ces derniers s'apparente, les morceaux de plastique inférieurs à un centimètre ne sont pas facile à ramasser ce qui laisse tout entier les microplastiques couler puis ingérer par les poissons. {4}

En effet, ce système de 600 mètres de long flottant sur la surface de l'eau est constitué d'une jupe de 3 mètres de profondeur au-dessous tout tiré par un navire; empêche le plastique de s'échapper au-dessus, tandis que la jupe empêche les débris de s'échapper par dessous, l'étude devient un peu plus compliquée vu l'existence du navire avec ses forces extérieures exercées sur ce barrage flottant.

La modélisation physique d'un barrage flottant est très compliquée. En effet, elle couvre un large spectre de discipline allant de la mécanique des fluides, de l'aéronautique, de la mécanique des structures jusqu'à la mécanique des milieux continus. A cet égard, les spécialistes des structures océaniques utilisent soit la méthode des éléments finis réputée par sa complexité numérique et mathématique soit par des lois empiriques déduites par les données expérimentales comme la formule de Morison. Il s'avère nécessaire de trouver une solution alternative opérant avec des modèles simplistes d'un niveau abordable en classes préparatoires. L'idée consiste alors à modéliser ce barrage flottant comme une plateforme pétrolière attachée au niveau du fond océanique par des câbles afin d'assurer la stabilité et la tenue mécanique.

On peut identifier deux approches: une approche statique et une autre dynamique.

L'approche statique consiste à assimiler le barrages flottant à des poutres .

L'approche dynamique permet de modéliser le barrage comme un système solide attaché par un ressort et soumis d'une part à des forces de frottement de différents types et d'autres part aux forces dynamique de la houle. {5}

Ainsi, on peut modéliser ce système par une équation différentielle d'ordre 2 linéaire ou non linéaire. Cette équation peut être résolue à l'aide de plusieurs méthodes. La résolution analytique s'opère avec une transformation de Fourier et n'est possible que dans un régime linéaire. Dans le cas d'un régime non linéaire où les forces de frottements ne sont plus fluide, il est nécessaire d'appliquer les méthodes numériques comme la méthode d'Euler explicite, de Runge Kutta qui se trouve dans un solveur numérique ode du module scipy en Python.

Problématique retenue

Comment peut-on assurer la stabilité et la tenue mécanique d'un barrage flottant dans l'océan?

Objectifs du TIPE

1. Réalisation d'une modélisation d'un barrage flottant dans un cadre statique.

2. Une deuxième modélisation sera faite dans un cadre dynamique.

3. Simulation numérique des différentes modélisations.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] ELLEN MACARTHUR FOUNDATION : Pour une nouvelle économie des plastiques :

https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/NPEC-Hybrid_French_22-11-17_Digital.pdf

[2] OCEAN & CLIMATE PLATFORM : L'océan, origine de la vie : https://ocean-climate.org/?page_id=2020

[3] LE FIGARO : Pacifique: «The Ocean Cleanup» collecte du plastique pour la première fois :

<https://www.lefigaro.fr/sciences/pacifique-the-ocean-cleanup-collecte-du-plastique-pour-la-premiere-fois-20191002>

[4] LA CROIX : La mer de plastique dans le Pacifique représente trois fois la taille de la France :

<https://www.la-croix.com/Sciences-et-ethique/Environnement/mer-plastique-Pacifique-represente-trois-fois-taille-France-2018-03-23-1200926218>

[5] PAOLO VANNUCCI : Un parcours de recherche multidisciplinaire en mécanique: Analyse des forces de la houle et optimisation d'une plate-forme pétrolière Calcul de branches bifurquées par la méthode asymptotique numérique La méthode polaire en analyse, identification et conception par algorithme génétique des stratifiés : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00625958/document>

Effets de la surpêche et de l'acidification des océans sur les récifs coralliens

M'étant dès mon année de terminale intéressée aux possibles répercussions du changement climatique sur les sociétés humaines, il me semblait naturel d'étudier son impact sur les écosystèmes océaniques. C'est ainsi que je portais mon attention sur les coraux, espèce animale occupant une place prépondérante dans ces écosystèmes en question.

Mon étude porte sur des écosystèmes océaniques et de ce fait relève du thème de cette année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

CHIMIE (Chimie Analytique), MATHÉMATIQUES (Analyse), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>récif corallien</i>	<i>coral reefs</i>
<i>réchauffement climatique</i>	<i>global warming</i>
<i>acidification</i>	<i>acidification</i>
<i>surpêche</i>	<i>overfishing</i>
<i>écosystème océanique</i>	<i>ocean ecosystem</i>

Bibliographie commentée

Le corail est un animal marin s'organisant en de très massives colonies. Celles-ci forment d'imposantes structures (récifs coralliens) dont certaines s'étendent sur plusieurs centaines de kilomètres. Ainsi, la grande barrière, située sur les côtes du Queensland en Australie, est le plus grand récif au monde (2300 km). Les coraux occupent une place centrale dans l'écosystème marin, hébergeant plus de 30% des espèces qu'il comporte. De plus, ils constituent un enjeu social et économique d'envergure pour de nombreux pays (tourisme récifal, exploitation des ressources halieutiques). Néanmoins, de nombreuses pratiques humaines menacent les récifs coralliens (réchauffement climatique, surpêche, pollution...) et certains facteurs environnementaux (ouragans, blanchiment, maladies...) contribuent à leur dégradation. [1]

En 2013, Xiang Li, Hao Wang, Zheng Zhang et Alan Hastings introduisent un modèle visant à étudier les dynamiques des récifs sous l'effet de différents facteurs. [2] Dans celui-ci, le paramètre prépondérant est le niveau de consommation des pâturages coralliens réalisés par certaines espèces marines (notamment le poisson perroquet et le chirurgien bleu). Ces deux espèces, fortement victimes de la surpêche, ont le rôle crucial de réguler ces niveaux, ce qui assure le bon fonctionnement de l'écosystème. Pour ce faire, ils reprennent un modèle développé en 2007 par Mumby et al [3], modélisant les dynamiques du récif par des équations différentielles ordinaires, et introduisent un délai lié au temps de restauration du pâturage, obtenant ainsi des DDE (Delay differential equations). Un système couplé d'équations différentielles est ainsi établi afin de rendre

compte de l'évolution des populations de coraux, de macroalgues et de gazons algaux ainsi que des relations existantes entre elles.

En 2018, Andrew Lenton et al avancent que les écosystèmes océaniques sont fortement affectés par l'acidification des océans. Ce phénomène est en effet du à l'augmentation des quantités de CO₂ atmosphérique liée à l'accumulation des émissions de dioxyde de carbone par l'homme dans l'atmosphère, à l'origine du réchauffement climatique. En effet, l'océan absorbe une très grande partie du CO₂, davantage que les forêts. Ces variations des niveaux d'acidité des océans peuvent persister pendant des milliers d'années, et présenter de sérieuses menaces pour certaines espèces océaniques au cœur des écosystèmes, tels que les récifs coralliens. [4]

En 2007, Guldborg et al avancent que le réchauffement climatique et l'acidification des océans compromettent la diversité des communautés de coraux, dont les squelettes calcaires forment des structures protectrices pour une fraction considérable de la faune océanique. En particulier, la diminution du pH de l'eau mène à une diminution de la concentration des ions carbonates. Ceux-ci ont une grande importance dans la formation des structures calcaires des coraux: Ils réagissent avec les ions calcium pour former le calcaire. [5]

Problématique retenue

Certaines pratiques humaines tels que la surpêche et l'émissions de CO₂ dans l'atmosphère ont un impact significatif non seulement sur les populations de coraux mais aussi sur les écosystèmes océaniques dans leur ensemble.

Ainsi, quels effets ont ces différentes pratiques sur les dynamiques et la structure des récifs coralliens ?

Objectifs du TIPE

- Modélisation de l'évolution des coraux océaniques avec des modèles dynamiques (système d'équations différentielles)
- Étude mathématique de l'unicité et de l'existence des solutions
- Résolution analytique des cas simples
- Résolution numérique des modèles obtenus
- Étude de la stabilité et convergence numérique des solutions.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] F. MOBERG, C. FOLKE : Ecological goods and services of coral reef ecosystems :
https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/Moberg%26Folke_1999_coralreef%20goods%20%26%20services.pdf
- [2] X. LI, H. WANG, Z. ZHANG, A. HASTING : Mathematical analysis of coral reef models :
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022247X14001917>
- [3] P.J.MUMBY, A. HASTINGS, H.J EDWARDS : Thresholds and the resilience of Caribbean coral reefs :
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17972885>
- [4] LENTON A, MATEAR RJ, MONGIN M : Effects of Climate Change on Ocean Acidification Relevant

to Pacific Islands :

https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/3_Ocean_Acidification.pdf

[5] MUTHIGA, R. H. BRADBURY, A. DUBI, AND M. E. HATZIOLOS : Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification : *<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18079392>*

Traitement d'images sous-marines

Les abysses océaniques avec leurs richesses et leurs mystères non élucidés m'ont incité vouloir comprendre comment on peut améliorer la qualité des images acquises sous l'eau. Cela ouvre la porte à plusieurs applications telles que la navigation, la documentation, l'imagerie 3D, l'étude de la biodiversité de l'environnement aquatique, etc...

Le traitement d'images sous-marines facilite aux océanologues l'accès aux informations qu'ils requièrent au biais de la correction de ces images.

Cette étude s'avère alors utile dans le domaine de l'océanographie elle donc en corrélation avec notre thème.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées), MATHÉMATIQUES (Algèbre).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Imagerie sous-marine</i>	<i>Underwater Imaging</i>
<i>Correction des couleurs</i>	<i>Color Correction</i>
<i>Espace colorimétrique de Ruderman</i>	<i>Ruderman color space</i>
<i>Hypothèse du monde-gris</i>	<i>Gray-world Hypothesis</i>
<i>Entropie d'une image</i>	<i>Image Entropie</i>

Bibliographie commentée

Le traitement d'images vise à améliorer la qualité d'une image et en extraire des informations pertinentes. Cependant, le mode et les conditions d'acquisition conditionnent largement les opérations qu'on pourrait appliquer. Pour les images acquises sous l'eau, leur qualité est affectée de nombreuses dégradations dues à l'environnement aquatique. En effet, la lumière, en pénétrant dans l'eau, subit une atténuation par absorption, et par conséquent, les couleurs du spectre visible commencent à disparaître progressivement selon leurs longueurs d'onde. D'une façon générale, les radiations correspondantes aux plus faibles fréquences sont les plus absorbées. Cette propriété explique l'aspect bleuté-verdâtre que présentent en général les images sous-marines. D'autre part la turbidité de l'eau altère la qualité de l'image à cause de la diffusion de la lumière incidente. [1] Ces dernières années, plusieurs techniques ont été proposées pour la correction des scènes sous-marines. Elles sont classées en deux catégories :

- Les techniques de restauration d'images qui se basent sur une approche physique décrivant le processus de leurs formations. C'est un problème d'inversion de la propagation de la lumière nécessitant une maîtrise des paramètres physiques du milieu qui entrent en jeu : les paramètres optiques, les paramètres biologiques (algue, matière organique dissoute,...) [1], [2] d'où la complexité de ce processus.

- Les techniques d'amélioration d'images qui s'appuient sur des critères qualitatifs et subjectifs pour aboutir à une correction réaliste des images. Ces méthodes sont très efficaces et ne demandent aucune connaissance des paramètres physiques du milieu. Dans cette optique, plusieurs scientifiques se sont lancés dans l'implémentation de différents algorithmes d'amélioration des scènes sous-marines.

Iqbal et al.(2007) ont proposé un étirement du contraste de l'image dans l'espace de couleur Rouge Vert Bleu (RVB) suivi d'un autre étirement de la saturation et de l'intensité dans l'espace colorimétrique Teinte Saturation Intensité (TSI) [3]. Ceci permet d'égaliser le contraste de la scène tout en abordant le problème de luminosité. L'espace de couleur TSI a été utilisé dans une autre méthode composée de deux étapes, la correction du contraste et en suite la correction des couleurs [4] :

- 1) Un équilibrage des valeurs de l'intensité dans chaque canal de couleur dans l'image a été effectué en s'appuyant sur la théorie de Von Kries mais modifiée. Puis, un étirement global de l'histogramme de l'image par rapport à la valeur moyenne a abouti à deux images avec deux intensités différentes tout en respectant la loi de distribution de Raleigh.
- 2) La correction des couleurs a été élaborée dans l'espace TSI avec un étirement de la saturation et de l'intensité.

Un autre espace colorimétrique a été investi, c'est l'espace de couleurs antagonistes de Ruderman $l\alpha\beta$, avec l c'est la luminance alors que α et β sont deux composantes chromatiques antagonistes, Jaune-Bleu et Rouge-Vert [5]. Les caractéristiques de cet espace sont en ressemblance avec ceux du système visuel humain. Pour cette raison, une équipe de chercheurs ont travaillé avec cet espace sous deux hypothèses jugées réalistes [6]. L'hypothèse d'un éclairage uniforme de la scène et l'hypothèse du monde-gris (gray-world) qui assume que la moyenne des couleurs de l'image acquise est grise. Ces suppositions permettent de séparer la luminance des composantes chromatiques.

Il existe deux modes de comparaison de l'efficacité des différents algorithmes : Une comparaison qualitative du point de vue de la perception visuelle des couleurs, du contraste et de la luminosité de l'image, et une comparaison quantitative fondée sur des critères bien déterminés [4]. Ces critères sont l'erreur quadratique moyenne (EQM), le rapport signal/bruit de crête (Peak Signal to Noise Ratio : PSNR) et l'entropie d'une image. D'une part, l'EQM et la PSNR déterminent le bruit de l'image. En fait, le bruit est défini comme étant les fluctuations aléatoires de l'intensité du signal. D'autre part, l'entropie d'une image mesure le taux d'information qu'elle contient.

Problématique retenue

Il s'agit de concevoir sous Python un algorithme de correction des scènes sous-marines et de la comparer avec d'autres.

Objectifs du TIPE

1. Modélisation informatique : mise en œuvre d'un algorithme de traitement d'images par une méthode appliquée dans l'espace colorimétrique de Ruderman $l\alpha\beta$.

2. Evaluation de l'efficacité de l'algorithme: comparaison avec d'autres méthodes en s'appuyant sur des critères bien déterminés

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] SCHETTINI, R., CORCHS, S. : Underwater Image Processing: State of the Art of Restoration and Image Enhancement Methods : <https://doi.org/10.1155/2010/746052>
- [2] PETIT FRÉDÉRIC : Traitement et analyse d'images couleur sous-marines : modèles physiques et représentation quaternionique : <http://nuxeo.edel.univ-poitiers.fr/nuxeo/site/esupversions/8a066371-840d-44ea-a371-71a3b8b6c9fd>
- [3] IQBAL K, SALAM RA, OSMAN A, TALIB AZ : Underwater image enhancement using integrated color model : <https://pdfs.semanticscholar.org/f5f8/77290a40b2bf7517405b404d348f56d7f58f.pdf>
- [4] ABDUL GHANI, A.S., MAT ISA, N.A : Underwater image quality enhancement through composition of dual-intensity images and Rayleigh-stretching : <https://doi.org/10.1186/2193-1801-3-757>
- [5] ERIK REINHARD, MICHAEL ASHIKHMIN, BRUCE GOOCH, AND PETER SHIRLEY : Color Transfer Between Images : <https://www.cs.tau.ac.il/~turkel/imagepapers/ColorTransfer.pdf>
- [6] G. BIANCO, M. MUZZUPAPPA, F. BRUNO, R. GARCIA, L. NEUMANN : New color correction method for underwater : <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-5-W5/25/2015/isprsarchives-XL-5-W5-25-2015.pdf>

Effets du réchauffement climatique et de la surpêche sur les coraux

Le corail est un élément incontournable des bijoux traditionnels tunisiens. Cependant, seulement une minorité sait qu'il est une espèce animale menacée. Le réchauffement climatique et la surpêche en sont la principale cause. De ce fait, j'ai jugé intéressant d'étudier la dynamique des coraux face aux changements climatique et la surpêche.

Le sujet met en évidence et étudie les causes des dangers exposant les coraux. Ces derniers représentent un maillon essentiel et indispensable dans l'équilibre biologique des océans. Ainsi mon sujet est en accord avec le thème.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Analyse), INFORMATIQUE (Informatique pratique), CHIMIE (Chimie Analytique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Corail</i>	<i>Coral</i>
<i>Acidification</i>	<i>Acidification</i>
<i>Broutage</i>	<i>Grazing</i>
<i>Rugosité</i>	<i>Ruggedness</i>
<i>dynamique des populations</i>	<i>population dynamics</i>

Bibliographie commentée

Les récifs coralliens forment l'un des écosystèmes marins les plus riches mais aussi les plus vulnérables. Ses principaux atouts sont liés à la diversité des espèces qui y séjournent, son impact sur la protection contre les tempêtes et les ouragans ou encore sa portée touristique et économique. Malgré cela, ils sont gravement menacés par les effets du changement climatique et de la pêche industrielle.[6]

Les coraux ont survécu tous ces millénaires grâce à la stabilité de la température de l'océan sous les tropiques. Malheureusement, sous l'effet du réchauffement climatique ce n'est plus possible. Ces menaces sur les récifs coralliens, à l'image de l'ensemble des écosystèmes naturels de notre planète, pèsent grandement sur le maintien de la biodiversité. Effectivement, les maladies, représentant la principale cause de la disparition des récifs, semblent évoluer avec ces contraintes thermiques. Le phénomène de blanchiment est devenu de plus en plus fréquent [2][3][4]. Une augmentation de 1° ou 2°C des eaux de surface au-delà du maxima habituel (27°C) sur une durée de 2 semaines est suffisante pour provoquer un blanchissement massif, affectant la croissance, l'alimentation et d'autres processus écologiques des récifs[4]. Ce phénomène est une manifestation de la perte et la mort des zooxanthelles qui sont des micro-algues vivant au sein des tissus corallien.[2][4]

En 1997–1998, le plus grand événement de blanchissement au monde a tué 16% des récifs du

monde, avec une mortalité proche de 90% à Bahreïn, aux Maldives, au Sri Lanka, à Singapour et dans certaines parties de la Tanzanie[1].

L'acidification des océans est considérée comme un autre facteur de stress affectant les coraux. En effet, une partie de l'excès de gaz carbonique produit par les activités humaines se dissout dans les océans provoquant une augmentation de l'acidité des océans. Le pH a diminué d'environ 0,1 unité depuis le début du siècle dernier (8,2 à 8,1) ce qui correspond à une augmentation de l'acidité des eaux d'environ 30 %. L'acidification affecte principalement la vitesse de calcification des coraux, et donc la croissance récifale.[3][6]

Pourtant interdites, des méthodes de pêches destructrices sont encore utilisées telles que l'utilisation de cyanure ou de dynamite.

La pêche intensive entraîne de profondes perturbations de l'équilibre dans le récif corallien. En effet la pêche, en particulier des poissons perroquets et poissons chirurgiens, herbivores, n'affecte pas juste la quantité de nourriture mais il modifie toute la dynamique d'un récif. [5]

P.J. Mumby utilise un modèle mathématique pour montrer le comportement dynamique des coraux face au changement de plusieurs facteurs comme celui des niveaux du pâturage ou de population de micro-algue. Cette dynamique est décrite comme un système couplé d'équations différentielles non linéaires en considérant une population de corail, de gazon et de macro-algue qui remplissent l'ensemble de l'espace disponible[5]. Une résolution analytique peut se faire à l'aide de la transformée de Laplace ou la transformée de Fourier. En plus d'une résolution numérique, à l'aide de la méthode d'Euler explicite ou celle de Range-Katta.

Problématique retenue

Comment l'acidification agit-elle sur les récifs coralliens ? Comment l'élévation de la température et la surpêche influent-elles sur la dynamique des coraux?

Objectifs du TIPE

- Modélisation de la dynamique des coraux par des modèles mathématiques
- Résolution analytique et numérique
- Corrélation avec une étude chimique

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] EDITION COLLECTIVE : Global warming takes a toll on coral reefs :

https://editors.eol.org/eoearth/wiki/Global_warming_takes_a_toll_on_coral_reefs consulté le 03/10/2019

[2] COURTIAL LUCILE; ALLEMAND DENIS; FURLA PAOLA : Coraux : les ingénieurs des océans sont menacés : <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/coraux-ingenieurs-oceans-menaces/> consulté le 10/09/2019

[3] DENIS ALLEMAND : Les coraux et le changement climatique : <https://ocean-climate.org/wp->

content/uploads/2020/01/7.-Les-coraux-et-le-CC-fiches-scientifiques-2016.pdf consulté le 10/09/2019

[4] MARTIN CALOGNOLI : Coraux : impact du réchauffement climatique sur les récifs : <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/environnement-coraux-face-rechauffement-climatique-2479/page/6/> consulté le 13/11/2019

[5] XIONG LI; HAO WANG; ZHENG ZHANG; ALAN HASTINGS : Mathematical analysis of coral reef models : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022247X14001917> consulté le 03/10/2019

[6] MELANIE MCFIELD : Impacts of Climate Change on Coral in the Coastal and Marine Environments of Caribbean Small Island Developing States (SIDS) : http://crfm.int/~uwohxjxf/images/6._Coral.pdf consulté le 03/10/2019

Centres de données sous-marins

D'après L'Agence Internationale d'Énergie (IEA), environ 1,1% de la consommation mondiale d'électricité est dédiée aux centres de données pendant l'année 2018. À cet égard, nous nous sommes intéressées à l'idée d'immerger les centres de données dans l'eau afin d'optimiser les coûts de refroidissement de ces dispositifs aussi énergivores.

Ce sujet s'inscrit dans le thème de cette année. En effet, la capacité de refroidissement des océans, à une profondeur bien déterminée, servira à remplacer aux coûteuses techniques de refroidissement des centres de données terriens gigantesques dont on trouve le refroidissement électrique, à eau et même par l'azote liquide.

Une demande de confidentialité a été enregistrée pour ce MCOT.

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- *FATHALLAH Mohamed Mehdi*

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique de la Matière), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Modélisation scientifique</i>	<i>Scientific modelling</i>
<i>transfert thermique</i>	<i>Heat transfer</i>
<i>Equation de chaleur</i>	<i>Heat equation</i>
<i>Résolution analytique</i>	<i>Analytical solution</i>
<i>Résolution numérique</i>	<i>Numerical solution</i>

Bibliographie commentée

Un Data Center ou centre de données est un espace physique qui regroupe des équipements informatiques (serveurs, baies de stockage...) permettant le stockage, le traitement et la protection de données [1].

De nos jours, on compte plus que 8 millions de centres de données autour du monde et entre 2019 et 2023 les analystes estiment un taux de croissance annuel composé (CAGR) de 17% [2].

Le problème est que ces centres de données consomment environ 200 TWh soit l'équivalent de la production 33 réacteurs nucléaires de puissance 900 MW ou la consommation de 13 600 000 foyers environ par an [3].

Vers la moitié du coût global d'un centre de données est destinée à l'alimentation dont 40% est consommée par les équipements de refroidissement. De plus, ces établissements énormes contribuent considérablement aux émissions du dioxyde de carbone [3], principalement pour la construction des bâtiments et la production de l'électricité pour le refroidissement.

A cause de ses différents points, un groupe d'ingénieurs responsables des data centers de Microsoft ont proposé cette ingénieuse idée. Une idée appréciée par Microsoft qui a entamé la création d'un premier prototype en 2014. Aujourd'hui, Microsoft est dans la Phase 2 de ce projet. Après une première phase de test qu'elle décrit réussie

Cette solution modulaire qui nous fait gagner énormément de ressources ainsi que plusieurs autres avantages par rapport aux centres de données classiques [4] :

- Conservation des terres utilisées pour la construction des centres.
- Économiser la consommation énorme en énergie pour le refroidissement et l'alimentation par l'exploitation de l'énergie thermique des mers (ETM).
- Mobilité des centres de données et possibilité de changement d'emplacement.
- Déploiement très rapide (environ 90 jours) par rapport à 2 ans pour un centre de donnée typique.
- Amélioration considérable au niveau des latences de connexion grâce à la distance réduite entre les utilisateurs et les centres de données.

Autres que ces avantages multiples, cette idée d'immerger les centres de données sous l'eau présente aussi des inconvénients qu'on peut considérer comme défis afin de réussir à élaborer ce projet concrètement ; principalement l'accès très limité au serveur du centre de données

Ces centres de données sous-marins seront modélisés par un cylindre [4]. Une forme avec des côtes totalement arrondies afin d'assurer une distribution surfacique infinie des forces de pressions pour éviter l'effondrement mécanique (pour assurer la tenue mécanique).

Ce cylindre est en contact direct avec l'eau qui est un fluide possédant des caractéristiques très différentes du vide. Ce qui nous incite à vérifier la validité des différents modes de transfert d'énergie thermique afin de pouvoir effectuer un bilan énergétique.

La conduction thermique: un mode de transfert thermique dans les solides sans déplacement macroscopique de matière. Ce transfert s'effectue de proche en proche des parties chaudes vers les parties froides, grâce à l'agitation thermique. Ce phénomène apparaît entre les différents composants informatiques (principalement des serveurs avec des processeurs qui émettent de la chaleur), et on obtient ainsi un terme de production provenant de l'énergie dissipée par effet joule dans les circuits à l'intérieur du centre, à comptabiliser dans le bilan [5].

Le transfert conducto-convectif résulte de l'écoulement du fluide près de la paroi du cylindre. En effet, l'ensemble des mouvements internes (verticaux ou horizontaux) qui animent l'eau effectuent un transfert de la chaleur entre la surface du cylindre et l'eau en mouvement. L'expression du flux de chaleur est donnée par la loi de Newton.

Le rayonnement électromagnétique est émis par un corps chaud et dont l'énergie reçue par le système est absorbée et convertie en énergie thermique. Pour notre cas d'étude, le rayonnement solaire, qui couvre une large gamme de fréquences, intervient. Cependant, lors de sa pénétration dans l'eau, ce rayonnement subit une absorption et à la profondeur désirée (de l'ordre de 40 m) on ne détecte plus que des émissions de longueurs d'onde entre 450 et 500 nanomètres et dont l'apport énergétique sera négligé [6].

Problématique retenue

Est-ce que le refroidissement par les eaux de l'océan est efficace? Comment peut-on désigner un rendement qui permette de comparer les deux systèmes terrien et sous-marin ?

Objectifs du TIPE

-Modélisation d'un centre de données par une géométrie cylindrique.

- Élaboration d'un modèle physique basé sur l'équation de la chaleur.
- Résolution analytique de l'équation de chaleur par transformée de Fourier.
- Résolution numérique de ladite équation à l'aide de la méthode de différences finies.
- Comparaison avec les solutions trouvées par mon collègue.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] ANTHONY BARBIER : L'efficacité énergétique dans les data center : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-27968-data-center-atee.pdf>
- [2] MARKETWATCH : Data Center Market Size & Share 2019 - Review, Key Findings, Company Profiles, Complete Analysis, Growth Strategy, Developing Technologies, Trends and Forecast by Regions : <https://www.marketwatch.com/press-release/data-center-market-size-share-2019---review-key-findings-company-profiles-complete-analysis-growth-strategy-developing-technologies-trends-and-forecast-by-regions-2019-10-21>
- [3] NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL, INC : Data Center Efficiency Assessment : Page 5 : <https://www.nrdc.org/sites/default/files/data-center-efficiency-assessment-IP.pdf>
- [4] MICROSOFT : Project Natick : Facts and Figures : <https://natick.research.microsoft.com/>
- [5] JAY HENDRIX : How And Why Thermal Optimization Pays Off - Figure 1 : <https://www.missioncriticalmagazine.com/articles/88785-how-and-why-thermal-optimization-pays-off>
- [6] WATER ENCYCLOPEDIA : Light Transmission in the Ocean - Light Spectrum : <http://www.waterencyclopedia.com/La-Mi/Light-Transmission-in-the-Ocean.html>

Prédictibilité des vagues scélérates

J'ai lu dans un article qu'on moyenne 200 navires coulaient par an .Il s'est avéré qu'il est fort probable que la majorité de ces bateaux ont été confronté à des vagues scélérates. C'est la gravité des répercussions de ce phénomène qui m'a poussé à travailler sur ce sujet.

Mon sujet s'inscrit dans le thème de cette année. En effet en prédisant l'apparition de ces vagues scélérates à l'aide d'une analyse des données, on pourra les détecter et éviter ce genre de catastrophe, qui représentent une grande menace dans l'océan.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique), PHYSIQUE (Physique Ondulatoire).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>analyse en composantes principales</i>	<i>principal components analysis</i>
<i>vague scélérate</i>	<i>rogue wave</i>
<i>signal</i>	<i>signal</i>
<i>analyse des données</i>	<i>data analysis</i>
<i>séries chronologiques</i>	<i>time series</i>

Bibliographie commentée

Depuis quelques décennies, plusieurs travaux scientifiques ont été menés au sujet des mécanismes de génération et de la prédictibilité des vagues scélérates. En fait une vague scélérate est une vague où la hauteur du creux à la crête dépasse la hauteur significative d'un facteur de 2,9[1]. Les physiciens se sont focalisé sur ce phénomène étrange et ont essayé d'élaborer plusieurs modèles physiques avec lesquels ils essayent d'expliquer les mécanismes de génération de ces vagues scélérates.

Les causes d'apparition des vagues scélérates peuvent être générées à partir d'une focalisation spatio-temporelle [5]. Ce mécanisme induit à une concentration de l'énergie des vagues dans un domaine réduit, ce qui provoque la naissance des vagues de hautes amplitudes. Ce modèle est traduit par l'équation de Korteweg de Vries.

Plusieurs autres modèles physiques viennent expliquer ce phénomène étrange. Mais les vagues scélérates restent mystérieuses, et ceci est dû aux difficultés des équations qui peuvent traduire ce phénomène. C'est pour cela qu'un grand comité de physiciens mathématiciens s'est penché sur ce sujet d'un point de vue statistique et probabiliste [6].

Le 27 juin 2019, à travers son article « Statistical analysis of Draupner Wace Data » [2], Do Young Kim a effectué une analyse de données concernant l'accident qui s'est produit d'une plate-forme pétrolière au large de la mer du nord. Ces analyses ont abouti à une meilleure compréhension de ce phénomène ainsi à détecter des anomalies statistiques qui peuvent être élaborées dans la prédiction

de l'apparition de ces vagues indésirables.

Mais pour en arriver à une prédiction de ce phénomène, les données réelles enregistrées par les radars ou les satellites sont insuffisantes, vu la rareté de ce dernier. C'est pour cela que l'utilisation des données issues des expériences optiques est indispensable. Quand un faisceau laser subit des filamentations multiples dans une cellule à gaz, ceci conduit à des structures analogues à notre phénomène étudié [3].

En 2015, quatre chercheurs allemands ont réussi à prédire l'apparition des vagues scélérates [4]. En se basant sur une analyse des séries chronologiques non linéaires issus des données enregistrées par la plate-forme accidentée ainsi que les résultats expérimentaux des événements analogues dans les systèmes optiques. L'application de multiples algorithmes les a permis de détecter une anomalie statistique qui peut être élaboré dans la prédiction de l'apparition des vagues scélérates.

Avec les radars et les satellites on peut enregistrer à chaque instant les niveaux d'eau dans les océans, et suite à une analyse de ces données on peut détecter cette anomalie statistique et donc prédire l'apparition de ces vagues indésirables.

Problématique retenue

Mon sujet a pour but de répondre aux questions suivantes: Comment peut on avec une analyse des données étudier les vagues scélérates? Comment peut-on prédire l'apparition de ces vagues qui semblent être imprévisible?

Objectifs du TIPE

Je me propose de :

- Simuler numériquement des signaux et les traiter.
- Analyser les données réelles enregistrées par la plate-forme Draupner à travers une analyse en composantes principales(ACP) et à travers d'autres méthodes.
- Effectuer une transformation de Fourier sur les séries chronologiques.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] JULIEN TOUBOUL ET CHRISTIAN KHARIF : Les vagues scélérates : mécanismes de génération et prédictibilité : 2015, *La Météorologie no 90*, page 62
- [2] DO YOUNG KIM : Statistical Analysis of Draupner Wave Data : *Journal of Ocean Engineering and Technology 33(3)*, 252-258 June, 2019
- [3] JOHN M. DUDLEY, GOËRY GENTY, ARNAUD MUSSOT, AMIN CHABCHOUB ET FRÉDÉRIC DIAS : Rogue waves and analogies in optics and oceanography : *Nature Reviews (Physics)*, volume 1, Novembre 2019, page 675
- [4] SIMON BIRKHOLZ, AYHAN DEMIRCAN, CARSTEN BRÉE, GÜNTER STEINMEYER : Predictability of Rogue Events : 2015, *PHYSICAL REVIEW LETTERS*, 29 mai 2015
- [5] GUILLAUME DUCROZET : Thèse: Modélisation des processus non-linéaires de génération et de propagation d'états de mer par une approche spectrale : le 09 novembre 2007
- [6] A HADJIHOSEINI, MATTHIAS WÄCHTER, N P HOFFMANN ET J PEINKE : Capturing rogue waves by multi-point statistics : 2016, *New Journal Of Physics*, 18 013017

Détermination de niveau des océans par satellite

Certaines vagues sont si puissantes que rien ne peut les arrêter .

Etant un volontaire au croissant rouge, la protection contre les Tsunamis , un phénomène naturel engendrant de multiples problèmes , est l'un de mes soucis.

Mon travail, s'inscrivant dans le thème de cette année "océan", se focalise sur la détermination du niveau des vagues océanique par satellites

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), MATHÉMATIQUES (Analyse), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>modélisation</i>	<i>modelling</i>
<i>onde électromagnétique</i>	<i>Electromagnetic wave</i>
<i>interaction avec l'interface</i>	<i>interface interaction</i>
<i>la transformé de Fourier</i>	<i>Fourier transform</i>
<i>la propagation</i>	<i>the propagation</i>

Bibliographie commentée

Le vendredi 11 Mars 2011, une vague immense de 15 mètres a frappé la centrale nucléaire de Fukushima. Cette catastrophe naturelle, causée par un séisme, a causé plus de 23000 morts et disparus[3].

Ces destructions sont estimées à 150 milliards d'euros[3]. Cette gigantesque vague est considérée comme étant une catastrophe mondiale.

C'est qu'on appelle les tsunamis qui sont des séries d'ondes de très grandes périodes se propageant à travers un milieu aquatique(Océan), issues du brusque mouvement d'un grand volume d'eau, provoqué généralement par un séisme, un glissement de terrain sous-marin ou une explosion volcanique, et pouvant se transformer, en atteignant les côtes, en vagues destructrices déferlantes de très grande hauteur.

C'est pour cette raison, cette catastrophe est un souci pour la plupart des pays et on cherche

toujours les précautions nécessaires. En effet, en 2008, Le national aeronautics and Space administration (NASA) et Centre national d'études spatiales (CNES) ont envoyé un satellite pour détecter ces vagues.

Ce satellite s'appelle JASON[1][2]: il est lancé par un lanceur delta II 7320 de United launch

alliance depuis la base lancement de Vandenberg en Californie

Ce satellite de 500 kg est placé sur son orbite à 1335 km en 55 minutes. L'altimétrie est basée sur la technique de télédétection : c'est le fait d'acquérir des informations sur un objet ou un phénomène sans avoir un contact avec lui. Pour l'altimétrie, ceci se fait en embarquant un radar sur le satellite qui émet une onde électromagnétique qui se réfléchit sur la surface de l'eau et se renvoie au détecteur embarqué sur le satellite[4].

Ce rayonnement nous permet d'avoir les hauteurs des vagues avec une grande précision en tenant compte des erreurs causées par les couches de l'atmosphère. Après modélisation on obtient des équations aux dérivées partielles de type équation de D'Alembert contenant une dérivée partielle seconde par rapport à l'espace et une dérivée partielle seconde par rapport au temps qui constitue le terme de propagation et une dérivée partielle par rapport au temps qui constitue le terme d'atténuation.

La résolution analytique de ce modèle physique est un peu laborieuse, en effet on doit utiliser une transformée de Fourier. Cette dernière consiste à étudier les intégrales généralisées.

L'application de cette méthode transforme les équations aux dérivées partielles aux équations différentielles dans l'espace de Fourier. On résout donc cette

équation différentielle, puisque la résolution dans cet espace est facile, puis on revient avec une transformée inverse vers l'espace réel.

Parfois le modèle est non linéaire, voilà pourquoi les scientifiques sont obligés d'utiliser des méthodes numériques par élément fini, par volume fini, et par différence finie. Cette méthode dernière utilise des approximations venant des développements de Taylor qui va donner des chemins numériques c'est-à-dire on transforme une équation aux dérivées partielles en une suite numérique à un seul indice puis on écrit un code Python permettant d'effectuer la résolution.

Problématique retenue

Les tsunamis sont vraiment des catastrophes mortelles, Comment peut-on, alors, détecter les variations brutales du niveau de l'océan à l'aide d'un satellite afin de déclencher une alerte?

Objectifs du TIPE

- Modélisation et étude physique de la propagation de l'onde électromagnétique dans l'atmosphère et son interaction avec l'interface océan-atmosphère.

- Résolution des modèles trouvés analytiquement par la transformée de Fourier et numériquement par méthode de différences finies.

- Traitement des données dans le cas d'un satellite Jason.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] CNES : JASON 3 : <https://jason-3.cnes.fr/fr/JASON3/Fr/index.htm> [consulté le 1 octobre 2019]
- [2] CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGIE : JASON 3 (missions) : <https://sealevel.jpl.nasa.gov/missions/jason3/> [consulté le 1 octobre 2019]
- [3] LE MONDE : Les destructions du tsunami au Japon chiffrées à 150 milliards d'euros : https://www.lemonde.fr/asie-pacifique/article/2011/06/24/les-destructions-du-tsunami-au-japon-chiffrees-a-150-milliards-d-euros_1540712_3216.html [consulté le 1 octobre 2019]
- [4] PAOLO CIPOLLINI ET HELEN SNAITH : A short course on Altimetry : https://earth.esa.int/documents/10174/950521/01_Tuesday_OCT2013_Cipollini_Altimetry_1.pdf [consulté le 20 octobre 2019]

Cartographie des fonds marins

La disparition tragique du Boeing 777 de la Malaysia Airlines est considérée comme « le plus grand mystère de l'aviation civile ». Les difficultés rencontrées pour localiser ses débris dans l'océan m'a fait prendre conscience de la complexité des fonds marins. Je me suis donc penchée sur la cartographie marine.

Dans cette étude, je m'intéresse au fonctionnement de divers sonars dans l'océan. De ce fait, mon TIPE s'intègre bien dans le thème de l'année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées), PHYSIQUE (Physique Ondulatoire).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Sonar Actif</i>	<i>Active Sonar</i>
<i>Onde Acoustique</i>	<i>Acoustic Wave</i>
<i>Interférométrie</i>	<i>Interferometry</i>
<i>Principe de formation de Beamforming</i>	
<i>voies</i>	
<i>Modélisation Numérique</i>	<i>Numerical Modelling</i>

Bibliographie commentée

L'intérêt que portent les hommes pour l'acoustique sous-marine n'est pas récent. Quelques travaux réalisés au XVème siècle avaient déjà mis en évidence la capacité des ondes sonores à se propager dans l'eau [1].

Ce n'est qu'à partir de la 1ère guerre mondiale que les techniques de détection acoustique se développèrent. En 1915, le physicien français Paul Langevin mit au point le SONAR (Sound Navigation and Raging), appareil qui se révéla indispensable sur le plan militaire. Les sonars actifs et passifs ont ensuite été appliqués à la cartographie des fonds marins, devenant ainsi le siège de multiples activités telles que la géologie océanique, l'exploitation pétrolière, l'installation de câbles sous-marins [1][2]...

D'une manière générale, le système sonar utilisé dans l'étude de la cartographie des océans nous fournit deux types d'informations : des données relatives à la profondeur de l'eau et d'autres relatives à la réflectivité des fonds. La bathymétrie repose sur un principe simple : il s'agit de mesurer le temps écoulé entre l'émission d'un signal acoustique et sa réception après avoir été renvoyé par le fond. La réflectivité repose quant à elle sur la mesure de l'énergie de l'écho renvoyé par le sol en fonction de l'angle d'incidence. Cette énergie étant fonction des inhomogénéités du sol relativement rugueux, les informations obtenues sont directement reliées à la nature du fond marin

[2].

Les sonars se basent tous sur le même phénomène physique : La rétrodiffusion d'un signal acoustique par l'interface eau-sol. A cause de la nature sédimentaire des fonds marins, l'écho émis par le sonar et interceptant le sol se réfléchit dans toutes les directions et en particulier vers l'émetteur qui récupérera puis analysera le signal reçu [1][2].

La 1ère génération de sonars actifs est celle des sonars mono-faisceau. Suite à l'émission d'un écho au nadir, un 2nd écho de type spéculaire qui influe principalement près de la verticale sera renvoyé par le sol, nous renseignant ainsi sur la hauteur de la colonne d'eau et donc sur la structure du fond [1].

L'invention du sonar à balayage latéral (SBL) constitue une avancée majeure dans l'étude des fonds marins. Composé de deux transducteurs, ce système réalise une imagerie du fond sur une large bande afin de classer les sédiments. Il émet une onde sous incidence rasante puis reçoit un écho qui est fonction de la réflectivité et donc de la nature du fond [2].

Comme le sonar mono-faisceau, le SBL est soumis à de nombreuses contraintes parmi lesquelles on peut citer les pertes de propagation, le bruit ambiant, la déformation du chemin suivi par l'onde sonore... Ces contraintes ralentissent et faussent les mesures [2][3].

C'est dans l'optique de résoudre ces problèmes et d'optimiser la cartographie des océans qu'une nouvelle génération de sonars a été créée : les sonars multifaisceaux. Le SMF remplit deux fonctions : Un même écho émis peut nous renseigner à la fois sur la profondeur du fond marin et sur sa nature. Les ondes émises sous incidence normale fournissent des relevés de profondeur alors que les ondes émises sous incidence rasante nous renseignent sur la réflectivité du sol [1][4].

Le SMF repose sur le principe de formations de voies ou Beamforming. Il est constitué d'une succession de transducteurs déphasés les uns par rapport aux autres. Comme pour le sonar latéral, ces émetteurs réalisent une large couverture du fond transversalement à l'axe du navire. Pour changer l'orientation du réseau d'émission, il suffit de faire varier le retard entre les transducteurs. Sans mouvement mécanique des antennes, on peut ainsi pointer le lobe principal de l'antenne dans la direction désirée. Cette concentration de l'énergie dans un secteur angulaire donné améliore la puissance du signal émis, sa rapidité, ainsi que la précision des relevés [4][5].

Problématique retenue

Quels avantages apporte le sonar multifaisceaux par rapport à ses prédécesseurs ?

Objectifs du TIPE

- Comprendre à l'aide de mon cours sur les réseaux le rôle des sonars actifs dans la détermination de la nature d'un fond marin, ce dernier pouvant être modélisé par un réseau par réflexion.

- Analyser et traiter des signaux mêlés à différentes sources de bruits acoustiques dans le cas d'un sonar actif.
- Simuler la technique du Beamforming propre aux sonars multifaisceaux pour mettre en évidence leur rôle dans l'optimisation de la cartographie marine.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] X. LURTON, JEAN-MARIE AUGUSTIN, MICHEL VOISSET : Dossier POUR LA SCIENCE N°32, Le monde des sons, La cartographie acoustique sous-marine (pages 46 à 52) , Juillet/Octobre 2001
- [2] X. LURTON : Acoustiques sous-marine, présentation et applications, IFREMER édition, pages: 6 / 17 à 20 / 31 à 35 / 41 / 47 / 61 à 65 / 77 à 78 / 94 :
<https://archimer.ifremer.fr/doc/00017/12790/9731.pdf>
- [3] ROY EDGAR HANSEN, HAYDEN JOHN CALLOW, TORSTEIN OLSMO SÆBØ, STIG ASLE VAKSVIK SYNNES : Challenges in Seafloor Imaging and Mapping with Synthetic Aperture Sonar, IEEE TRANSACTIONS ON GEOSIENGE AND REMOTE SENSING, VOL. 49, NO.10, OCTOBER 2011 :
https://www.researchgate.net/publication/224233719_Challenges_in_Seafloor_Imaging_and_Mapping_With_Synthetic_Aperture_Sonar
- [4] YOANN LADROIT : Amélioration des méthodes de détection et de qualification des sondes pour les sondeurs multifaisceaux bathymétriques, Chapitre 1 : principe de fonctionnement des sonars multifaisceaux : https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/783671/filename/2012telb0253_Ladroit-Yoann.pdf
- [5] ASHRAF A. M. KHALAF, ABDEL-RAHMAN B. M. EL-DALY, HESHAM F. A. HAMED : Different Adaptive Beamforming Algorithms for Performance Investigation of Smart Antenna System :
https://www.researchgate.net/publication/311571730_Different_adaptive_beamforming_algorithms_for_performance_investigation_of_smart_antenna_system

Modélisation et étude des vagues scélérates

Je trouve le phénomène des vagues scélérates intrigant . Ces vagues ne sont pas seulement très rares et mystérieuses mais peuvent aussi détruire les navires et poser un danger sur les zones côtières . J'ai décidé donc de me pencher sur le sujet afin de le mieux comprendre.

Mon sujet est en adéquation avec le thème de l'année "océan" car je me propose d'étudier un phénomène qui apparaît dans les océans .

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), PHYSIQUE (Mécanique), MATHÉMATIQUES (Analyse).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Vagues Scélérates</i>	<i>Rogue Waves</i>
<i>Vagues Monstrueuses</i>	<i>Freak Waves</i>
<i>Modélisation</i>	<i>Modelling</i>
<i>Hauteur de crête</i>	<i>Crest Height</i>
<i>Soliton</i>	<i>Soliton</i>

Bibliographie commentée

Les marins ont une réputation de faire tourner des histoires exagérées de leurs aventures . Ils décrivent l'océan comme étant un vaste étendu plein de phénomènes et créatures mystérieuses et extrêmement dangereuses comme les sirènes , les tritons et le kraken . On entend aussi parler de vagues monstrueuses qui apparaissent de nulle part et dotées d'une énergie destructrice . Ces vagues , toutefois , sont une réalité . Entre 1969 et 1994 , 22 navires ont été présumé détruit après avoir rencontrés des vagues scélérates entraînant des centaines de pertes humaines mais sans évidence concrète [3] . Le 1 janvier 1995 , les scientifiques ont pu pour la première fois capter et mesurer la vague Draupner [7] qui dépasse 25 mètres de hauteur et finalement confirmer leur existence . Cet événement a provoqué plusieurs questions parmi la communauté scientifique : Comment peut-on caractériser une vague scélérate ? Quel est le mécanisme physique derrière ces vagues ? Comment peut-on les prévoir ?

Ces vagues sont très rares . En effet , entre 2006 et 2010 , seulement 9 vagues scélérates ont été enregistrés dans les eaux profondes [4]. La distribution des vagues peut obéir à la loi de Rayleigh [1] qui découle du théorème central limite . Cette loi de distribution affirme que la probabilité d'apparition de vagues scélérates est quasiment nulle (événement rare) tant que l'amplitude de la vague est très élevée . On peut aussi modéliser ces vagues par des équations aux dérivées partielles non linéaires [5] , notamment , l'équation de Schrödinger non linéaire "NLSE" , l'équation de Dysthe, l'équation de MMT (de Madja, Mclaughlin et Tabak) , l'équation de Hirota et l'équation de Korteweg-de Vries [6] . Parmi tout ces modèles , l'équation KdV (Korteweg-de Vries) me semble la plus abordable comme les autres équations sont très compliqués . En effet , l'équation

KdV modélise la hauteur de la surface des vagues à faible amplitude “ $U(x,t)$ ” et découle de l’équation d’Euler et la conservation de la masse . C’est une équation aux dérivées partielles dispersive et non linéaire qui fait introduire un terme dérivée partielle première par rapport aux temps de U , une dérivée partielle troisième par rapport à la position de U et un terme non linéaire proportionnel au produit de la dérivée première de U par rapport à la position par U . Ce type d’équations est généralement très difficile à résoudre analytiquement sauf dans des cas particuliers . On peut par exemple chercher une solution qui se propage à vitesse constante pour simplifier l’équation et trouver une solution exacte. On peut aussi résoudre cette équation numériquement par plusieurs méthodes comme des méthodes de Fourier ou de Différences Finies [8] . Il est très intéressant de comparer ces méthodes entre elles ou avec des mesures réelles des vagues et analyser leurs schémas numériques dans le but de vérifier leurs stabilité et convergence . Il est aussi à noter qu’il existe une analogie entre les solitons laser dans les fibres optiques et les vagues solitaires à faible amplitude [2] .

Problématique retenue

Est-il possible en utilisant des modèles physiques déterministes de reproduire les vagues scélérates pour mieux comprendre leur comportement ?

Objectifs du TIPE

- Modélisation physique d'une vague scélérate par l'équation de Korteweg-de Vries
- Résolution analytique dans quelques cas particuliers
- Résolution numérique à l'aide de différents schémas numériques

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] USNA : Rayleigh Probability Distribution Applied To Random Wave Heights :
https://www.usna.edu/NAOE/_files/documents/Courses/EN330/Rayleigh-Probability-Distribution-Applied-to-Random-Wave-Heights.pdf
- [2] FINOT, CHRISTOPHE & HAMMANI, KAMAL & KIBLER, BERTRAND & DUDLEY, JOHN & MILLOT, G.. : Du soliton hydrodynamique à la vague scélérate : reproduire optiquement les ondes non-linéaires pour mieux les comprendre et les maîtriser :
https://www.researchgate.net/publication/42854431_Du_soliton_hydrodynamique_a_la_vague_scelerate_reproduire_optiquement_les_ondes_non-lineaires_pour_mieux_les_comprendre_et_les_maîtriser
- [3] DYSTHE , KRISTIAN ET KROGSTAD, HARALD ET MÜLLER, PETER : Oceanic Rogue Waves : *Annual Review of Fluid Mechanics*. 40. 287-310. 10.1146/annurev.fluid.40.111406.102203.
- [4] DYSTHE , KRISTIAN & KROGSTAD, HARALD & MÜLLER, PETER : Rogue waves in 2006–2010 :
<https://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/2913/2011/>
- [5] MANZETTI, S : Mathematical Modeling of Rogue Waves: A Survey of Recent and Emerging Mathematical Methods and Solutions :
https://www.researchgate.net/publication/325891653_Mathematical_Modeling_of_Rogue_Waves_A_Survey_of_Recent_and_Emerging_Mathematical_Methods_and_Solutions
- [6] XIANG, TIAN : A Summary of the Korteweg-de Vries Equation :

https://www.researchgate.net/publication/277156623_A_Summary_of_the_Korteweg-de_Vries_Equation

[7] WIKIPEDIA : Vague Draupner : *https://fr.wikipedia.org/wiki/Vague_Draupner*

[8] HANNAH MORGAN : Numerical Solutions to the KdV Equation :
https://newtraell.cs.uchicago.edu/files/ms_paper/hmmorgan.pdf

Etude d'un système antiroulis pour bateaux au mouillage

Au cours d'une sortie en mer, un léger vent a mis le bateau en oscillation. Pour atténuer l'effet de roulis, le capitaine a juste placé sous l'eau deux seaux attachés à la coque. Cet incident m'a mis au défi d'analyser le principe de fonctionnement de ce dispositif artisanal.

Le roulis est l'oscillation parasite d'un bateau qui peut entraîner des gênes pour les passagers et qui peut causer de graves accidents. L'étude d'un système artisanal antiroulis et la recherche éventuelle à l'améliorer, constitue le but de mon TIPE qui s'insère dans la thématique : « Océan ».

Une demande de confidentialité a été enregistrée pour ce MCOT.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), PHYSIQUE (Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Stabilisation de roulis</i>	<i>Roll stabilization</i>
<i>Oscillateur amorti</i>	<i>Damped oscillator</i>
<i>Moment d'inertie</i>	<i>Moment of inertia</i>
<i>Centre de masse</i>	<i>Center of mass</i>
<i>Résonance</i>	<i>Resonance</i>

Bibliographie commentée

Le mouvement d'un bateau en mer peut être repéré par six paramètres: trois pour la translation du centre de gravité G et trois rotations élémentaires autour de G à savoir le roulis, le tangage et l'embarquée [1]. Le roulis traduit l'oscillation du bateau autour de son axe longitudinal. Il génère un mouvement parasite très gênant pour les passagers.

Au milieu du **XIX^e** siècle, les effets indésirables du mouvement de roulis sont devenus perceptibles, suite aux changements radicaux apportés aux navires. Les voiles ont été remplacées par des machines à vapeur, la disposition des canons sur les navires de guerre a aussi été modifiée et enfin la coque en bois a été remplacée par de l'acier. L'ensemble de ces changements a conduit à une instabilité transversale des bateaux entraînant l'accentuation du mouvement de roulis [1].

L'amortissement du roulis est devenue une nécessité visant à:

- a) améliorer le confort des passagers des navires de croisière;
- b) stabiliser les plateformes de tir sur les vaisseaux militaires;
- c) protéger les cargaisons des avaries ; et
- d) améliorer les conditions de travail des équipages [2].

Les principaux dispositifs d'amortissement du roulis sont les quilles, les ailerons, les stabilisateurs

gyroscopiques et les cuves antirollis. Tous ces systèmes peuvent être actifs ou passifs [2].

Les quilles constituent le système antirollis le plus ancien et le plus populaire. Il s'agit d'une lame plate fixée au fond du bateau suivant l'axe longitudinal et qui s'enfonce dans l'eau. Ce dispositif s'adapte bien à la grande majorité des navires. Il a un double rôle: il permet d'atténuer les oscillations du bateau et sert aussi comme ballast pour garder le bateau bien droit [3] [4].

Les cuves antirollis ont été proposées il y a plus d'un siècle. Il s'agit de deux réservoirs remplis partiellement d'eau et disposés symétriquement de chaque bord. Un conduit reliant les deux cuves permet à l'eau de circuler librement d'un bord à l'autre. Compte tenu de l'inertie et des frottements dus au passage de l'eau entre les cuves, un couple de redressement est créé pour s'opposer au couple de roulis. Ce système peut devenir actif par l'ajout de pompes asservies à un détecteur de roulis afin de contrôler la masse d'eau à déplacer [3] [5] .

Les stabilisateurs gyroscopiques ont vu le jour à la fin de la première guerre mondiale. Ils visent à éliminer le roulis plutôt qu'à le réduire. Les gyrostabilisateurs sont composés d'une ou plusieurs roues tournantes dont les effets gyroscopiques sont utilisés pour contrer les forces causant le roulis. L'efficacité de ce système atteint les **95%** mais son coût élevé, son poids et les contraintes produites sur la coque ont réduit son développement [3] [6].

Les stabilisateurs à ailerons ont été proposés pour la première fois au Japon en **1923**. Il s'agit d'une paire d'ailerons montés de part et d'autre de la coque. Les premiers systèmes étaient de simples tôles en acier soudées sur un axe alors que les ailerons modernes épousent des formes aérodynamiques inspirés des profils d'ailes d'avions. Le système peut devenir actif grâce à un système de contrôle [1] [3].

Actuellement, les efforts des chercheurs sont dirigés vers le développement des systèmes de contrôle pour optimiser les réponses des dispositifs antirollis, face aux diverses conditions de navigations [4] [6] [7].

Le choix d'un système de stabilisation adéquat dépend de plusieurs facteurs notamment le coût, l'espace disponible, le degré de stabilisation requis et le mode de fonctionnement du navire. D'une manière générale, pour les navires à grande vitesse, les systèmes actifs à ailerons et les cuves antirollis peuvent fournir une excellente stabilisation mais à des coûts relativement élevés. Cependant pour des petits bateaux, les systèmes passifs sont plus attractifs avec un prix relativement bas et une efficacité modérée [3]. Dans cette optique, nous allons nous intéresser à l'étude du mouvement d'oscillation d'une petite embarcation à l'arrêt, de type yacht ou bateau de pêche munie d'un système antirollis artisanal.

Problématique retenue

Nous allons nous intéresser à l'étude d'un système d'amortissement de roulis, destiné à de petites embarcations et constitué par deux cylindres suspendus symétriquement au bateau et oscillants

sous l'eau.

Quel est le principe de fonctionnement de ce dispositif simple?

Comment peut-on évaluer son efficacité? Peut-on éventuellement l'améliorer ?

Objectifs du TIPE

Afin d'analyser et évaluer l'efficacité du système d'amortissement de roulis étudié dans ce TIPE, les points suivants seront traités:

1. Position du problème (*hypothèses, configuration géométrique, cadre de la résolution*)
2. Formulation mathématique (*bilan des efforts appliqués au système, application des théorèmes généraux de la mécanique, établissement des lois physiques régissant le mouvement*)
3. Résultats et discussions (*détermination théorique ou expérimentale des paramètres du problème, résolution analytique ou numérique des équations du mouvement avec ou sans dispositif antiroulis, réalisation de tests numériques ou expérimentaux pour l'évaluation de l'efficacité du système proposé*).
4. Conclusion.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] J. N. NEWMAN : Marine hydrodynamics : MIT Press (Cambridge, Mass.), (1977).
- [2] H. TANGUY ET G. LEBRET : "Stabilisation du roulis d'un navire de type frégate." : *Journal Européen des Systèmes Automatisés* 37/2 ; 287-302, (2003)
- [3] T. PEREZ ET M. BLANKE : Ship roll damping control : *Annual Reviews in Control*, 36(1):129-147, (2012)
- [4] N. S. PATIL*, A. C. DUBEY AND V. A. SUBRAMANIAN : Fin based active control for ship roll motion stabilization : *MATEC Web Conf. Vol. 272*, (2019)
- [5] O. A. MARZOUK ET A. H. NAYFEH : Control of ship roll using passive and active anti-roll tanks : *Ocean engineering*, 36(9):661-671, (2009)
- [6] T. PEREZ ET P. D. STEINMANN : Analysis of ship roll gyrostabiliser control : *IFAC Proceedings Volumes*, 42(18):310-315, (2009)
- [7]] S.D. LEE, B. D. HONG PHUC, X. XU, S. S. YOU : Roll suppression of marine vessels using adaptive super-twisting sliding mode control synthesis : *Ocean engineering*, 195(1), (2020).
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106724>.

Cartographie Des Fonds Marins

J'ai beaucoup regardé, dans ma prime jeunesse, le dessin animé consacré à Bob l'éponge qui vit au fond de l'océan dont le relief est tourmenté. Je me suis souvent demandé à quoi pourrait ressembler ces fonds marins dans la réalité, c'est pourquoi j'ai choisi la « Cartographie des fonds marins ».

Ce sujet entre dans le thème de cette année, Océan, de par le fait qu'il en analyse les profondeurs.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Fonds Marins</i>	<i>Seabed</i>
<i>Cartographie</i>	<i>Cartography</i>
<i>Ondes acoustiques</i>	<i>Acoustic waves</i>
<i>Ondes électromagnétiques</i>	<i>Electromagnetic waves</i>
<i>Sédiments</i>	<i>Sediment</i>

Bibliographie commentée

La cartographie des fonds marins a considérablement pris de l'ampleur à mesure que les activités de l'Homme dans le domaine de la navigation, de la pêche, des échanges et des transports gagnèrent en importance et en complexité [1]. Cette prise d'ampleur de cette dernière a permis de révolutionner les méthodes de cartographie qui étaient jusqu'alors très archaïques c'est-à-dire dans ce cas fait à la main. Les chercheurs commencèrent à s'intéresser aux ondes afin d'effectuer ce dur labeur manuel plus rapidement et avec une plus grande précision. Le domaine de la cartographie dans les profondeurs océaniques fonctionne uniquement de nos jours par l'utilisation des ondes sonores afin de pouvoir modéliser des lieux jusqu'alors inaccessibles à l'Homme. L'usage de ces ondes dans l'acoustique est connue depuis 1950 mais ne devint opérationnel que vers les années 1970 [2].

La recherche d'optimisation de la qualité d'une carte dépendra en grande partie de l'onde à utiliser pour réaliser une carte des plus fidèles et donner la nature des sédiments, qui sont définis comme des amas mobiles déposés par la force des eaux, les bourrasques et les agents de corrosion, et qui selon ses racines peuvent être fluviales, glaciaires, lacustres ou marins [3], composants les fonds marins. Les ondes électromagnétiques et les ondes de vibrations mécaniques sont les principaux phénomènes nous permettant l'émission et la réception des données [4] et ainsi obtenir des informations détaillées sur la nature sédimentologique et la morphologie des fonds océaniques [2]. En effet, les ondes sonores sont très utilisées dans ce domaine de par la faible décroissance des sons dans les fonds marins et les ondes électromagnétiques ne sont efficaces qu'en fond proche.

L'étude se portera par la suite sur l'analyse des ondes acoustiques émises par le sonar et les différents agents impactant sa propagation dans les fonds marins de par l'analyse ou le traitement

du signal émis par les sonars, appareil permettant de situer les objets sous l'eau et qui a été inventé par Lewis Niwon et Paul Langevin et Constantin [5], et les principes de fonctionnement de ces derniers. Les sous-marins ne sont pas les seuls à pouvoir cartographier les fonds marins, il y'a aussi les bateaux qui utilisent les ondes acoustiques et les appareils les plus pratiques sont les satellites qui utilisent les ondes électromagnétiques. Ces ondes sonores sont réfléchies, transmises et diffusées lorsqu'elles traversent le fond de la mer qui peut être défini comme l'interface rugueuse entre la colonne d'eau et les sédiments souterrains stratifiés [6].

Mais malgré toutes ces techniques innovatrices les Hommes n'ont réussi qu'à cartographier moins de 10% de la surface totale des océans alors qu'elle représente plus de 75% de la surface de la planète Terre or on en connaît plus sur la surface d'autres planètes que sur celle même où nous vivons tout ça à cause de l'océan qui prend beaucoup de temps pour être cartographié d'où mon intérêt pour ce sujet [7].

Problématique retenue

Comment fonctionnent les sonars pour cartographier les fonds marins et comment peut-on améliorer leurs performances ?

Objectifs du TIPE

Je me propose d'effectuer les objectifs suivants:

- Modélisation : Je vais étudier la propagation de l'onde électromagnétique et ensuite de celle acoustique dans l'environnement océanique.
- Simulation numérique : A l'aide du programme python je vais représenter la propagation de l'onde sonore dans l'eau
- Application des Sonars dans la cartographie des fonds marins

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] DALE KRAUSE ET JACQUES RICHARDSON : Sur la cartographie des fonds marins :

https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000068313_fre

[2] CLAUDE AUGRIS ET FRANCOISE GOURMELON : Sur la cartographie des fonds marins côtiers :

https://www.researchgate.net/publication/26431770_La_cartographie_des_fonds_marins_cotiers

[3] FUTURA-SCIENCES : Sédiments : [https://www.futura-](https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/paleontologie-sediment-1045/)

[sciences.com/planete/definitions/paleontologie-sediment-1045/](https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/paleontologie-sediment-1045/)

[4] JEAN-YVES BRUXELLE : Analyse de la Propagation Electromagnétique en Milieu Marin et Méthode de Localisation Spatiale d'une Source Dipolaire :

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjbjYDu1bTnAhWPLFAKHVdtC6YQFjAAegQIAxAB&url=https%3A%2F%2Ffori-nuxeo.univ-lille1.fr%2Fnuxeo%2Fsite%2Fesupversions%2F2fddc52c-6523-4407-8232-2d2f92e71b3a&usg=AOvVaw3ZLN8ir6AdG0Y2hB6_sbU0

[5] WIKIPÉDIA : Sonar : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Sonar>

[6] TRUNG KIËN NGUYEN : Seafloor classification with a multi-swath multi-beam echo sounder :

<https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01825173v1>

[7] STEPHANE CALMANT : La cartographie des fonds marins - Institut de recherche pour le

développement (IRD) : <https://www.ird.fr/la-mediatheque/videos-en-ligne-canal-ird/la-cartographie-des-fonds-marins/la-cartographie-des-fonds-marins>

Exploration Des Profondeurs Abyssales De l'Océan

Les fosses Mariannes font partie des régions les plus mystérieuses du globe terrestre. Cependant, elles constituent sans doute un endroit qui reste encore très mal exploré.

J'ai donc décidé d'analyser des données issues des expéditions effectuées par les scientifiques et les explorateurs comme James Cameron afin de connaître sa bathymétrie.

Mon TIPE s'intéresse à une analyse des données océanes issues de la région Mariana Trench. Il est donc en adéquation avec le thème de l'année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Fosses Mariannes</i>	<i>Mariana Trench</i>
<i>Bathymétrie</i>	<i>Bathymetry</i>
<i>Analyse des données</i>	<i>Data Analysis</i>
<i>Apprentissage non supervisé</i>	<i>Unsupervised Learning</i>
<i>Apprentissage supervisé</i>	<i>Supervised Learning</i>

Bibliographie commentée

L'océan, une vaste masse continue d'eau couvrant plus que 70% de la surface du globe terrestre, jouant un rôle primordial dans la détermination du climat autour la terre, un milieu jouissant d'une diversité faunique et floristique incomparable. Un tel milieu aussi riche, n'a jamais cessé de susciter la curiosité humaine et de soulever des questions. Cependant, les océans ont toujours gardé leur caractère mystérieux par manque d'exploration et de recherche.

L'imagination humaine joue un rôle important par l'encouragement et l'inspiration qu'elle donne aux explorateurs et aux scientifiques. Les artistes et les écrivains ont aussi leur manière de dévoiler les mystères des fonds marins. Par exemple, le fameux Nautilus du célèbre écrivain français Jules Verne reste encore une inspiration pour les sous-marins modernes [1]. Et certains explorateurs, comme James Cameron, ont beaucoup contribué aux expéditions de recherche dévoilant de plus en plus ces mystères. En 2012, James Cameron a réussi une plongée de 10,908 mètres [2] suivi par Victor Vescovo qui a descendu jusqu'à 10,927 mètres de profondeur en 2019 [3], permettant ainsi aux chercheurs de mieux comprendre les merveilles de la zone la plus profonde du globe terrestre, les fosses Mariannes.

En effet les fosses Mariannes désignent une dépression topographique longue et étroite du fond marin située dans l'ouest de l'océan Pacifique, à l'est des Philippines. C'est la dépression la plus

profonde parmi toutes les tranchées de profondeur océanique Hadale causées par des facteurs géomorphologiques complexes et divers affectant son développement : son profil transversal est asymétrique, les pentes sont plus hautes sur le côté de l'arc de l'île des Mariannes. La forme de la fosse des Mariannes est une dépression fortement allongée, arquée dans le plan et moins rectiligne. Les pentes de la tranchée sont disséquées par des canyons sous-marins profonds avec diverses marches étroites sur les pentes de différentes formes et tailles, causées par des processus tectoniques et de sédimentation actifs [4].

Le but principal des expéditions dans la zone Hadale est la collecte des données notamment la profondeur, la pression, la température et les coefficients de sédimentation pour bien caractériser cette région. Une tâche rendue plus difficile à cause des hautes pressions, l'obscurité et les dangers résidant dans les fonds inconnus. Sans compter qu'on ne peut pas utiliser les ondes électromagnétiques qui s'atténuent rapidement à cause de la conduction de l'eau salée. Le sondage est alors effectué avec des ondes sonores [5].

Les données collectées sont dans la suite analysées pour déterminer la bathymétrie de la région en employant différentes techniques :

- Etudier la similarité basée sur les distances : Euclidienne, Manhattan, ...
- L'apprentissage non supervisé [6] :
 - o On essaye d'analyser les données à l'aide d'une caractérisation (profiling) avec des algorithmes comme K-Means et l'estimation par noyaux (KDE).
 - o On peut aussi réduire la dimensionalité des données (le nombre des variables utilisées pour décrire la région) par une Analyse à Composante Principale (ACP) ; les matrices de variance covariance étant symétriques réelles elles sont alors diagonalisables.
- L'apprentissage supervisé [6] :
 - o En employant des algorithmes de régression : linéaire, multilinéaire ou non linéaire ...

Cette analyse des données avec la bathymétrie facilitera non seulement la délimitation de la région mais aussi l'exploitation du potentiel océanique. En effet les fonds marins sont connus par leurs richesses en minerais, potentiellement, en ressources pétrolières, et en éléments rares (Cobalt, Tellurium,...)[7][8]. L'analyse des coefficients de sédimentation permettra d'identifier ces ressources et de les localiser [9].

Problématique retenue

Comment, en utilisant les bases de données collectées, déterminer la bathymétrie et caractériser le milieu ?

Objectifs du TIPE

- Elaboration des diagrammes descriptifs de la région des fosses Mariannes et déduire sa bathymétrie en utilisant les algorithmes d'apprentissage supervisé et non supervisé.
- Caractériser le milieu en analysant les coefficients de sédimentation et la bathymétrie obtenue.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] Nautilus (Jules Verne) (Lu le 15-01-2020) : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Nautilus_\(Jules_Verne\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Nautilus_(Jules_Verne))
- [2] KER THAN : James Cameron Completes Record-Breaking Mariana Trench Dive : <https://www.nationalgeographic.com/news/2012/3/120325-james-cameron-mariana-trench-challenger-deepest-returns-science-sub/>
- [3] YOHAN BLAVIGNAT : La plongée la plus profonde de l'histoire révèle... un sac plastique au fond du Pacifique : <https://www.lefigaro.fr/sciences/la-plongee-la-plus-profonde-de-l-histoire-revele-un-sac-plastique-au-fond-du-pacifique-20190514>
- [4] Zone hadale (Lu le 15-01-2020) : https://fr.wikipedia.org/wiki/Zone_hadale
- [5] FLORIAN AULANIER : Tomographie acoustique océanique en guide d'onde : de l'utilisation des temps à celle des angles. : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00934791/file/pdf2star-1392202789-38780_AULANIER_2013_archivage.pdf
- [6] NEWTECHDOJO : List of Machine Learning Algorithms : <https://www.newtechdojo.com/list-machine-learning-algorithms/#Linear%20regression%20for%20regression%20problems>
- [7] PROF. RACHEL MILLS : Why are countries laying claim to the deep-sea floor? : <https://www.bbc.com/news/world-40248866>
- [8] WARREN CORNWALL : Mountains hidden in the deep sea are biological hot spots. Will mining ruin them? : <https://www.sciencemag.org/news/2019/09/mountains-hidden-deep-sea-are-biological-hot-spots-will-mining-ruin-them>
- [9] JIANG ZUZHOU, SUN ZHILEI, LIU ZHAOQING, CAO HONG, GENG WEI, XU HAIXIA, WANG LISHENG, WANG LIBO : Rare-earth element geochemistry reveals the provenance of sediments on the southwestern margin of the Challenger Deep

Conversion de l'Energie Thermique Océane

Avec la croissance de la population mondiale et l'amélioration des conditions vitales dans les pays en voie de développement, la consommation mondiale d'énergie ne cesse de croître, essentiellement dépendante des énergies fossiles. Par conséquent, la diversification du mix-énergétique en recherchant d'autres sources énergétiques optimales, durables devient progressivement une urgence mondiale.

L'eau représente 70% de la surface terrestre, il serait intéressant d'extraire de l'énergie à partir des océans en plus des forces hydrauliques c'est-à-dire en exploitant les énergies thermiques y afférentes ? C'est à ce fort constat que j'ai choisi ce sujet, Cela reviendra à exploiter une source énergétique renouvelable, propre et disponible.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique de la Matière), INFORMATIQUE (Informatique pratique), CHIMIE (Chimie Analytique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Energie</i>	<i>Energy</i>
<i>Cycle de Rankine</i>	<i>Rankine Cycle</i>
<i>Thermodynamique</i>	<i>Thermodynamics</i>
<i>géologie océane</i>	<i>Ocean geology</i>
<i>Salinité</i>	<i>Salinity</i>

Bibliographie commentée

L'énergie électrique occupe la première place des formes d'énergies consommées sur le plan mondial, est celle puisqu'elle est directement liée à l'amélioration des conditions de vie de la population mondiale ainsi que l'accès à la santé et l'éducation. De plus, avec la croissance de l'utilisation de l'électricité dans le transport (voiture et moteur électrique) première source de pollution et de réchauffement climatique.

L'écart entre les coûts des énergies renouvelables et le coût direct et indirect généré par les énergies fossiles se réduit de plus en plus, ce qui donne encore plus d'argumentaires pour relancer l'investissement dans les énergies renouvelables sous toutes ses formes (solaires, éoliennes, hydraulique, nucléaire, biomasse et géothermie). [1]

Suite à la crise politico-économique qu'a vécue l'USA en 1973, le gouvernement américain a établi une stratégie énergétique nationale pour garantir la *stabilité* de ses approvisionnements en énergie. C'est à cet effet que naît en 1979, le projet HOST Park, Il s'agissait d'une mobilisation par l'État fédéral américain d'un fonds de 100 millions d'US\$ d'investissement pour l'archipel d'Hawaii. Considéré comme une première mondiale, ce projet traduit la conscience des États unis d'Amérique de l'importance d'investir dans les énergies renouvelables afin de diversifier son *Mix-Énergétique*, d'une part, et d'assurer la durabilité de l'accès à l'énergie dans des régions lointaines difficilement

accessibles. Le projet était dirigé par la NELHA (Natural Energy Laboratory of Hawaii Authority), se basant sur des travaux de recherches scientifiques et les nouvelles technologies océaniques. [4]

Il est indiscutable que le cycle de Carnot, inventé par le jeune polytechnicien français Nicolas Léonard Sadi Carnot (ingénieur et scientifique du XVIII-XIX siècle), a ouvert avec brillance de nouveaux horizons pour la révolution énergétique industrielle dans le monde à travers ses travaux et découvertes dans le domaine de « la thermodynamique ». Ces découvertes notamment concernant « les principes fondamentaux du moteur thermique » fut revus par des physiciens chercheurs de tous bords dans un domaine critique et commun à plusieurs secteurs industriels, transports et de l'urbanisme, les travaux de Carnot préparèrent le terrain pour la découverte du cycle de Rankine qui déclencha véritablement la révolution industrielle mondiale.

On se proposera alors d'effectuer une adaptation de ce cycle sur les océans et les mers, de manière à augmenter le rendement et l'efficacité du cycle à travers une importation envisagée de l'influence de la nature (les caractéristiques géothermiques des océans et des mers) sur le système.

L'innovation consiste à étudier l'hypothèse mettant en questionnement les effets possibles de la variation de la salinité et de la température des couches d'eaux qui varie selon les profondeurs et selon les océans et les mers sur le rendement du cycle de Rankine. D'autre part, on se propose d'effectuer une solution étagée, qui consiste à l'addition d'une autre turbine afin d'obtenir *une détente étagée*: elle se fait d'abord dans une turbine «haute pression» puis dans une turbine «basse pression». D'autre part, entre les deux turbines, l'eau passe dans un «surchauffeur».

Examine une modification du cycle de Rankine régénératif typique utilisé dans toutes les centrales conventionnelles à combustible fossile et nucléaire. La modification implique l'augmentation de la température finale de l'eau d'alimentation grâce à l'utilisation d'un rebouilleur et d'un réchauffeur énergétique. Il élimine l'efficacité du cycle de *la dépendance à la pression de vapeur de la turbine*. Le rebouilleur fait bouillir une partie de l'eau d'alimentation à haute pression en utilisant, lorsqu'il est appliqué à un système à combustible fossile, l'extraction de turbine à *pression intermédiaire* au point médian. [2] [3] [5].

Problématique retenue

La problématique de cette étude consiste à trouver des solutions-réponses aux questions suivantes :

- Le rendement du cycle est-il identique quelque soit le site géologique sous-marin?
- Peut-on améliorer le rendement du cycle en fonction de l'environnement, *températures des eaux* en fonction de la profondeur et de la salinité?

Objectifs du TIPE

- Effectuer des améliorations sur et des modifications au cycle de Rankine en fonction du site de géologie sous marine.
- Etudier une corrélation et calculer l'apport énergétique de la salinité sur le cycle de Rankine, afin d'aboutir à une amélioration au niveau du *rendement*.

· Etablir une **étude comparée** du rendement de cycle de Rankine au niveau de quelques sites océaniques.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] BRADLEY LYNN, ALEXANDER MEDVED, AND TIMOTHY GRIGGS : A comparative analysis on the impact of salinity on the heat generation of OTEC plants to determine the most plausible geographical location : *University of Technology Sydney, Faculty of Science, PO Box 123, Ultimo NSW 2017, Australia*
- [2] ROGER LUKAS : The Role of salinity in the dynamics and thermodynamics of the western pacific warm pool. : *University of Hawaii. USA.*
- [3] FRED D.LANG : Rankine Cycle modification for improved unit efficiency : *Reprinted from Proceedings of the 2012 ASME Power Conference Anaheim, California, July 30 August 3, 2012 ICONE20POWER2012-54974*
- [4] HAWAII OCEAN SCIENCE AND TECHNOLOGY PARK : <http://nelha.hawaii.gov/>
- [5] INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY : ocean thermal Energy conversion brief : https://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Ocean_Thermal_Energy_V4_web.pdf

Altimétrie satellitaire : Les satellites Jason

Entre tourbillons, raz de marées et inondations, l'océan possède un caractère chaotique et difficile à dompter. Pour mieux prédire ses dangers, des techniques de télédétection spatiale sont utilisées. Fasciné par leur côté innovant et leur précision, j'ai choisi de travailler sur l'altimétrie satellitaire et en particulier sur les satellites Jason.

Mon sujet est en adéquation avec le thème fixé cette année, puisque je m'intéresse à étudier un moyen efficace pour anticiper les perturbations océaniques et minimiser leurs éventuels dégâts.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), SCIENCES INDUSTRIELLES (Traitement du Signal).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Océanographie</i>	<i>Oceanography</i>
<i>Altimétrie</i>	<i>Altimetry</i>
<i>Satellite Jason</i>	<i>Jason satellite</i>
<i>Équation des ondes</i>	<i>Wave equation</i>
<i>Modèle d'allure d'océan</i>	<i>Ocean aspect model</i>

Bibliographie commentée

L'océanographie satellitaire est un domaine d'activité scientifique consacré à l'étude des mers et des océans et les divers phénomènes qu'il englobe.

En effet, vu la particularité agitée de l'océan, la variation de l'eau s'effectue selon de multiples échelles temporelles : elle peut varier sur plusieurs années, étant donné les fluctuations climatiques. Elle peut, cependant varier sur une durée de quelques heures seulement, sous l'effet des marées et de la pression atmosphérique. Par ailleurs, le changement de l'eau se fait selon plusieurs échelles spatiales, allant de quelques centimètres et pouvant atteindre plusieurs mètres [1].

Les satellites altimétriques sont des moyens de mesure d'altérations spatiales et temporelles de la topographie de surface des océans, sur des échelles temporelles qui dépassent 10 jours et des échelles spatiales pouvant dépasser jusqu'à 100 kilomètres environ [1].

Les satellites Jason en particulier, conçus par « Thales Alenia Space » sont une famille de trois satellites de télédétection spatiale, lancés respectivement en 2001, 2008 et 2016 pour une durée primaire de trois ans. L'objet de la mission est principalement « l'étude de l'océan et des processus physiques à partir de la mesure le long de la verticale locale de la distance entre le satellite et la surface de la mer ou de l'océan » [2]. Les données collectées sont éventuellement traitées pour le projet d'océanographie opérationnelle 'Mercator Océan' (<https://www.mercator-ocean.fr/>).

En effet, le satellite en orbite, est suivi en permanence par des stations de poursuite pour la détermination de son altitude par rapport au sol. Ceci est possible grâce aux équipements intégrés dans le satellite, notamment le système de radio-positionnement intégré 'DORIS'. Ensuite, l'engin émet une onde électromagnétique en direction de l'océan. Cette impulsion possède une fréquence dépassant 13 GHz (Bande Ku) et une durée approximative de 3 nanosecondes. L'onde intersectée avec la surface de l'océan qui est considérée comme une surface rugueuse, sera réfléchiée et reçue par l'antenne, puis analysée par l'altimètre radar [3][4][5].

L'ensemble de données concernant les hauteurs océaniques et maritimes traitées, permettent d'apporter une contribution cruciale vis-à-vis de la cartographie évolutive de la surface de l'océan avec de très grandes précisions (avoisinant les 5 centimètres) [3]. D'ailleurs, cela rend possible de modéliser et simuler les variations saisonnières et intra-saisonnières du niveau de l'eau durant plusieurs mois de la mission [6][7]. En plus de cela, ces données satellitaires permettent de surveiller certains phénomènes météorologiques dangereux (comme les cyclones) et contribuent à une meilleure compréhension et modélisation de certaines catastrophes naturelles (comme les tsunamis) [8]. Par exemple, les mesures de vagues océaniques fournies par Jason 1, sur l'océan indien lors du passage d'un tsunami en 2004, sont utilisées par les scientifiques dans la modélisation de la propagation des tsunamis [8]. Les données altimétriques recueillies peuvent par ailleurs, être utilisées pour identifier des dangers et alerter les régions concernées, afin de minimiser les dégâts pouvant être causés.

Problématique retenue

Comment pourrait-on développer une technique de prédiction et de suivi du niveau des océans en temps réel à l'aide des satellites ?

Objectifs du TIPE

1. Travailler sur l'équation de propagation des ondes dans les milieux conducteurs. Je ferai une résolution analytique puis informatique.
2. Visualiser à l'aide de Python les interactions Ondes /Surfaces océaniques.
3. Construire un modèle numérique de l'allure de l'océan.
4. Mettre en évidence les allures océaniques potentiellement dangereuses.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] MARIE-CHRISTINE ARTRU, JULIETTE LAMBIN : Les satellites JASON et la mesure du niveau des océans : <https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/CSP-Jason-mesure-niveau-ocean.xml>
- [2] FRANÇOIS BARLIER, MICHEL LEFEBVRE, BRUNO VOITURIEZ, RAYMOND ZAHARIA : Poursuivre la Success Story de Topex-Poséidon, Jason-1 et -2 Plaidoyer pour le satellite océanographique Jason -3 : <http://www.clubdesargonautes.org/livresetpublications/article/playdoyerjason.pdf>

- [3] WIKIPÉDIA : Jason (satellite) : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Jason_\(satellite\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Jason_(satellite))
- [4] AVISO+ : LA PLATE-FORME ET LES INSTRUMENTS DE JASON-1 :
<https://www.aviso.altimetry.fr/fr/missions/missions-passees/jason-1/instruments.html>
- [5] SALEM KAHLOUCHE : Altimétrie spatiale en Méditerranée Occidentale : http://eost.u-strasbg.fr/semipgs/pres_SalemKahlouche.pdf
- [6] AHMED EL ATARI, MOHAMMED JIDAL, ZAKARIA FETOUHI : Application de la télédétection à l'océanographie, pages 29-32 : <https://fr.slideshare.net/ahmedelatari1/ala-tldtection-en-ocanographie>
- [7] BENOÎT URGELLI : Suivre l'évolution du niveau moyen de la mer, exemple de la Méditerranée :
<https://planet-terre.ens-lyon.fr/article/niveau-mediterranee.xml>
- [8] PROGRAMME COMET EN COLLABORATION AVEC EUMETSAT : Jason-2: Utilisation de l'altimétrie satellitaire pour la surveillance des océans : https://www.eumetsat.int/jason_fr/print.htm

Le déplacement des baleines à bosse dans les océans: Conception d'une modélisation numérique.

Lors d'une exposition de modèles de cétacés, la comparaison de leurs nageoires a attiré mon attention; les baleines à bosse possèdent des nageoires pectorales présentant des bosses et portant elles peuvent réaliser des migrations impressionnantes dans l'océan. Ceci m'a amené à poser la question: comment ces bosses, optimisent-elles leur déplacement ?

Mon sujet s'inscrit dans le thème de cette année. En effet, il met en exergue la capacité de déplacement des baleines à bosse dans l'océan mettant en œuvres des nageoires onduleuses.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées), PHYSIQUE (Mécanique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Nageoire pectorale</i>	<i>pectoral fin</i>
<i>Tubercules</i>	<i>bumps</i>
<i>Modélisation expérimentale</i>	<i>experimental modeling</i>
<i>Modélisation numérique</i>	<i>numerical modeling</i>
<i>Équation de Navier stokes</i>	<i>Navier Stokes equation</i>

Bibliographie commentée

Les baleines à bosse peuvent atteindre une vitesse de 15 nœuds (28 km/h)[1] avec un poids variant entre 30 et 50 tonnes en faisant preuve d'une agilité surprenante. Elles se démarquent aussi des autres espèces marines par des très longues migrations saisonnières dépassant les 5 000 kilomètres entre les zones de reproduction et les zones d'alimentation [2].

Les rorquals à bosse sont connues par leurs comportements exubérants ; elles plongent profondément et remontent en cercles serrés rapidement en rattrapant le maximum possible de poisson pour se nourrir. Ces mouvements assez compliqués impliquent principalement leurs nageoires pectorales.

Plusieurs chercheurs ont essayé d'expliquer les caractéristiques hydrodynamiques de ces excroissances à travers des modèles mathématiques. Le biologiste américain, spécialiste des dynamiques de locomotion, Frank Fish, était convaincu que ces petites bosses situées sur le bord d'attaque des nageoires, minimisent la résistance de l'eau permettant son écoulement lors du déplacement avec des angles d'incidence plus élevés à fin d'optimiser la puissance de ces appendices [3].

En effet, et dans le cadre théorique, comme cité précédemment, contrairement à la plupart des

autres cétacés ayant des nageoires à bords lisses, les baleines à bosse présentent des protubérances (tubercules) sur leurs nageoires qui canalisent le flux d'eau en formant des tourbillons. Ce phénomène, appelé « effet tubercules » augmente la portance impliquant une augmentation de l'angle d'attaque pour atteindre une valeur assez élevée diminuant le décrochage et la résistance de l'eau.[4]

Encore plus profondément et dans le cadre théorique de la mécanique de fluides, on peut représenter ce phénomène par l'équation de Navier-Stokes. Il s'agit en fait d'une équation aux dérivées partielles non linéaires décrivant le mouvement des fluides dans l'approximation des milieux continus. Elle est l'objet de plusieurs recherches physiques et mathématiques puisqu'elle est considérée comme l'un des problèmes du millénaire dû à la difficulté de lui trouver des solutions. Jusqu'à présent, nous n'avons réussi à résoudre le problème dans le cas général qu'en deux dimensions. En trois dimensions, l'existence d'une solution n'est démontrée que pour un champ de vitesse assez petit ou pour un intervalle fini de temps [5].

Il est évidemment connu que pour bien décrire correctement un fluide en mouvement, il faut connaître sa vitesse en tout point de l'espace (champ de vitesse)[6] ce qui nous ramène à appliquer la méthode d'Euler. Sauf que dans ce cadre les fluides considérés sont peu visqueux, et rapides, les écoulements se produisent donc de manière chaotique mettant en œuvre le phénomène des tourbillons cité précédemment.

Dans ce projet, la résolution de cette équation va permettre de comprendre l'écoulement d'un fluide aux alentours d'une nageoire onduleuse. Cela va non seulement nous donner des informations utiles sur les champs pression et de vitesses mais aussi nous aider à avancer des recherches sur l'optimisation du mouvement de ces baleines pendant leurs migrations à la recherche d'aires d'alimentation assez productives.

L'absence d'une solution analytique, nous ramène à effectuer des résolutions avec des logiciels comme Solidworks, Comsol et Nastran implémentant les méthodes d'éléments et de volumes finis. Cependant, il est important de mentionner que ces méthodes opèrent des calculs mathématiques très poussées d'un niveau très supérieur de celui exigé dans les classes préparatoires. A cet égard, on peut utiliser soit les logiciels comme une boîte noire ou la méthode des différences finies.

Problématique retenue

Comment peut-on modéliser l'écoulement de l'eau autour de la nageoire citée pour retrouver les différentes forces exercées sur elle ?

Peut-on considérer ses nageoires comme un modèle de biomimétisme marin pour une optimisation hors norme dans les différents domaines d'application des mécaniques des fluides?

Objectifs du TIPE

- Etudier et modéliser le mouvement des baleines ayant des nageoires avec des tubercules

- Simuler les mouvements des courants marins sur les baleines
- Établir l'équation de Navier Stokes de la mécanique des fluides qui gouverne l'écoulement d'un fluide autour d'un obstacle.
- Modéliser une nageoire de baleine comme une aile d'avion

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] PASCALE COLISSON : Biomimétisme : les pales d'éoliennes imitent les nageoires des baleines à bosse : <https://www.lesechos.fr/thema/articles/biomimetisme-les-pales-deoliennes-imitent-les-nageoires-des-baleines-a-bosse-132243>
- [2] INCONNU : Migrations : <https://www.lesbaleines.net/connaissances-generales/alimentation/migrations/>
- [3] PASCALE COLISSON : Biomimétisme : les pales d'éoliennes imitent les nageoires des baleines à bosse : <https://www.lesechos.fr/thema/articles/biomimetisme-les-pales-deoliennes-imitent-les-nageoires-des-baleines-a-bosse-132243>
- [4] LES TÉMOINS DE JÉHOVAH : HASARD OU CONCEPTION ? La nageoire de la baleine à bosse : <https://www.jw.org/fr/biblioth%C3%A8que/revues/g201306/nageoire-baleine-a-bosse/>
- [5] AÉRODYNAMIQUE : THÉORIES DE LA DYNAMIQUE DES FLUIDES, A. BONNET, J. LUNEAU, ÉDITIONS CÉPADUÈS, SEPTEMBRE 89, 544 P. : Équations de Navier-Stokes : <https://www.techno-science.net/definition/5797.html>
- [6] DAVID LOUAPRE : La mystérieuse équation de Navier-Stokes : <https://sciencetonnante.wordpress.com/2014/03/03/la-mysterieuse-equation-de-navier-stokes/>

Exploitation de l'énergie des océans.

Le Cameroun est un Pays de l'Afrique centrale qui rencontre plusieurs difficultés notamment sur le plan énergétique. Il est donc nécessaire de trouver de nouvelles solutions pour palier à ces insuffisances. Étant un ressortissant de ce pays, il me tient à cœur de présenter une alternative à mon gouvernement.

Le Cameroun regorgeant de nombreuses ressources énergétiques, il serait judicieux de penser à l'exploitation de ces dernières. L'une d'entre elles est sa frontière naturelle qu'est l'océan atlantique. Mon présent projet portant sur l'exploitation de l'énergie des océans au travers du SEAREV est bien situé dans le thème de cette année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Mécanique), SCIENCES INDUSTRIELLES (Génie Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Conversion d'énergie</i>	<i>Energy conversion</i>
<i>Verrouillage</i>	<i>Latching</i>
<i>Houle</i>	<i>Swell</i>
<i>Hydropneumatique</i>	<i>Hydropneumatic</i>
<i>Résonance mécanique</i>	<i>Mechanical resonance</i>

Bibliographie commentée

Le monde fait face à un besoin énergétique sans cesse croissant et cela pousse les puissances économiques de ce monde à s'investir dans une quête d'énergies plus favorables économiquement et moins polluantes pour l'environnement. Les énergies renouvelables répondent favorablement à ces critères. L'une d'elle est l'énergie des vagues. L'énergie moyenne récupérable avec les moyens envisagés aujourd'hui serait de l'ordre de 140 à 750 Twh/an. C'est dans ce sens que l'équipe d'Alain Clément au Laboratoire de mécanique des fluides à Nantes crée le SEAREV. Le SEAREV est un système offshore qui tangue au rythme des vagues, destiné à récupérer l'énergie des vagues. Il est constitué d'un flotteur clos dans lequel est placée une roue chargée qui joue le rôle d'un pendule embarqué constituant ainsi le rotor d'une génératrice synchrone. L'énergie produite est alors acheminée par câbles sous-marin. Cependant ce système possède des instabilités. [1][2]

Deux solutions techniques sont envisagées pour le système de conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique. La première est une solution hydropneumatique. L'avantage est d'assurer une fonction de lissage et de stockage de la puissance produite. Cependant, elle ajoute un étage dans la chaîne de conversion de l'énergie dans le sens où l'énergie est d'abord mécanique puis pneumatique et enfin électrique. De plus une solution hydraulique nécessite une maintenance importante source de coût non négligeable. C'est pourquoi on envisage une solution électrique directe dans laquelle on

vient accoupler directement une génératrice électrique. L'avantage se situe présentement au niveau du rendement mais il reste le problème de lissage à régler. La production de l'énergie est proportionnelle à la vitesse du mouvement relatif entre la coque et la roue pendulaire. Or, le SEAREV est un système d'oscillateurs couplés donc ses performances en termes de récupération d'énergie sont bonnes pour des houles de périodes proches des périodes de résonance. [3]

Le moteur hydraulique est alimenté continuellement par de l'huile sous pression, ce qui assure son bon fonctionnement. Et afin d'éviter la destruction des pistons par des mouvements trop brusques ou trop amples de la roue pendulaire en cas de forte houle, cette dernière est maîtrisée par le frein à disque contrôlé par un ordinateur qui calcule en permanence la position de la roue. On a adopté le contrôle par latching qui consiste à bloquer le pendule en position lorsque sa vitesse relative s'annule et à le relâcher quelques instants plus tard, lorsque la phase de la houle est plus favorable. On provoque par ce moyen des résonances paramétriques dans la dynamique du système, qui permettent amplifier considérablement les mouvements et donc la production en énergie. Pour maximiser la production de l'énergie on doit prendre en compte aussi la forme du modèle. [2][3][4]

Problématique retenue

Quelles sont les contraintes particulières sur les paramètres du pendule pour avoir un fonctionnement optimal du SEAREV ? Quelles sont les origines des pertes énergétiques ? Quels autres paramètres doit-on considérer pour l'optimisation de ce système ?

Objectifs du TIPE

- Etudier le diagramme d'instabilité du pendule paramétrique
- Etudier le mouvement entre la coque et la roue pendulaire afin d'optimiser la production d'énergie
- Identifier l'origine des pertes dans la conversion alternatif-continu
- Faire plusieurs simulations numériques

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] HAKIM MOUSLIM : Le projet SEAREV :

<http://www2.cnrs.fr/sites/communiqu/fichier/08searev.pdf><http://www2.cnrs.fr/sites/communiqu/fichier/08searev.pdf>

[2] TANGUY PACHECO , DORIAN CHENAL , ADRIEN BUTHOD : Le potentiel énergétique des vagues :

<http://wavepower.ek.la/searev-p539233>

[3] HAKIM MOUSLIM , AURÉLIEN BABARIT : SEAREV: Système électrique autonome de récupération de l'énergie des vagues :

SEAREV_ Système_ électrique_ autonome_ de_ récupération_ de_ l'énergie_ des_ vagues

[4] AURÉLIEN BABARIT : Optimisation hydrodynamique et contrôle optimal d'un récupérateur de l'énergie des vagues. : *Thèse de doctorat de l'université de Nantes , 2005.*

Étude thermodynamique de la fonte des banquises polaires

Certains dérèglements climatiques désastreux semblent devoir aboutir à l'annihilation de continents entiers, une telle prédiction du film "Le Jour D'après" me terrifie. Puisque la fonte des banquises est un facteur majeur accélérant ces dérèglements, sa compréhension s'avère indispensable pour éviter ces événements tragiques : elle fera l'objet de mon étude.

Pour étudier la fonte d'une banquise, il convient d'examiner ses rapports thermiques avec l'air, le soleil et l'eau sur laquelle elle flotte, dans notre cas l'eau de l'océan. En conséquence, ce sujet est en adéquation avec le thème de cette année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Physique de la Matière), MATHÉMATIQUES (Analyse), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>banquise</i>	<i>sea ice</i>
<i>équation de la chaleur</i>	<i>heat equation</i>
<i>transfert thermique</i>	<i>heat transfer</i>
<i>température</i>	<i>temperature</i>
<i>résolution numérique</i>	<i>numerical resolution</i>

Bibliographie commentée

Une banquise, contrairement à la confusion faite fréquemment, n'est pas une calotte polaire. En effet, cette dernière est un glacier d'eau douce qui se forme suite à des accumulations de précipitations neigeuses. En revanche, lorsque la température des océans décroît en deçà de -2°C , des petits cristaux en forme d'aiguille appelés frazils apparaissent. Le sel ne participe pas aux cristaux; il s'expulse et l'océan devient plus salé. Les frazils flottent vers la surface, se rapprochent et s'accumulent formant des plaques de glaces : les banquises aussi appelées glace de mer [1]. Les banquises se situent dans les régions polaires et couvrent environ 25 millions de kilomètres carrés de la surface de la Terre, soit deux fois et demi la superficie du Canada [2].

La banquise joue un rôle écologique important. Elle représente l'habitat et la source de vie d'une variété fascinante d'espèces animales [2]. Ceci dit, la valeur primordiale des banquises réside dans leur contribution majeure au contrôle climatique. D'une part, la région Arctique représente ce qu'on appelle des sites de convections : des sites où se forme une grande partie des eaux denses de la planète, ces eaux sont nécessaires pour le maintien et la stabilité de la circulation thermohaline qui, à son tour, joue le rôle d'un modérateur du climat mondial [3]. D'autre part, la blancheur des banquises réfléchit beaucoup plus de chaleur vers l'atmosphère que la surface de l'océan à cause de l'albédo de la glace et elle permet donc d'éviter la surchauffe de la Terre [4].

Aujourd'hui : ces banquises sont en train de fondre. Au cours des 40 dernières années leur superficie a connu une chute spectaculaire. Depuis que les mesures satellitaires ont commencé à la fin des

années 1970, les données montrent une tendance à la fonte d'une quantité sans cesse croissante de la glace pendant les étés alors que celle qui se forme pendant les hivers est en décroissance [5]. Le besoin d'établir des modèles de simulation et de prévision de la fonte des banquises s'avère donc crucial.

Les vitesses de formation de la glace ainsi que sa fonte dépendent des trois modes d'échanges thermiques (conduction, convection et rayonnement). En effet, à la surface de la banquise, les échanges se font par convection suivant la loi de Newton et par rayonnement alors que la conduction thermique décrit le transfert thermique à l'intérieur de la glace à cause du gradient de température entre la région émergée et celle submergée [3]. Le terme de rayonnement modélisé par la loi de Stefan serait à l'origine de la compréhension de la fonte estivale et la formation hivernale annuelle. En effet, la nuit polaire bloque l'apport de chaleur par rayonnement solaire durant l'hiver permettant aux eaux salées de se solidifier.

Pour résoudre les équations obtenues on peut envisager une approche analytique : séparation des variables spatiotemporelles et application d'une transformée de Fourier ou d'une série de Fourier. Mais, les équations étant un peu compliquées, une résolution numérique à l'aide de la méthode des différences finies (schéma d'Euler explicite ou la méthode de Crank-Nicolson) est plus adéquate et de meilleure facture.

Problématique retenue

Le cycle de formation et de fonte annuelle des banquises a connu de grandes perturbations durant les dernières décennies, peut-on déterminer les facteurs pertinents expliquant ces perturbations à travers une étude thermodynamique de ce cycle ?

Objectifs du TIPE

Je me propose :

- D'établir l'équation de la chaleur décrivant ce système à travers les différents termes de transferts thermiques durant l'été et l'hiver polaires.
- De résoudre les équations aux dérivées partielles obtenues afin d'aboutir à une modélisation numérique de la fonte des banquises.
- De déduire le/les facteurs accélérant la fonte des banquises à travers les simulations numériques.
- De conclure quant à la suffisance d'une étude thermodynamique.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] NATIONAL SNOW AND ICE DATA CENTER : All about sea ice, Ice formation :

<https://nsidc.org/cryosphere/seaice/characteristics/formation.html>

[2] WORLD WILDLIFE FUND : La banquise :

http://www.wwf.ca/fr/conservation/arctique/la_banquise/

[3] OLIVIER FEYS ET OLIVIER LIETAER : Méthodes d'éléments finis pour la dynamique de la glace de mer : <https://perso.uclouvain.be/olivier.lietaer/reports/memoire.pdf>

[4] MARGAUX DANIËLS, MALCOLM DIRICQ, ARTHUR FONSNY ET BENOÎT LEMMERS : Dark Snow : https://sciences.brussels/printemps/download/2015/dossier_p--dagogique/ULB-Sciences-G--

ographie-Dark-snow_2.pdf

[5] REBECCA LINDSEY ET MICHON SCOTT : Climate Change: Arctic sea ice summer minimum :
<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-minimum-arctic-sea-ice-extent>

Prédiction de la marée

Actuellement on suit la hausse du niveau des océans car son élévation constitue un vrai enjeu vital pour des pays entiers comme l'archipel des Maldives. Il faut alors, lors des mesures altimétriques, tenir compte de la hauteur de la marée et donc prédire cette hauteur.

Mon sujet porte sur l'étude des marées océaniques ce qui est à mon avis au cœur du thème de cette année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique), PHYSIQUE (Mécanique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Marée</i>	<i>Tide</i>
<i>Prédiction</i>	<i>Prediction</i>
<i>Analyse Harmonique</i>	<i>Harmonic analysis</i>
<i>Développement de Darwin</i>	<i>Darwin development</i>
<i>ARMA</i>	<i>ARMA</i>

Bibliographie commentée

Le phénomène de la marée est l'oscillation périodique du niveau de la mer causé essentiellement par l'attraction du soleil et de la lune. En fait, les effets conjugués de ces attractions forment ce qu'on appelle force génératrice de la marée. En effet, c'est Isaac Newton (1642-1727) qui a défini ces forces d'une manière quantitative. Il montre par un calcul simple de la mécanique qui découle de la relation fondamentale de la dynamique que la force génératrice de la marée est la différence entre la force d'attraction exercée sur un corps isolé de la surface de la terre et celle que subirait ce corps s'il était situé au centre de la terre. Les découvertes fondamentales de Newton étaient une révolution à cette époque. Néanmoins, elles étaient décevantes pour la prédiction de la marée [1][3]. Il a fallu attendre près d'un siècle pour qu'un progrès appréciable soit réalisé dans l'explication et la prédiction de ce phénomène. En effet, Laplace (1749-1827) a traité le problème d'un point de vue dynamique et non pas d'un point de vue statique comme Newton a fait. Il considère ainsi que la réponse de l'océan suite aux forces génératrices de la marée prend la forme d'ondes qui se propagent dans l'océan. De ce fait, la marée est la superposition de ces ondes à un endroit bien déterminé. Concernant la prédiction, les formules de Laplace ont permis de prédire la marée à Brest sous réserves de linéarité. L'hypothèse de la linéarité n'étant pas toujours vérifiée, les formules de Laplace ne peuvent être applicables universellement. D'où le recours à la méthode harmonique [1]. Darwin a présenté un développement en 40 composantes harmoniques du potentiel générateur de la marée, quant à Doodson il arrive à en avoir 200 [4].

Ainsi en utilisant le fait que la hauteur de la marée est une somme de fonctions sinusoïdales on pourra à l'aide d'un marégraphe faire l'analyse du spectre de la marée. Par la transformée de

Fourier on détermine les constantes harmoniques et on prédit ainsi la hauteur de la marée [2]. Certes l'analyse harmonique peut donner d'excellents résultats pour des cycles réguliers. Toutefois, cette méthode s'est révélée compliquée à mettre en œuvre dans le domaine de la marée. A cet égard, il faut attendre jusqu'à 1920 pour qu'une nouvelle voie d'analyse des séries chronologiques apparaissent, lorsque Yule Walker a introduit les modèles autorégressifs (AR) et Slutsky a introduit les moyennes mobiles (MA) [5].

L'étude des séries temporelles semble avoir atteint son apogée au cours des années 70. C'est à cette époque que Box et Jenkins ont publié leur ouvrage 'Time series analysis, forecasting and control', et ont montré que l'étude des séries temporelles à l'aide de processus de type ARMA (association de AR et MA) pouvait être applicable à de nombreux domaines pour prédire les points futurs d'une série temporelle [5]. Par conséquent, il peut constituer un moyen pour la prédiction des marées.

Problématique retenue

Peut-on prédire d'une manière précise le phénomène de la marée à n'importe quel endroit ?

Objectifs du TIPE

Mon travail tourne essentiellement autour des points suivant :

- La compréhension et la modélisation du phénomène de la marée
- L'utilisation des modèles autorégressifs et moyens mobiles ARMA pour la prédiction
- L'utilisation des techniques du modèle linéaire généralisé pour établir une formule qui approche le mieux la formule harmonique de la marée
- L'implémentation d'un programme de prédiction de la marée

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] BERNARD SIMON : La marée côtière : *Institut océanographique, Fondation Albert Ier, 2007*
- [2] JAMES BARTON : The use of the harmonic analysis method for analyzing tidal levels : <https://www.ivoryresearch.com/samples/the-use-of-the-harmonic-analysis-method-for-analysing-tidal-levels/>
- [3] PHILIPPE THEBAULT : Conférence scientifiques sur le thème des TIPE : *Les effets de marée dans le système solaire, 2020, Paris, France*
- [4] SHOM : Notions fondamentales sur la marée : http://refmar.shom.fr/documents/10227/146428/Voineson%26Jan_Journees-REFMAR-2013.pdf
- [5] ARTHUR CHARPENTIER : Modèles de prévision Séries temporelles : <http://freakonometrics.free.fr/uqamts.pdf>

Analyse des données de la fosse Marianne,dans l'océan pacifique

Impressionnée par la chaîne « toute l'histoire », j'ai été intriguée par une question concernant la guerre du pacifique en 1942 : Que reste-t-il des épaves des avions au fond de l'océan pacifique ? Une enquête faite concernant cet océan m'a orienté vers l'analyse des données sur la fosse Marianna. Mon tipe est en adéquation avec le thème de l'année. En effet, il met en exergue la région la plus profonde non seulement de l'océan Pacifique mais aussi de tous les océans. L'étude de la profondeur, ainsi que la géomorphologie de cette tranchée sera riche de renseignements.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées), MATHEMATIQUES (Algèbre), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>La fosse Marianne</i>	<i>Mariana trench</i>
<i>Analyse par composante principale</i>	<i>Principal component analysis</i>
<i>La profondeur</i>	<i>Depth</i>
<i>Apprentissage non supervisé</i>	<i>Unsupervised learning</i>
<i>Apprentissage automatique</i>	<i>Machine learning</i>

Bibliographie commentée

Les découvertes cessent, l'Humanité s'achève. Des milliers d'exploits ont été réalisés : En 1492, Christophe Coulomb a découvert le continent américain, dans une traversée Atlantique. En 1822, Louis Pasteur, le pionnier de la microbiologie, a découvert le vaccin contre la rage. En1968, l'astronaute Amstrong est le premier homme ayant marché sur la Lune etc. Des milliers de grimpeurs ont réussi à escalader le mont Everest, le point le plus élevé de la Terre, alors que peu nombreux sont les personnes qui sont descendues, dans le point le plus profond de l'océan. Parmi les rares aventuriers, on cite l'océanographe suisse Jacques Piccard et l'explorateur américain Don Walsh [1].

Etant la région la plus profonde de l'océan pacifique occidental, la fosse Marianna est une dépression topographique longue et étroite du fond marin située, à 200 Km à l'est des îles Mariannes, à l'est des Philippines, à proximité de l'île de Guam. Sa profondeur maximale, mesurée par la sonde sous-marine KAIKO, peut atteindre 10,911 Km (c'est la mesure la plus précise d'origine japonaise)[2].

La récolte des données d'une région d'une telle profondeur est faite, grâce à un navire de recherche, qui couvre l'intégralité du site en tractant un sondeur multifaisceaux. Le principe de ce dispositif s'articule sur l'émission d'une dizaine d'ondes acoustiques, en même temps. A chaque signal émis, il

en résulte plusieurs signaux réfléchis par le fond marin. Une mesure et une analyse des signaux reçus permettent non seulement, une description de la bathymétrie de cette fosse, en donnant des renseignements assez exhaustifs concernant sa géomorphologie, mais aussi de constituer une carte représentative de la nature des fonds marins [3].

Ces données collectées par le sondeur sont récupérées par Le logiciel de visualisation cartographique (exemple: QGIS) et enregistrées dans deux bases. Dans la première base, on a des données sur la bathymétrie de la fosse Marianne. Elles constituent la pierre angulaire pour pouvoir étudier les 25 profils de cette fosse. Chaque profil est de longueur 1000 Km et l'intervalle entre deux profils est de 100 Km. Ces données seront utilisées pour tracer des histogrammes de fréquences de la profondeur[4]. Dans la deuxième base, on a des données sur la géomorphologie de cette tranchée. Pour chaque profil, on a les facteurs géologiques de cette région comme l'épaisseur des sédiments, l'angle des pentes, ... [5].

Une analyse descriptive nécessitant le calcul des différents estimateurs sera bien utile, dans l'éclaircissement des renseignements de la base. Puis, une recherche minutieuse de l'existence des points aberrants sera réglée grâce aux plusieurs méthodes comme la méthode de Tukey [6]. Quant à l'analyse statistique de ces bases de données citées ci-dessus, elle se repose sur les techniques d'apprentissage automatique, liées à l'intelligence artificielle [7]. L'enjeu de l'apprentissage automatique est de comprendre la structure des données en les intégrant dans des modèles simples. Mais, La malédiction des grandes dimensions demeure sa contrainte majeure. En effet, l'analyse des données d'un espace de grande dimensionnalité constitue un obstacle assez complexe, pour pouvoir assurer la transcription fidèle dans des espaces de petites dimensions. L'analyse par composante principale (ACP) est une approche utilisée pour palier à cet obstacle [8]. Cette méthode permet de réduire la dimension de la base de données, tout en conservant l'essentiel de l'information contenue dans celle-ci et ayant un but d'effectuer un apprentissage non supervisé. Dans un premier temps, la segmentation par le biais de plusieurs algorithmes comme K-Means, classification hiérarchique descendante CAH, réduit la complexité des données et favorise l'identification des sous-groupes homogènes [9]. Dans un second temps, une analyse explicative permet de trouver des relations entre les différents facteurs géologiques. On peut appliquer la même analyse mais avec un modèle linéaire généralisé.

Il serait donc, intéressant d'étudier la fosse Marianne ainsi que ses facteurs géologiques, car c'est une zone de subduction importante et jusqu'à maintenant très méconnue. Elle pourrait éventuellement renfermer des ressources énergétiques[10].

Problématique retenue

Comment s'y prend on d'étudier les profondeurs abyssales de la région de Mariana Trench à l'aide des nouvelles techniques d'analyse des données issues de l'apprentissage automatique? Peut-on estimer l'impact de la position géographique et des facteurs géologiques sur la géomorphologie de cette région inconnue?

Objectifs du TIPE

-Décrire les données collectées à l'aide de la statistique descriptive (estimateurs statistiques simples et graphes comme: les histogrammes de fréquences, les nuages de points, les diagrammes à moustache...)

- Résolution du problème de la grande dimensionnalité.

- Application des techniques d'apprentissage non-supervisé avec les algorithmes k-means et autres pour caractériser les données.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] REBECCA MORELLE : Mariana Trench: Deepest-ever sub dive finds plastic bags :

<https://www.bbc.com/news/science-environment-48230157>

[2] MARINE GEODESY : So, How deep is the Mariana Trench ? :

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01490419.2013.837849>

[3] GÉOSCIENCES MARINES : le sondeur multifaisceaux :

<https://wwz.ifremer.fr/gm/Comprendre/Nos-moyens/Les-sondeurs/Le-sondeur-multifaisceaux>

[4] POLINA LEMENKOVA : Base de donnée : <https://www.kaggle.com/polinalemenkova/bathymetry-of-the-mariana-trench-25-profiles>

[5] POLINA LEMENKOVA : Base de donnée :

<https://www.kaggle.com/polinalemenkova/geomorphology-of-the-mariana-trench>

[6] Méthode de Tukey : <https://support.minitab.com/fr-fr/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/anova/supporting-topics/multiple-comparisons/what-is-tukey-s-method/>

[7] METOMO JOSEPH BERTRAND RAPHAEL : machine learning :

<https://www.supinfo.com/articles/single/6041-machine-learning-introduction-apprentissage-automatique>

[8] POLINA LEMENKOVA : Statistical Analysis of the Mariana Trench Geomorphology :

https://www.researchgate.net/publication/335582635_Statistical_Analysis_of_the_Mariana_Trench_Geomorphology_Using_R_Programming_Language

[9] Clustering : <https://scikit-learn.org/stable/modules/clustering.html#clustering>

[10] BECKY OSKIN : Mariana Trench: The Deepest Depths : <https://www.livescience.com/23387-mariana-trench.html>

Colonisation des océans : exploiter l'intelligence artificielle dans le cadre de l'exploration sous-marine

Depuis quelques années, on entend de plus en plus parler de l'intelligence artificielle et de l'impact qu'elle va avoir sur nos vies. Étant un grandement intéressé par les nouvelles technologies, notamment celles liées à l'informatique, l'idée d'utiliser l'intelligence artificielle pour mon sujet m'a semblé tout à fait pertinente et intéressante.

Le travail que je compte mener a pour but d'utiliser des technologies de l'intelligence artificielle de manière à éventuellement aider des robots sous-marins à explorer les fonds marins. Ainsi mon étude, via le thème de l'exploration de l'océan, est rattaché à l'océan et s'inscrit dans le thème de l'année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

INFORMATIQUE (Informatique pratique), PHYSIQUE (Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique Théorique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Océanographie</i>	<i>Oceanography</i>
<i>Robots sous-marins autonomes</i>	<i>Autonomous underwater vehicles</i>
<i>Intelligence artificielle</i>	<i>Artificial Intelligence</i>
<i>Mécanique des fluides</i>	<i>Fluid dynamics</i>
<i>Simulation informatique</i>	<i>Computer simulations</i>

Bibliographie commentée

Près de 2 tiers de la surface de la Terre sont couverts d'eau, dont une partie importante par les océans. Grâce aux satellites, qui nous permettent de faire des observations et des mesures sur la surface de ceux-ci, on a déjà une quantité importante d'informations concernant les océans. Cependant, bien qu'on ait par exemple une certaine idée sur leur topographie (du moins à grande échelle), certains courants marins qui les animent, ou encore leur composition, ils nous restent encore beaucoup à explorer, notamment si on veut connaître plus en détail certaines régions sous-marines [1], et les ressources qu'ils renferment, ainsi que leur potentiel, sont encore largement inexploités. On les utilise déjà pour la pêche, pour certains forages de pétrole, ou simplement comme support de déplacement, mais on peut aussi trouver dans le monde de nombreux projets et idées qui cherchent à les mettre à profit, et faire avancer la "Colonisation de l'océan". On cherche ainsi à exploiter leurs gradients thermiques ou les courants marins pour la production d'énergie, leurs biomasses pour la création de biocarburant, y créer des villes flottantes, y mettre en place de nouvelles techniques de pêche, ou encore à corriger le problème de la pollution en nettoyant l'océan de ses déchets [2]. Au final, il est donc important de mieux comprendre les océans, entre autres via leur exploration.

De façon assez analogue, le domaine de l'intelligence artificielle a encore un grand potentiel en termes d'impact et des bénéfices qu'il pourrait nous apporter. Son principe consiste à permettre à des machines et programmes informatiques d'agir de façon de plus en plus autonome, en minimisant l'intervention humaine. On l'utilise par exemple pour permettre aux voitures de se diriger petit à petit vers la conduite autonome, sans assistance humaine, pour faire fonctionner des assistants vocaux virtuels, aider aux diagnostics médicaux, ou encore de nombreux buts divers et variés [3]. Pour cela, on met au point et développe constamment de nouvelles méthodes et technologies liées à l'intelligence artificielle. Par exemple, le concept des réseaux neuronaux s'inspire du fonctionnement du cerveau humain en modélisant un réseau de neurones divisé en plusieurs couches, chacune utilisant les signaux en entrée pour sortir des signaux qui vont vers la couche suivante. On développe aussi des programmes de reconnaissance d'image, qui associés à d'autres technologies, peuvent permettre à un programme de reconnaître les objets présents dans une image, puis, dans un contexte particulier, d'interpréter cette image pour comprendre une situation et tirer des informations utiles de l'image en question. L'intelligence artificielle peut aussi être utilisée pour commander des prothèse [4], voire des machines ou robots plus complets.

De la combinaison de la nécessité de mieux comprendre et exploiter l'océan et du concept de l'intelligence artificielle appliqué à la robotique, ainsi que la difficulté à communiquer sous l'eau, est née l'idée de rendre les robots sous-marins indépendants de tout contrôle humains, d'où l'existence et le développement des robots sous-marins autonomes à partir des années 1950 [5]. Plus récemment, une équipe au MIT a par exemple réussi à développer un programme informatique qui est censé permettre à ces robots sous-marins de se déplacer sous l'eau, en respectant entre autres des contraintes de temps et de consommation d'énergie, tout en prenant en compte la présence de courants marins qui peuvent influencer le mouvement du robot. Le robot est alors même capable d'utiliser ces courants à son avantage, en se laissant emporter par les courants quand cela lui permet de se rapprocher de son objectif. [6]

Ainsi, les domaines de l'intelligence artificielle et de l'océanographie sont encore en plein développement, et en ce moment même, de nombreux scientifiques dans le monde œuvrent à exploiter et développer les technologies liées à l'intelligence artificielle pour faire avancer l'exploration de l'océan. Ici, on va notamment s'intéresser aux robots sous-marins autonomes qui doivent naviguer dans des courants marins, et dont le déplacement est commandé par une intelligence artificielle.

Problématique retenue

En effectuant des missions d'exploration des fonds marins, les robots sont confrontés à de nombreuses contraintes (temps, batteries limitées, etc.) qui limitent leur déplacements. Il s'agit alors d'utiliser les technologies de l'intelligence artificielle pour permettre aux robots d'appréhender et de mettre à profit les courants marins pour optimiser leurs déplacements.

Objectifs du TIPE

- Comprendre le fonctionnement des courants marins et la façon de les modéliser

mathématiquement

- Se familiariser avec les technologies de l'intelligence artificielle, identifier celles qui pourraient permettre d'appréhender les courants marins et comprendre la façon de les mettre à contribution pour améliorer les déplacements des robots
- Utiliser les technologies de l'intelligence artificielle pour optimiser les déplacements des robots en utilisant les courants sous-marins dans le cadre de simulations informatiques

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] JON COPLEY : Mapping the deep, and the real story behind the “95% unexplored” oceans : <http://moocs.southampton.ac.uk/oceans/2014/10/04/mapping-the-deep-and-the-real-story-behind-the-95-unexplored-oceans/>, consulté le 06/02/2020
- [2] CARINE PEYRIÈRES, ROMAIN RAFFEGEAU : Océans, comment on va les coloniser : *Science & Vie Junior* 287 (Août 2013), 26-37
- [3] MICROSOFT : Tout savoir sur l'intelligence artificielle : <https://experiences.microsoft.fr/business/intelligence-artificielle-ia-business/comprendre-utiliser-intelligence-artificielle/>, consulté le 06/02/2020
- [4] OPENAI : OpenAI Progress : <https://www.openai.com/progress/>, consulté le 06/02/2020
- [5] NANCY STAUFFER : AUVs: from idea to implementation : <http://news.mit.edu/2011/auv-series-part1-1107>, consulté le 06/02/2020
- [6] DAVID L. CHANDLER : Sometimes, the quickest path is not a straight line : <http://news.mit.edu/2012/underwater-swarms-robots-0308>, consulté le 06/02/2020

conception et étude simplifiée d'une plateforme pétrolière à ligne tendues(PLT)

Il y a deux ans, j'ai visionné sur youtube , une vidéo de l'émission « Ce n'est pas sorcier » passée sur france3, dans laquelle ont été présentés, différents types de plateformes pétrolières. L'importance des chargements appliqués à ces constructions rendent intéressant l'étude de leur comportement statique et dynamique.

Dans cette émission, on a souligné que les plateformes pétrolières adaptées aux mers profondes sont les plateformes pétrolières à lignes tendues. C'est pour cette raison, que j'ai pensé à ce type de plateforme pétrolière, lors du choix du sujet, qui s'inscrit bien dans le thème de l'année « Océans ».

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Mécanique), SCIENCES INDUSTRIELLES (Génie Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Construction marine</i>	<i>Offshore structures</i>
<i>Plateforme à lignes tendues</i>	<i>Tension Leg Platform TLP</i>
<i>PLT</i>	
<i>rigidité</i>	<i>Stiffness</i>
<i>houle</i>	<i>Wave</i>
<i>étude dynamique</i>	<i>dynamic study</i>

Bibliographie commentée

Pour répondre aux besoins énergétiques, de plus en plus importants dans le monde, les industriels ont étendu leurs investissements dans les mers et les océans (plateformes pétrolières, éoliennes etc.). Ces investissements onéreux[2] , se justifient particulièrement par l'augmentation du prix du baril de pétrole ces dernières années .

Aujourd'hui il est possible de faire de l'exploration et de l'exploitation de gisements de pétrole et de gaz dans des profondeurs qui dépassent largement le 1000m de profondeur d'eau. Pour ces profondeurs d'eau, les plateformes pétrolière dite PLT (plateforme à lignes tendues) sont souvent retenues[1]. Il s'agit de plateformes reliées au sol marin par des câbles d'acier tendus. Ces câbles maintiennent ces plateformes plus enfoncées dans l'eau que leur ligne de flottaison .

L'importance et la diversité des chargements appliquées à ces constructions (vent, courant, houle, etc.) rendent délicat le dimensionnement de ces structures, qui passe principalement par l'étude de leur comportement statique et dynamique. En effet, ces études nécessitent des ingénieurs concepteurs maîtrisant :

Ⓐ L'aérodynamique et la mécanique des fluides [8], particulièrement la théorie de la houle [9].

Ⓐ Le calcul des structures par la méthode des éléments finis [6].

Ⓐ Les normes en vigueur. On cite particulièrement les normes ASME, API et DNV [3]. Ces normes recommandant des formules empiriques et des méthodologies, destinées aux ingénieurs des bureaux d'études.

En plus, une plateforme reste sur le site de production pendant une durée de 25 ans à 30 ans. La tenue en services de ces structures pendant cette période nécessite un contrôle continu (contrôle non destructif dit CND), des études complémentaires liées à la résistance à la fatigue et à la fragilisation par corrosion des structures.

Des laboratoires de recherches, des ingénieurs de recherches et de développements continuent à s'intéresser aux plateformes PLT. On cite particulièrement :

Ⓐ Les travaux de recherches concernant l'encastrement des câbles au sol marin. Bien que les pieux sont très utilisés pour les fondations [2], un intérêt particulier est accordé à l'ancrage par succion (Suction Bucket Foundation), très utilisé aujourd'hui pour la fixation des éoliennes [4].

Ⓐ Les travaux de recherches relatifs à la modélisation de l'effet de la houle sur les plateformes. Dans le rapport l'habilitation à diriger les recherches [5], présenté à l'université de Bourgogne, monsieur Paolo VANNUCCI, présente une estimation de l'effet de la houle sur la plateforme, sans appliquer la formule usuelle de Morrison.

Ⓐ Les travaux de recherches concernant le comportement dynamique des plateformes pétrolières sous l'effet de chargements. Par exemple, on peut citer :

· une analyse dynamique d'une plateforme PLT, sous l'effet d'une houle aléatoire. Cela en utilisant la méthode des éléments Finis. [6],

· une analyse dynamique non linéaire d'une plateforme PLT, sous l'effet d'une houle de faible amplitude (en utilisant la formule empirique de Morrison). [7]

Problématique retenue

Ce qui vient d'être présenté ci-dessus, montre que l'étude du comportement de la plateforme pétrolière PLT est très délicate puisque, elle fait appel à un ensemble de compétences que les étudiants de préparatoire n'ont pas encore acquis. Ainsi, comment concevoir un modèle simplifié d'une plateforme à des fins pédagogiques?.

Objectifs du TIPE

La simplification du modèle de plateforme pétrolière, passe par le choix d'une coque cylindrique, tenue par des câbles à sa base. En effet, la forme de la coque est très adaptée pour les chargements appliqués, puisqu'il ne nécessite pas des études différentes en fonction de la direction des charges. L'objet principal du TIPE, est de faire l'étude de l'équilibre dynamique du modèle simplifié retenu.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] DNV-GL : Offshore Structures – Introduction TLP :

https://www.dnvgl.us/Downloads/TW16-Offshore%20Floating%20Structures-Day1-TLP_tcm14-82617.pdf

[2] FONDATION D'ENTREPRISE ALCEN POUR LA CONNAISSANCE DES ÉNERGIES : Pétrole et gaz offshore : <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/petrole-et-gaz-offshore>

[3] BUREAU VERITAS : Rules for the classification of Tension leg Platforms : https://marine-offshore.bureauveritas.com/sites/g/files/zyfpx136/files/pdf/578-NR_2012-07.pdf

[4] KHALID ABDEL-RAHMAN* MARTIN ACHMUS*** : Behaviour of Monopile and Suction Bucket Foundation Systems for Offshore Wind Energy Plants : https://www.igth.uni-hannover.de/uploads/tx_tkpublikationen/8.pdf

[5] PAOLO VANNUCCI : Un parcours de recherche multidisciplinaire en mécanique: Analyse des forces de la houle et optimisation d'une plate-forme pétrolière Calcul de branches bifurquées par la méthode asymptotique numérique La méthode polaire en analyse, identification et conception par algorithme génétique des stratifiés : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00625958/document>

[6] T. JAYALEKSHMI* R. SUNDARAVADIVELU** V. G. IDICHANDY : Dynamic Analysis of Deep Water Tension Leg platforms under random Waves : *Journal of offshore Mechanics and arctic engineering* (vol 132 – November 2010).

[7] M. JAMEEL, D. O. OYEJOBI, N. A. SIDDIQUI AND N. H. RAMLI SULONG : Nonlinear Dynamic Response of Tension Leg Platform under Environmental Loads : *KSCE Journal of Civil Engineering* • July 2016

[8] CHANTAL MEURIS : Cours de Mécanique des fluides : https://perso.crans.org/mbertin/Cours_Mecanique_des_fluides.pdf

[9] JEAN BOUGIS : Les houles périodiques simples : <http://www.scs-ingenierie.com/pdf/cours/Houles.pdf>

Réduction d'un modèle océanographique

Passionnée par le monde de l'intelligence artificielle, j'ai effectué un stage en data science durant l'été passé. A ce moment-là, je remarque que le monde est plongé dans un océan de données. Néanmoins, ce phénomène rend difficile leur exploitation. Ma passion pour les mathématiques me pousse à étudier les différentes solutions.

De nos jours, le volume des informations océanographiques marque une croissance en exponentielle. Diverses méthodes d'analyse de données nous permettent de réduire la dimension de ces bases de données afin d'aboutir à une meilleure compréhension du milieu océanique. Ainsi, mon sujet est en adéquation avec le thème de l'année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Algèbre), INFORMATIQUE (Informatique pratique), INFORMATIQUE (Informatique Théorique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français) **Mots-Clés** (en anglais)

Analyse de données *Ocean's data analysis*
océanographiques

Analyse en composantes principales *Principal component analysis*

Décomposition en valeurs singulières *Singular value decomposition*

Décomposition Orthogonale aux valeurs propres *Proper orthogonal decomposition*

Réduction de modèle *Reduced order model*

Bibliographie commentée

Nombreuses sont les méthodes d'analyse de données. Elles ont pour objectif d'établir des relations linéaires et non-linéaires entre un groupe de variables dites explicatives, et un autre groupe de variables dites expliquées. C'est l'analyse en composantes explicatives. Considérée comme un modèle général, toutes les méthodes d'analyse de données basées sur un modèle linéaire en sont des cas particuliers de l'analyse en composantes explicatives.

Les méthodes numériques utiles pour les résolutions d'équations aux dérivées partielles sont insuffisantes pour expliquer un phénomène d'écoulement. Le problème se ramène donc à utiliser les méthodes de réduction de modèle (ou ROM pour 'reduced order model') [1]. Notons, dans ce cas, l'Analyse en Composantes Principales, Décomposition en Valeurs Singulières, et enfin, la Décomposition Orthogonale aux Valeurs propres.

La complexité d'analyser n individus en fonctions de p variables réside en ce que les individus ne sont plus graphiquement représentés dans un plan mais dans un espace de dimension plus grande. L'Analyse en Composantes Principales ACP ou PCA « principal component analysis » permet de

représenter le nuage de points individus et variables appartenant à un grand espace dans un espace de dimension plus réduite. Il s'agit, dans cette étude, d'une approche géométrique avec une perte d'information maîtrisée [2].

En projetant orthogonalement les vecteurs à p composantes associés aux individus sur un « axe factoriel », on obtient les nouvelles coordonnées qui sont les « composantes principales ». Ensuite, on peut en extraire « les facteurs principaux » recherchés afin de réaliser les graphiques dans un espace de petite dimension (le nombre de facteurs retenus) [3].

D'une autre part, La Décomposition en Valeurs Singulières est utile pour l'exploration statistique multidimensionnelle. Plus précisément, elle étudie les valeurs propres et vecteurs propres de matrices rectangulaire $n \times p$. L'objectif est d'approximer cette matrice à une autre matrice de mêmes dimensions mais de rang inférieur. [4]

Connue sous le nom de Décomposition de Karhunen-Loève ou l'analyse d'Hotelling, la décomposition Orthogonale aux Valeurs propres permet de décomposer les données avec des fonctions orthogonales. Dans le but de compresser les données, ces modes propres sont obtenus par la résolution d'une équation intégrale de Fredholm [5].

Ces différentes méthodes d'analyse de données trouvent leurs applications dans de nombreux domaines comme l'analyse du signal, la compression de données ou des processus d'identification et de contrôle en chimie, l'océanographie et enfin en mécanique des fluides.

En 1967, Lumley introduit la POD dans le domaine de la mécanique des fluides en associant les structures d'un écoulement aux modes propres. En 1988, Aubry construit un système dynamique capable de décrire la dynamique des structures d'écoulement à l'intérieur d'un canal à l'aide d'une base POD [1].

Dans cette étude, on s'intéresse aux variations de température de la surface de l'océan (SST) sud atlantique pendant 40ans analysées avec la méthode de décomposition orthogonale aux valeurs propres [6]. On voit aussi que la décomposition en valeurs singulières nous permet d'étudier deux paramètres fortement couplés qui sont la température et la pression au niveau de l'océan (SSP et SLP) [6].

Problématique retenue

L'objectif est d'aboutir à un modèle océanographique réduit et bien adapté pour une meilleure exploitation de l'océan.

Objectifs du TIPE

Je propose :

- D'étudier la démarche théorique mathématique exploitée dans les méthodes de réduction de modèle.
- Ensuite, de mettre en pratique l'ensemble de ces techniques évoquées pour traiter une base de données océanographique.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] ANTOINE DUMON : Réduction dimensionnelle de type PGD pour la résolution des écoulements incompressibles : <https://tel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/644565/filename/these.pdf>

- [2] DANAME KOLAN : Réduction de dimension : Analyse en Composant Principal (avec Python) : <https://www.ephiquant.com/reduction-de-dimension-analyse-en-composant-principal-avec-python/>
- [3] J. GERGAUD : Unité Fondamentale: Algèbre linéaire: une application l'Analyse en Composantes Principales : <http://gergaud.perso.enseiht.fr/teaching/UFalglin.pdf>
- [4] 3BIM INSA LYON : Algèbre Linéaire et Analyse Matricielle : http://math.univ-lyon1.fr/~bernard/teach/numalg/algebre_notes_de_cours_3.pdf
- [5] AUTEUR INCONNU : Décomposition Orthogonale aux valeurs Propres 1 : <https://www.math.u-bordeaux.fr/~mbergman/PDF/These/chap3.pdf>
- [6] H.BJORNSSON AND S. A. VENEGAS : A Manual for EOF and SVD analyses of Climatic Data : http://shoni2.princeton.edu/ftp/lyo/journals/BjornssonVenegasEOF-SVD-Matlab2000Report.pdf?fbclid=IwAR2k9Ycrwt-CkKG8W_8_pa2QjeuNlQTRHWSbommn0oXtrz5bWferrvyMDcM

ETUDE DES VAGUES SOLITAIRES

Ayant regardé un documentaire télévisé, je fus frappé par la puissance et les dégâts causés par des vagues anodines nommées vagues solitaires, à l'instar des tsunamis

Ce sujet s'inscrit parfaitement dans le thème de cette année en ce sens que c'est l'OCEAN qui est le milieu où on observe le plus ces ondes particulières. En effet, ces vagues constituent l'un des problèmes majeurs rencontrés en haute mer et qu'on n'arrive pas à résoudre rigoureusement.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Mécanique), INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées).

Bibliographie commentée

Dans le canal de l'Union en 1834 on observait pour la première fois le phénomène physique appelé soliton ; ce dernier se définit en général comme une onde qui se propage dans un milieu dispersif et non linéaire sans se déformer. Il est judicieux de préciser que cette performance a été réalisée par Mr SCOTT RUSSEL.[3]

La modélisation physique de ces vagues spéciales est faite par l'utilisation des équations de Newtown couplée à la loi de conservation de masse. En dérivant les équations des vagues pour aboutir aux équations de Korteweg-de Vries (KDV) on calcule les solutions particulières sont exactement les vagues solitaires.[2] et [3]

L'on peut aussi voir le soliton comme l'effet de la dispersion et de contraction d'un front d'onde, ce dernier dû à la non-linéarité du milieu. Ces deux phénomènes doivent se compenser pour avoir la stabilité de l'onde.[3] Le présent article utilise comme illustration les tsunamis et mascarets qui sont les exemples les plus fâcheusement connus. En effet, dans cette expérience il est utile de préciser que la profondeur du fluide doit être très grande devant l'amplitude de l'onde pour ne pas avoir une déformation de l'onde ; aussi il faut une discontinuité de la vitesse à l'origine pour que le soliton apparaisse (elle doit brusquement augmenter).

Du fait de la parité naturelle de ces ondes on effectue une expérience dans laquelle on reproduit d'abord fidèlement cette onde dans une cellule de Hele-Shaw (fluide compris entre deux plaques). On mène une deuxième expérience dans laquelle en modifiant quelques paramètres aléatoirement on obtient une vague solitaire impaire (la parité ne peut être prédite à l'avance). [1] on sait au moins à l'issue de cette expérience que la vague solitaire paire est la superposition de deux étant impaire.

Problématique retenue

Au vu des articles qui précèdent, comment pouvons-nous expliquer ce phénomène nommé soliton ? Quel est le processus de création d'une vague solitaire ?

Objectifs du TIPE

Modélisation du phénomène physique :

- Mettre en avant les étapes de création d'un soliton
- Ressortir les équations aux dérivées partielles qui traduisent ce phénomène ; ceci constituera la résolution analytique
- Résolution des équations par divers méthodes
- Résolution numérique :on visualisera à partir d'un code les solutions à ces équations(simulation)

EVALUATION DU NIVEAU MOYEN DES OCEANS PAR ALTIMETRIE SATELLITAIRE

La hausse actuelle du niveau des océans est une conséquence directe du réchauffement climatique d'origine anthropique au niveau mondiale. C'est dans cette optique que j'ai eu l'idée pour mon TIPE de mettre en exergue le suivi du niveau moyen mondial des océans par le biais des satellites altimétriques.

Ce sujet s'inscrit dans le thème de cette année, Océan, par le fait qu'il calcule et analyse le niveau moyen des océans grâce aux satellites altimétriques.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Analyse), PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Satellites Altimétriques</i>	<i>Altimetric satellites</i>
<i>Radar altimétrique</i>	<i>Altimetric radar</i>
<i>Géoïde</i>	<i>geoid</i>
<i>L'ellipsoïde de référence</i>	<i>The reference ellipsoid</i>
<i>Ondes électromagnétiques</i>	<i>Electromagnetic waves</i>

Bibliographie commentée

Le réchauffement climatique se révèle être actuellement une catastrophe à l'échelle mondiale d'origine anthropique. Cette dernière a contribué particulièrement à une hausse du niveau des océans qui est une préoccupation majeure depuis quelques années. Elle résulte de l'augmentation de la température des océans, l'expansion thermique associée et La fonte des glaces continentales, glaciers et calottes polaires [5]. C'est ainsi que l'analyse des variations du niveau de la mer a débuté grâce aux marégraphes développés à l'origine pour mesurer les marées. Ils nous fournissent des observations sur l'évolution du niveau de la mer et nous indiquent depuis le début du XXe siècle que la mer est montée globalement à une vitesse moyenne de l'ordre de 1,7 mm par an [2]. Mais depuis le début des années 1990 et après une douzaine d'années, les observations synoptiques du niveau moyen des océans se font par satellite altimétrique comme par exemple Topex/Poseidon (1992-2006) et Jason-1 (2001-2013) qui ont indiqué une hausse moyenne globale de près de 3 millimètres par an [1].

Les satellites altimétriques améliorent l'ordre de grandeur des mesures du niveau moyen de la mer (l'ordre du cm) et mesurent les variations spatiales et temporelles de la topographie de surface des océans sur des échelles de temps supérieures à 10 jours et des échelles d'espace supérieures à 100 km [4].

En effet, la mission altimétrique effectuée par Topex/Poseidon a montré que la mer ne monte pas de manière uniforme car dans certaines régions la hausse atteint 5 fois la valeur moyenne tandis

que dans d'autres régions, le niveau de la mer baisse. Une importance capitale pour évaluer les risques d'une montée du niveau marin sur les populations côtières. De plus, en décembre 2001, une autre mission altimétrique a été effectuée par Jason-1 (le successeur de Topex/Poseidon) aux caractéristiques similaires à celle de Topex-Poseidon permettant d'allonger les séries temporelles de hauteur de la mer [1].

Le principe de l'altimétrie radar par satellite décrit par le CNES (Centre National D'étude Spatial) s'illustre par le fait que le radar mesure la distance altimétrique H_a du satellite par rapport à la surface de la mer en émettant des impulsions électromagnétiques et mesurant ainsi leur temps de propagation aller et retour. On en déduit la valeur relative H_m du niveau de la mer par $H_m = H_s - H_a - H_g$ avec H_s l'altitude du satellite au-dessus de l'ellipsoïde de référence et H_g la distance correctionnelle qui est l'écart entre le géoïde (surface équipotentielle de la pesanteur correspondant au niveau de repos de la mer) et l'ellipsoïde de référence (qui définit un repère du référentiel) par rapport auquel est repéré le satellite [4]. Toutefois, les ondes émises par le radar sont ralenties pendant leur traversée de l'atmosphère. Des corrections d'environnement sont donc nécessaires pour tenir compte des perturbations de distance telle que la correction ionosphérique, troposphérique, surfacique de l'océan liée à l'état de la mer agissant sur l'onde radar ainsi que la correction du signal altimétrique des marées (des hauteurs de marées pouvant atteindre 50cm) [3].

A l'issu de ces corrections de mesure, la distance satellite-océan est déterminée avec une précision de quelques centimètres toutes les secondes. Il est donc nécessaire de choisir une orbite stable du satellite afin d'optimiser la répétition des mesures sur une grande surface du globe et de connaître la position exacte du satellite sur son orbite grâce à des systèmes de localisation comme Doris, à effet Doppler, Mais également de connaître aussi sa hauteur H à chaque instant entre le satellite et l'ellipsoïde de référence, dans le but de mesurer par altimétrie Le niveau des océans (Sea Surface Height dans le jargon scientifique) en faisant donc tout simplement la différence entre l'altitude du satellite par rapport à l'ellipsoïde de référence et la distance satellite-océan R obtenue par mesure radar: $SSH = H - R$ [1], et ainsi de détecter des anomalies comme la présence d'un Tsunami.

Problématique retenue

L'altimétrie satellitaire est un moyen fiable pour évaluer le niveau des océans. Comment peut-on optimiser la précision des analyses et des calculs du niveau moyen des océans malgré les corrections éventuelles dues à l'émission des ondes électromagnétiques ? Peut-on détecter la présence d'une vague géante comme celle d'un Tsunami ?

Objectifs du TIPE

Je me propose d'effectuer les objectifs suivants :

-Modélisation : étude de la propagation de l'onde électromagnétique émise et réfléchi et recherche de leur fréquence

-Description de l'interaction entre l'onde appropriée et la surface de l'eau

-Simulation numérique : A l'aide du programme python je vais représenter la propagation de l'onde

émise et réfléchi dans l'eau afin d'avoir une allure de la surface océanique

-Analyse des données et application sur la détection d'un Tsunami

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] ANNY CAZENAVE : Les variations actuelles du niveau de la mer : Observations et causes : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00079969/document>
- [2] BENOIT MEYSSIGNAC ET GILLES REVERDIN : La hausse de la mer au XXe siècle: observations et causes : http://www.ocean-climate.org/wp-content/uploads/2017/02/hausse-niveau-mer_FichesScientifiques_04-3.pdf
- [3] AVISO+ : Calcul du niveau moyen des océans à partir de données altimétriques : <https://www.aviso.altimetry.fr/fr/donnees/produits/produits-indicateurs-oceaniques/niveau-moyen-des-mers/calcul-corrections.html>
- [4] MARIE-CHRISTINE ARTRU ET JULIETTE LAMBIN : Les satellites JASON et la mesure du niveau des océans : <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Jason-mesure-niveau-des-oceans.xml>
- [5] BRUNO VOITURIEZ : Dossier : mesurer le niveau des océans, un enjeu de taille : <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/oceanographie-dossier-mesurer-niveau-oceans-enjeu-taille-30466/>

OPTIMISATION DES PERFORMANCES D'UN VOILIER

Lors des compétitions de course à la voile, chaque équipe doit pouvoir tirer un maximum de potentiel de son engin afin de remporter le prix. Pour cela, il est nécessaire d'optimiser au mieux les performances du voilier et c'est dans ce cadre que se base mon TIPE.

Ce sujet s'inscrit dans le thème de l'année, traitant sur la recherche de la forme optimale d'une voile dans le but d'améliorer la traversée dans l'océan des navigateurs à voiles

Positionnement thématique (ETAPE 1)

PHYSIQUE (Mécanique), MATHÉMATIQUES (Mathématiques Appliquées), INFORMATIQUE (Informatique pratique).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>voilier</i>	<i>sailboat</i>
<i>voile</i>	<i>sail</i>
<i>Equation de Navier Stokes</i>	<i>Navier Stokes equation</i>
<i>Aérodynamique</i>	<i>Aerodynamic</i>
<i>réseau de neurones</i>	<i>neural network</i>

Bibliographie commentée

La recherche dans les milieux marins s'est développée en plusieurs branches, parmi lesquelles l'optimisation de la performance des engins ainsi que de leur description est devenu un sujet de recherche suscitant l'intérêt scientifique. Pour cela, une étude poussée du comportement des voiliers est nécessaire.

Le voilier évolue à la frontière de deux domaines fluides qui sont l'eau et l'air. Les différents efforts s'appliquant sur celui-ci sont : Les efforts hydrodynamiques (appliqués sur la coque) et les efforts aérodynamiques (appliqués sur la voile) [1][2]. Nous mettrons une attention particulière sur ces derniers. La voile a un rôle très important dans le fonctionnement d'un voilier, car elle permet de transférer l'énergie éolienne du vent en énergie cinétique pour faire avancer le bateau [1]. Il serait donc judicieux de trouver la meilleure forme possible de la voile pour tirer profit de cet avantage.

L'optimisation d'une voile passe généralement par deux approches différentes : La première est de modéliser avec soins l'écoulement du fluide qui est l'air autour de la voile ; La deuxième est d'utiliser un schéma numérique afin de trouver la forme que l'on cherche. L'interaction entre la voile supposée rigide, et un fluide environnant comme l'air est régit par l'équation de Navier-Stokes. Cette équation est une équation aux dérivées partielles n'admettant pas de solution analytique connue jusqu'à maintenant (problème du millénaire). Une modélisation simple de la voile nécessiterait donc des méthodes à bases d'éléments finis pour résoudre numériquement cette équation. L'alternative est donc d'assimiler la voile à une aile rigide en mouvement dans une masse d'air et d'utiliser les équations déterminants les efforts générés sur celle-ci [3].

Pour concevoir une voile, une résolution algorithmique est nécessaire. Il faut donc parmi les algorithmes d'optimisation trouver celui qui va satisfaire les conditions. Il existe plusieurs méthodes d'optimisation, parmi lesquelles les algorithmes génétiques et les réseaux de neurones. On choisit souvent la méthode neuronale car celle-ci a prouvé son efficacité dans l'optimisation aérodynamique, et s'avère meilleure dans ce domaine que l'algorithme génétique [4].

Problématique retenue

Comment peut-on modéliser l'écoulement de l'air autour d'une voile afin de retrouver les différentes forces exercées sur elle ? Peut-on exploiter l'apprentissage statistique pour retrouver sa forme optimale ?

Objectifs du TIPE

- Etude de la mécanique des fluides pour modéliser l'écoulement de l'air autour d'une voile
- Recherche des expressions des forces exercées sur la voile
- Etude de l'apprentissage statistique pour trouver la forme optimale de la voile d'un voilier

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] KOSTIA RONCIN : SIMULATION DU COMPORTEMENT DYNAMIQUE DU VOILIER :
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00453730/document>
- [2] PHILIPPE PALLU DE LA BARRIERE : OPTIMISATION DES PERFORMANCES DES VOILIERS DE COMPETITION EN PARTICULIER DES « CLASS AMERICA » :
<http://www.craintechologies.com/optimisation%20des%20performances%20atma%20mai%202000.pdf>
- [3] HADI SAOUD : MODELISATION ET COMMANDE DE VOILEIRS AUTONOMES :
<https://www.theses.fr/2016PA066679.pdf>
- [4] MATTEO LOMBARDI, NICOLA PAROLINI, ALFIO QUARTERONI AND GIANLUIGI ROZZA : Numerical Simulation of sailing boats: dynamics, FSI, and shape optimization :
https://www.researchgate.net/profile/Nicola_Parolini/publication/278699055_Numerical_Simulation_of_Sailing_Boats_Dynamics_FSI_and_Shape_Optimization/links/55af7f4c08aea5b9dd7a2566/Numerical-Simulation-of-Sailing-Boats-Dynamics-FSI-and-Shape-Optimization.pdf?origin=publication_detail

Étude de la distribution des tailles des bancs de poissons

Je trouve fascinant qu'avec des règles d'évolution à la fois rudimentaires et élégantes, l'on puisse faire émerger des propriétés macroscopiques d'une surprenante richesse. C'est pourquoi je me suis intéressé aux modèles dynamiques de formation des groupes de poissons dont l'évolution est régie par des mécanismes simples et élémentaires.

L'étude de la distribution des taille des bancs de certaines espèces de poissons s'inscrit dans une description plus globale des écosystèmes océaniques. De ce fait, mon sujet est en adéquation avec le thème de l'année.

Positionnement thématique (ETAPE 1)

MATHEMATIQUES (Analyse), MATHEMATIQUES (Mathématiques Appliquées).

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Bancs de poissons</i>	<i>Fish shoals</i>
<i>Modèles d'agrégation particuliers</i>	<i>Particle aggregation models</i>
<i>Distribution des tailles des groupes</i>	<i>Group-size distribution</i>
<i>Loi de puissance</i>	<i>Power law</i>
<i>Coagulation-fragmentation</i>	<i>Coagulation-fragmentation</i>

Bibliographie commentée

Au sein de nombreuses espèces animales, les individus ont tendance à se rassembler de façon plus ou moins temporaire pour former des groupes (bancs de poissons, nuées d'oiseaux, troupeaux de mammifères...). En particulier, les bancs de certaines espèces de poissons océaniques peuvent atteindre des tailles impressionnantes, certains groupes de harengs pouvant être constitué de plusieurs millions d'individus. Ces structures sociales présentent de nombreux avantages pour les individus qui les constituent, notamment une meilleure défense contre les prédateurs, une détection plus efficace des ressources alimentaires [1] et de plus grandes chances de trouver un partenaire de reproduction. Rejoindre un tel groupe présente néanmoins un certain coût individuel, dont le plus évident est une plus grande compétition pour la nourriture.

En 1988, Hideki Takayasu, Ikuko Nishikawa et Hal Tasaki établissent un modèle d'agrégation particulière très générique qui s'énonce comme suit: Sur N sites sont réparties des particules. Les particules d'un même site forment un groupe. À chaque intervalle de temps discret, un groupe saute d'un site à un autre de façon aléatoire. Des groupes arrivant sur un même site fusionnent. On injecte alors un certain nombre de particules dans chaque site puis on recommence. [2]

En 1995, Eric Bonabeau et Laurent Dagorn, remarquant que la distribution des tailles des bancs de thons tropicaux dans l'océan atlantique semble peu varier sur plusieurs années et sous différentes conditions, avancent qu'un modèle d'agrégation, aussi simple que celui de Takayasu *et al*, pourrait correctement décrire ces observations [3,4]. Ils reprennent et adaptent alors ce modèle en ajoutant aux groupes la possibilité de se fissionner et étudient les distributions qu'il implique, à savoir des lois de puissances concordantes avec les données empiriques relevées sur certaines espèces de poissons océaniques vivant en zone pélagique. Dans celui-ci, les dynamiques internes aux groupes, c'est-à-dire à l'échelle de l'individu, ne sont pas prises en compte. En effet, le problème est abordé de façon plus macroscopique, c'est-à-dire à l'échelle d'agrégats de poissons pouvant fusionner ou se fissionner.

Néanmoins, bien que ce modèle rende bien compte de certaines observations, une injection continue de nouveaux individus est nécessaire à son fonctionnement et ses liens avec les mécanismes biologiques sous-jacents semblent assez flous.

Un modèle alternatif, où les facteurs biologiques sont beaucoup plus contrôlables est proposé en 1998 par Hiro-Sato Niwa [5]. Celui-ci se base sur une équation maîtresse inspirée de l'équation de coagulation de Smoluchowski, à laquelle est ajoutée certains termes liés à la possible fragmentation des groupes. On parle alors d'équation de coagulation-fragmentation. Encore une fois, des distributions de lois de puissance sont prédites, cohérentes avec l'observation. Ce modèle a été de nombreuses fois repris et modifié par différents chercheurs: En particulier l'article de 2015 de Pierre Degond *et al* fait la synthèse de ces travaux et développe davantage la description mathématique du modèle. [6]

Problématique retenue

Il s'agit d'étudier les distribution des tailles des groupes que ces deux modèles prédisent, et de discuter de la pertinence de la modélisation qu'ils font du phénomène d'agrégation chez certaines espèces de poissons pélagiques, à la fois au niveau des mécanismes qu'ils introduisent que de leur concordance aux données empiriques.

Objectifs du TIPE

Je me propose de :

- Simuler numériquement les deux modèles proposés et relever les distributions des taille des groupes obtenues.
- Retrouver, par une étude théorique des modèles, certaines des propriétés exhibées par la simulation, notamment que les distributions sont des lois de puissances.
- Confronter les résultats prévus par le modèle à certaines données empiriques relevées dans des bases de données.
- Discuter des règles d'évolutions introduites par chaque modèle et les confronter aux mécanismes biologiques sous-jacents de fusion/fission des groupes de poissons.

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] T.J. PITCHER, A.E. MAGURRAN, I.J. WINFIELD : Fish in Larger Shoals Find Food Faster :
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00300175>
- [2] ERIC BONABEAU, LAURENT DAGORN : Possible universality in the size distribution of fish schools :
<https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.51.R5220>
- [3] ERIC BONABEAU, LAURENT DAGORN, PIERRE FRÉON : Scaling in animal group-size distributions :
<https://www.pnas.org/content/96/8/4472.short>
- [4] HIDEKI TAKAYASU, IKUKO NISHIKAWA, HAL TASAKI : Power-law mass distribution of aggregation systems with injection : <https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRevA.37.3110>
- [5] HIRO-SATO NIWA : School Size Statistics of Fish :
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0022519398908013>
- [6] PIERRE DEGOND, JIAN-GUO LIU, ROBERT L. PEGO : Coagulation-fragmentation model for animal group-size statistics : <https://arxiv.org/abs/1510.06077>