

## Détecteur de flamme infrarouge

Les incendies qui ont ravagé les forêts Australiennes entre 2019 et 2020 ont enchaîné un désastre écologique. Vu la gravité de leurs répercussions sur la faune et la flore de la zone touchée, se pencher sur l'étude de la détection de telles catastrophes m'est apparue nécessaire.

Je vais donc étudier le détecteur de flamme infrarouge qui permet de subvenir à notre besoin d'assurer une sécurité environnementale, tout en se mettant en état d'alarme lors du dépistage de radiations infrarouges de fréquences comparables à celle d'une flamme. Ce sujet s'inscrit ainsi dans le thème de cette année.

### 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)
Détecteur infrarouge	Infrared detector
Feu	Fire
Distinction	Distinction
Effet photo-électrique	Photo-electric effect
Rayonnement	Radiation

### Bibliographie commentée

Le détecteur d'incendie a toujours été synonyme de modernité technologique et de progrès technique dans la mémoire collective, cependant il faut savoir que bien avant la seconde guerre mondiale ce système existait déjà. Les premiers modèles de détecteurs fonctionnaient sur le principe du bilame de fer à repasser : deux lames qui s'échauffent différemment et dont le contact reste soumis à l'atteinte d'un certain seuil de température. Malheureusement ce type de système est jugé trop long pour que l'on puisse lui demander d'assurer la tâche de la prévention des incendies. C'est en 1941 qu'apparût l'invention du docteur Mehli , qui marqua un tournant dans l'histoire avec sa création : le système d'alarme d'incendie « ionique » capable de détecter les aérosols se développant au début de l'incendie . En 1960, l'évolution de tension électrique de 24 V à 48 V puis à 220 V, donna naissance à une nouvelle génération de détecteurs conçus de différentes manières pour détecter la présence de fumée, l'élévation de température ou même l'émission d'un rayonnement dans le domaine de l'ultra-violet ou bien de l'infrarouge. Les rayonnements dans le spectre visible étant difficiles à discriminer des rayons lumineux de l'environnement ambiant, on s'intéresse alors à la détection des rayonnements infra rouge de fréquence comparable à la fréquence caractéristique de la flamme appelée « flickering ».

La flamme comme tout corps chauffé à haute température , émet des radiations à toutes les longueurs d'onde , c'est ce que dit la loi de Rayleigh-Jeans ,qui parvenait parfaitement à expliquer le phénomène de rayonnement des corps chauds , mais seulement sur une partie du spectre des

longueurs d'ondes puisqu'elle prévoyait que lorsque celles-ci tendent vers 0 , l'énergie totale émise tend vers l'infini : il s'agit de la catastrophe ultraviolette, soulevée par Paul Ehrenfest ,en 1901 en Allemagne .

L'échec de la résolution de ce problème à partir des modèles de la physique classique persuada Max Planck à introduire le concept du quantum d'énergie, qui sera à la base de l'apparition de la physique quantique. Munis d'un filtre passe-bande ,les détecteurs accomplissent la tâche de la distinction du rayonnement émis par une flamme et dont la fréquence s'étend de 1 Hz jusqu'à 30 Hz ,de celui des autres sources présentes dans l'environnement ambiant ,dans le but d'éviter tout déclenchement intempestif. La cellule photo-électrique que renferme le détecteur, assure l'émission des électrons arrachés à sa couche métallique et donc la procuration d'un signal électrique, sous l'effet du rayonnement incident : il s'agit de l'effet photo-électrique découvert pour la première fois en 1839 par Antoine Becquerel et son fils Alexandre Edmond.

## Problématique retenue

En comprenant le phénomène de rayonnement électromagnétique des corps chauds, on se pose les questions suivantes : comment le détecteur distingue-t-il les rayonnements issus de la flamme de ceux présents dans l'environnement de l'utilisation ? Comment la réception d'un tel rayonnement lui permet-elle de générer un signal électrique ?

## Objectifs du TIPE

Je me propose de diviser mon travail en trois étapes :

1-Démonstration du phénomène de rayonnement électromagnétique des corps chauds.

2-implémentation d'un code python permettant l'analyse des rayonnements incident, pour distinguer celui émis par la flamme de ceux émis par les sources environnantes.

3-modélisation physique de la production des signaux électriques à travers l'absorption des rayonnements interceptants le capteur du système détecteur.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] LAURENT SACCO : La loi de rayleigh-jeans : [https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/physique-corps-noir-trous-noirs-743/page/4/?fbclid=IwAR32dFI2QH\\_o842siza7pDPrkqA\\_JBP23MinPop2uo2OhfLOFaG3ouVUxLc](https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/physique-corps-noir-trous-noirs-743/page/4/?fbclid=IwAR32dFI2QH_o842siza7pDPrkqA_JBP23MinPop2uo2OhfLOFaG3ouVUxLc)
- [2] GABRIELLE BONNET : Le corps noir : <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/CorpsNoir.xml?fbclid=IwAR3t-XGTI66rgCfeYuAVReNMkuHrKL5klCeO1Z3oDtgYV90d1-tlg7re1kg>
- [3] KHENFER RIAD : Détection et isolation de défauts combinant des méthodes à base de données appliquées aux systèmes électro-énergétiques : *Thèse de doctorat , Soutenu le : 05 Mars 2015. UNIVERSITE FERHAT ABBES - SETIF 1 UFAS(ALGERIE)* [https://tdoctorat.univ-setif.dz/2015/TECH/these\\_DS\\_khenfer\\_Riadh.pdf](https://tdoctorat.univ-setif.dz/2015/TECH/these_DS_khenfer_Riadh.pdf)

[4] WIKIPEDIA : Effet photo électrique :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet\\_photo%C3%A9lectrique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_photo%C3%A9lectrique)

[5] SOLÈNE KOJTYCH : Introduction au traitement du signal et à l'analyse fréquentielle par transformées de Fourier : *École polytechnique de Montréal. 2019. fhal-02193929*

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02193929/document>

## DOT

[1] *Pendant l'été :choix du sujet.*

[2] *Novembre : insertion de la loi de Rayleigh-Jeans comme caractérisation du phénomène de rayonnement des corps chauds.*

[3] *Décembre : découverte de la catastrophe ultraviolette suite à la lecture d'un article et passage à l'avènement de la mécanique quantique .*

[4] *Mars : implémentation d'un code python permettant la distinction du rayonnement émis par la flamme de celui d'une autre source chaude à travers un filtrage numérique.*

[5] *Mai: modélisation physique du mécanisme d'absorption du rayonnement électromagnétique par la photodiode et calcul du courant électrique généré.*

## Détermination de l'altitude des océans par satellite

L'étude et l'analyse des altitudes des vagues retenues par le satellite me semble particulièrement intéressante, dans la mesure où elle permet de garder la sécurité des marins et prévenir les administrations internationales concernées s'il y a un risque de catastrophe naturelle à savoir un Tsunami

Le sujet choisi aborde deux axes importants lesquels sont 'l'environnement' et 'la sécurité'. En effet, tout le long de notre étude d'un phénomène naturel, on va s'intéresser aux cas limites où l'on est face à un danger notamment une catastrophe naturelle afin de prévoir ceci d'avance

### 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>Plasma</i>	<i>Plasma</i>
<i>Vague</i>	<i>Wave</i>
<i>Satellite altimétrique</i>	<i>Altimetric satellite</i>
<i>Océan</i>	<i>Ocean</i>

### Bibliographie commentée

Au cours du XXe siècle, le niveau de la mer a été mesuré à l'aide de marégraphes installés le long de certaines côtes continentales et sur quelques îles. L'analyse de ces données indique qu'au cours du siècle passé le niveau de la mer s'est élevé à une vitesse moyenne de l'ordre de 1,7 mm par an

Depuis le début des années 1990, les satellites altimétriques permettent de mesurer avec une grande précision l'évolution du niveau moyen des mers sur l'ensemble du domaine océanique. L'avantage de cette technique est double. D'une part, elle fournit une couverture complète du domaine océanique (et permet donc de réellement suivre l'évolution du niveau moyen global de la mer) ; d'autre part, la mesure du niveau de la mer est « absolue », c'est-à-dire indépendante des mouvements de la croûte terrestre, contrairement à la mesure marégraphique, mesure relative du niveau de la mer par rapport au sol.

Dans notre étude, on va d'abord mettre en exergue le mode de fonctionnement de ce genre de satellite avec une approche scientifique, ensuite sur l'analyse des données bien rassemblée par le système pour bien juger la vitesse et l'altitude des vagues.

Bien que l'altimétrie spatiale ait été développée dès la fin des années 1970, il a fallu attendre la mission altimétrique TOPEX/Poseidon, développée conjointement par le CNES\* en France et la NASA\* aux USA et lancée en août 1992, pour atteindre le niveau de performance requis pour

l'étude de la dynamique océanique et la mesure des variations du niveau moyen global de la mer. TOPEX/Poseidon a été suivi par plusieurs satellites altimétriques de haute précision destinés à surveiller l'océan sur le long terme : Jason-1 en 2001 puis Jason-2 en 2008. Jason-3 devrait être lancé en 2013.

Le principal instrument emporté par le satellite altimétrique est un radar altimètre qui mesure la distance entre le satellite et la surface instantanée de la mer à intervalles réguliers d'une seconde, à partir du temps de parcours aller-retour de l'onde radar (figure 1). Ce radar émet un signal à très haute fréquence (plus de 1 700 impulsions par seconde) à la verticale du satellite en direction de la surface des océans et reçoit en retour l'écho réfléchi par la mer. L'analyse de l'écho radar permet d'extraire une mesure très précise du temps de trajet aller-retour entre le satellite et la surface de la mer, ainsi que de la hauteur des vagues et de la vitesse du vent. Ce temps est ensuite transformé en distance par simple multiplication avec la vitesse de la lumière, vitesse à laquelle se propagent les ondes électromagnétiques émises. En moyennant sur une seconde les distances estimées, on obtient une mesure très précise de la distance satellite-océan. La quantité qui intéresse l'océanographe est la hauteur de mer par rapport à une référence fixe. Cette hauteur est obtenue par la différence entre la mesure altimétrique (la distance satellite-surface) et l'altitude du satellite par rapport à cette référence fixe (en général un ellipsoïde de référence qui coïncide avec la forme moyenne de la Terre). Le niveau des océans s'obtient par simple différence entre l'orbite du satellite et la distance altimétrique.

## **Problématique retenue**

Il s'agit d'étudier les ondes émises et reçues par le satellite et d'analyser les données acquises afin d'optimiser les variations de niveau de l'eau et alarmer lors du danger.

## **Objectifs du TIPE**

Dans le but de mieux comprendre les ondes émises et incidentes du satellite étudié, on se restreint à un cadre plutôt simpliste, dans le but de percevoir les conséquences des différents paramètres sur l'onde en se propageant dans le plasma et les différentes zones de l'atmosphère entre la vague et le satellite altimétrique. Afin de mieux visualiser les comportements de l'OPPM ainsi que un paquet d'ondes, j'ai l'intention d'écrire quelques programmes informatiques, pour illustrer certains aspects du phénomène étudié.

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

[1] MARIE-CHRISTINE ARTRU : Mots-clés altimétrie altimétrie radar ellipsoïde de référence gravitation géoïde gravité satellite altimétrique océan surface de l'océan réchauffement climatique Classification Mécanique Optique Thermodynamique Électricité, magnétisme, électromagnétisme Astrophysique Physique sub-atomique et microscopique Physique quantique et relativiste Mesures et outils pour la physique Sujets transversaux Les satellites JASON et la mesure du niveau des océans : <http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Jason-mesure-niveau-des-océans.xml>

[2] ÉLISÉE RECLUS : Les vagues de fond et les raz de marée

**[3]** CAROLE BRUZZI : (A method of sedimentological identification of storm and tsunami deposits : exoscopic analysis, preliminary results) : *Quaternaire ; 2000 ; Volume 11, no 11-3-4, p. 167-177*

## Une comparaison entre un propulseur chimique et électrique

Mon intérêt pour le spatial ne se dément pas et très peu de pays ont les ressources nécessaires pour investir dans le spatial. Après avoir visionner des films de Science Fiction, j'ai alors décidé de choisir les moteurs fusées comme sujet.

Si l'espace peut fasciner, la conquête spatiale est aussi utile à l'amélioration de la vie sur notre planète. J'ai décidé d'étudier le fonctionnement de deux modes de propulsions afin de comparer les risques pour l'environnement et leurs apports énergétiques. Mon TIPE s'inscrit dans le cadre de l'énergie et de l'environnement.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*PHYSIQUE (Mécanique), PHYSIQUE (Physique de la Matière), INFORMATIQUE (Informatique Théorique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Propulsion électrique</i>	<i>Electric propulsion</i>
<i>Propulsion chimique</i>	<i>Chemical propulsion</i>
<i>Vitesse d'éjection</i>	<i>Ejection velocities</i>
<i>Impulsion spécifique</i>	<i>Specific impulse</i>
<i>Gaz</i>	<i>Gas</i>

### Bibliographie commentée

Grâce aux avancées allemandes lors de la Seconde Guerre mondiale, notamment dans le domaine des fusées, la conquête de l'espace a rapidement pris son essor et fut l'un des grands moments de la seconde moitié du XX siècle. Tous les systèmes de propulsions spatiales font appel aux principes d'actions-réactions. Ce dernier a été théorisé par Isaac Newton dès la fin du XVII siècle. Il stipule que toute force appliquée d'un corps vers un autre corps engendre une force opposée et égale. Les moteurs à réactions fonctionnent donc sur ce principe.

D'une part, on s'intéresse à la propulsion chimique. Les progrès réalisés par la chimie ont permis de développer des composés chimiques de plus en plus puissants et efficaces, jusqu'à autoriser le voyage dans l'espace. Ce principe d'action-réaction est utilisé en éjectant des gaz vers l'arrière du véhicule ce qui produit une poussée par réaction. La propulsion chimique se base alors sur le fait d'expulser une grande quantité de matière jusqu'à plusieurs tonnes par seconde à des vitesses relativement faible pour créer des poussés.

D'autre part, le mode de propulsion électrique est différent. En effet, il s'agit d'expulser une petite quantité de matière mais à une vitesse bien plus importante. Le premier à émettre l'idée d'une

propulsion spatiale est Robert Goddard en 1906. Il est suivi de près par l'instituteur russe Konstantin Tsiolkovsky. Comme son nom l'indique, la propulsion électrique utilise l'électricité pour accélérer la matière qui va être éjectée par la tuyère. La matière utilisée est l'ergol est bien souvent un gaz inerte. En accélérant la vitesse d'éjection des gaz, on peut se permettre d'en utiliser moins pour fournir une accélération donnée, ce qui donne des moyens de propulsions plus économe en ergols et c'est là tout l'attrait des modes de propulsions électriques. De plus, La technologie chimique déjà en place sur les moteurs fusées s'avère être limitée par la vitesse d'éjection et la durée de vie des appareils.

Le problème souligné est que la puissance électrique produite par les panneaux solaires du satellite est limitée et, par conséquent, la poussée aussi.

Nous étudierons alors le principe des différents modes de propulsions par la modélisation d'une fusée. On mettra en évidence l'efficacité propulsive d'un modèle simplifié par l'intermédiaire d'un bilan de quantité de mouvement. Ensuite, par l'application du premier principe de la thermodynamique, nous établirons la vitesse d'éjection des gaz dans le cas d'un propulseur chimique. Par la suite nous étudierons la propulsion ionique et des méthodes de résolution numériques

## **Problématique retenue**

En quoi la propulsion électrique constitue-t-elle une alternative plus écologique par rapport à la propulsion chimique ?

## **Objectifs du TIPE**

-Établir, sous certaines hypothèses, l'équation de Tsiolkovski dans le cas de la propulsion par moteur fusée.

-Comprendre l'influence de la vitesse d'éjection des gaz sur la société.

-Donner une valeur approximative de la vitesse d'éjection des gaz dans le cas d'un moteur ionique et chimique.

-Résoudre numériquement l'équation de poisson par plusieurs méthodes.

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

[1] VALENTIN JONCQUIÈRES : Modélisation et simulation numérique des moteurs à effet Hall : [https://oatao.univ-toulouse.fr/25169/1/Joncquieres\\_Valentin.pdf](https://oatao.univ-toulouse.fr/25169/1/Joncquieres_Valentin.pdf)

[2] STÉPHANE MAZOUFFRE : Les propulseurs à plasma, une technologie spatiale d'avant-garde : <https://www.refletsdelaphysique.fr/articles/refdp/pdf/2009/02/refdp200914p15.pdf>

[3] NASA : Deep space 1 : <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/nmc/spacecraft/display.action?id=1998-061A>



- [4] SAFRAN : Ariane 5 confirme son record d'emport de charge utile lors de son 81e succès consécutif : <https://www.safran-group.com/fr/media/ariane-5-confirme-son-record-demport-de-charge-utile-lors-de-son-81e-succes-consecutif-20170929>
- [5] PASCAL CHABERT : Introduction à la propulsion spatiale : <https://www.lpp.polytechnique.fr/IMG/pdf/Module-seance1.pdf>

## DOT

- [1] *Septembre 2020: Discussion avec certains professeurs de l'École Supérieure de l'Aéronautique et des Technologies. J'ai alors choisi d'orienter mon sujet vers les modes de propulsions.*
- [2] *Novembre 2020: J'ai choisi de comparer deux modes de propulsions spatiales et leurs coûts.*
- [3] *Février: Prise de contact avec Monsieur Amine Ben Amor, professeur à l'Institut Préparatoire aux études scientifiques et techniques*
- [4] *Mi-mai: Elaboration d'une production finale.*

## Modélisation de la Propagation des feux de forêt

Les feux de forêts ont faits beaucoup de dégâts économiques et humaines ces dernières années. C'est dans cette optique que j'ai choisi que mon TIPE porte sur la propagation des feux de forêts dans un milieu dense et homogène

Les arbres sont des sources d'oxygènes et leurs manques peut entrainer des crises environnementales ainsi mon sujet s'inscrit bien au thème de cette année

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>modélisation</i>	<i>modelization</i>
<i>feu de forêt</i>	<i>fire forest</i>
<i>propagation du feu</i>	<i>fire spread</i>
<i>percolation</i>	<i>percolation</i>
<i>diffusion de la chaleur</i>	<i>heat diffusion</i>

### Bibliographie commentée

Chaque année, 300 à 400 millions d'hectares de forêt sont brûlés dans le monde, en Australie les feux ont ravagés plus 18 million hectares entre octobre 2019 et janvier 2020 et a tue plus que 1 milliard d'animaux et 479 personnes [5].

L'activité humaine est responsable de presque 90% des feux de forêt dans le monde et le réchauffement climatique est majoritairement responsable des 10% restantes, ces incendies ravagent la faune et la flore [1].

Pour trouve un feu, trois facteurs sont nécessaires: un combustible, un gaz comburant et une source d'inflammation, dans notre cas le combustible sont les arbres, le gaz est l'oxygène de l'air la source est la flamme. A l'approche du feu, le combustible continue à s'échauffer par le rayonnement de la flamme, par la conduction et la convection, le développement du feu est déterminé par des équations de type diffusion (équation de chaleur) regroupant tous les phénomènes physico-chimiques accompagnant l'incendie [2].

La percolation désigne communément le passage d'un fluide à travers un milieu plus ou moins perméable [3], Une application de la percolation concerne la propagation des feux de forêt. On peut modéliser une forêt par un réseau carré sur lequel on place des arbres aux nœuds de se réseau on se donne ensuite une loi de probabilité de la propagation du feu d'un arbre à l'autre [4]

Le problème reste à savoir si le feu est localisé dans une petite partie de la forêt où se propage dans la forêt toute entière, pour cela on introduit une valeur critique appelé seuil de percolation, pour une valeur de probabilité inférieure à ce seuil le feu reste dans une petite région de la forêt et pour une valeur supérieure le feu se propage dans toute la forêt, ce phénomène est étudié et est démontré pour la première fois en 1957 par Simon Broadbent et John Hammersley [6].

## Problématique retenue

Les feux de forêt font des dégâts sur l'échelle mondiale, peut-on faire une modélisation fidèle à la réalité pour pouvoir mieux combattre contre les feux et protéger l'environnement

## Objectifs du TIPE

- 1- Créer un modèle informatique de propagation du feu en prenant la forêt comme matrice de taille  $n$ .
- 2- Comparer la modélisation avec l'expérience faite et en déduire un résultat.
- 3- Augmenter le seuil de percolation pour voir est-ce qu'on peut limiter la propagation dans la forêt.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] MEMENTO DU MAIRE ET DES SERVICES LOCAUX : Prévention des risques d'origine naturelles et écologique : <http://www.mementodumaire.net/les-risques-naturels/rn-8-incendies-de-forets/>
- [2] ABIBI : Modélisation et simulation d'incendie de forêt : [https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes\\_IAVH2/article/view/325](https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAVH2/article/view/325)
- [3] WIKIPÉDIA : Définition la percolation : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Percolation>
- [4] EDMONIUM : la percolation : <http://www.edmonium.fr/La-percolation.pdf>
- [5] MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE FRANÇAISE : Prévention des feux forêt : <https://www.ecologie.gouv.fr/prevention-des-feux-foret>
- [6] MARIE THÉRET : Internet, feux de forêt et porosité : trouvez le point commun : <https://smf.emath.fr/files/57-62.pdf>

## DOT

- [1] première connaissance du terme percolation et quelques recherches sur ce terme février 2021
- [2] saisie des outils pour l'expérience et expérience faite mars 2021
- [3] implémentation en python de l'équation de la chaleur et de la percolation mai 2021
- [4] Fin de la présentation juin 2021

## Cryptage et décryptage du chiffrement RSA : Ordinateur classique vs ordinateur quantique

Nous vivons dans une ère numérique par excellence marquée par l'évolution des technologies de l'information. Par conséquent, protéger nos données confidentielles est une nécessité. Conforté par ce constat, j'ai choisi d'étudier la cryptographie classique et quantique.

Ce sujet s'inscrit au cœur du thème de cette année. En effet, la cryptographie quantique est un enjeu sociétal majeur car elle représente une menace pour la cybersécurité vu que plusieurs cryptosystèmes deviennent vulnérables devant ces ordinateurs quantiques.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*INFORMATIQUE (Informatique Théorique), MATHÉMATIQUES (Algèbre), PHYSIQUE (Physique Théorique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Quantique</i>	<i>Quantum</i>
<i>Cybersécurité</i>	<i>Cybersecurity</i>
<i>RSA</i>	<i>RSA</i>
<i>qubit</i>	<i>qubit</i>
<i>algorithme de Shor</i>	<i>Shor's algorithm</i>

### Bibliographie commentée

Depuis l'antiquité, les humains ont développé des méthodes de cryptage pour sécuriser leurs communications secrètes. Au XXI siècle, la cryptographie est devenue un domaine scientifique grâce à l'évolution des sciences exactes.

La révolution numérique a marqué ces dernières années ; les objets connectés sont partout et leurs utilités parcourent tous les domaines. Ils sont omniprésents dans notre vie, des plus simples activités de la vie quotidienne jusqu'au travail professionnel dans les entreprises.

Cette évolution ininterrompue du volume de données a augmenté de façon remarquable les cybermenaces. L'entreprise de cybersécurité Kaspersky a publié son bilan qui montre que le nombre des cyberattaques a augmenté neuf fois entre les premiers semestres de 2018 et 2019 [2].

Plusieurs recherches ont été faites pour améliorer la cybersécurité. L'un des algorithmes les plus utilisés pour sécuriser les échanges des données confidentielles sur Internet est le chiffrement RSA qui a été décrit en 1977 par Ronald Rivest, Adi Shamir et Leonard Adleman. . Pour casser ce chiffrement une factorisation d'un entier naturelle en produit de nombres initiaux est indispensable. Par conséquent, la sécurité de ce chiffrement est garantie par le fait que le temps que nécessite un ordinateur classique pour déchiffrer le code d'accès est si énorme que le RSA devient incassable [8].

Au début des années 1970, Stephen Wiesner était le premier qui a lié les phénomènes quantiques à la sécurité [1].

Et ce n'est qu'en 1994 où Peter Shor a écrit un algorithme quantique efficace et exponentiellement plus rapide que les algorithmes classiques pour déchiffrer des cryptosystèmes en factorisant un entier  $N$  [1]. Cet algorithme a secoué le monde de la sécurité informatique.

Depuis ce moment-là la course aux ordinateurs quantiques a commencé et les investissements dans ce domaine sont en croissance avec une célérité inédite [7].

Contrairement aux ordinateurs classiques qui travaillent sur des données binaires, les calculateurs quantiques, basés sur les propriétés quantiques de la matière telle que la superposition, travaillent sur les qubits avec une infinité de valeurs d'états quantiques [4]. Par conséquent, grâce à l'algorithme de Shor, un ordinateur quantique est capable de casser la chaîne RSA en un temps polynomial [5] [6]. Donc, alors qu'un ordinateur classique le plus performant ne pourrait factoriser un nombre de 300 chiffres qu'en 30000 ans, un calculateur quantique pourrait le faire en 10 secondes [7].

En 2019, Google a affirmé avoir franchi l'étape de la suprématie quantique. En d'autres mots, l'entreprise a réussi à construire un ordinateur quantique capable de mener des calculs impossibles pour un ordinateur classique en un temps extrêmement court. Ainsi, Les entreprises qui ont besoin de protéger l'information ou l'accès pendant très longtemps devraient commencer à penser à la cryptographie post-quantique.

Même si l'informatique quantique n'est pas encore une réalité, mais grâce à sa capacité de résoudre rapidement des problèmes complexes, elle représente une vraie menace pour la sécurité des données mondiales. Par conséquent, plusieurs recherches sont en cours pour établir des nouveaux algorithmes de sécurité qui résistent aux technologies quantiques [10].

L'institut national des normes et de la technologie (National Institute of Standards and Technology, ou NIST) a lancé un projet qui appelle les cryptographes du monde entier de décrire des algorithmes candidats résistants face au danger de la cryptographie quantique. De nombreuses entreprises participent dans cette course vers la cryptographie post-quantique telle que Microsoft [3].

Les états unis ont déjà annoncé qu'ils préparent une transition vers des algorithmes cryptographiques post-quantiques après l'achèvement de la normalisation en 2024.

Malgré les recherches réalisées et les investissements des plus grandes entreprises à l'échelle mondiale, on est encore loin de dépasser le danger quantique. Mais, il est certain cette décennie sera témoin d'une révolution sans précédent au niveau des algorithmes de sécurité.

## Problématique retenue

Vu que nous sommes à l'aube d'une nouvelle révolution quantique qui va secouer la cybersécurité pour répondre aux nouveaux défis, on peut se poser les questions suivantes :

1/ Comment fonctionnent ces algorithmes ?

2/ Pourquoi les algorithmes quantiques représentent-ils une menace concrète sur la sécurité des cryptosystèmes utilisés ?

## Objectifs du TIPE

1/Modélisation Mathématique & physique

J'essaierai de comprendre le fonctionnement des algorithmes RSA et celui du Shor à partir d'une illustration des théorèmes mathématiques et les phénomènes quantiques sur lesquels se reposent les algorithmes.

2/Implémentation et étude comparative

a/ J'implémenterai des codes python permettant de visualiser le principe du chiffrement RSA et des méthodes de décryptage classiques et quantiques.

b/J'étudierai la complexité des algorithmes et je présenterai une estimation du nombre d'itérations lors de la résolution.

3/Expérience IBM

a/Je lancerai une expérience de résolution de l'algorithme de shor avec un ordinateur quantique.

b/Je construirai quelques circuits quantiques via la plateforme IBM.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] GILLES BRASSARD : Brief History of Quantum Cryptography: A Personal Perspective :

<https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0604072.pdf>

[2] JEREMY KAHN : Quantum computers threaten to end digital security. Here's what's being done about it : <https://fortune.com/2020/09/11/post-quantum-encryption-algorithm-nist/>

[3] MICROSOFT : Post-quantum Cryptography : <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/post-quantum-cryptography/>

[4] OLIVIER EZRATTY : Comprendre l'informatique quantique – cryptographie :

<https://www.oezratty.net/wordpress/2018/comprendre-informatique-quantique-cryptographie/>

[5] ROBERT LOREDO : Learn Quantum Computing with Python and IBM Quantum Experience :

- file:///C:/Users/dell/Downloads/Learn%20Quantum%20Computing%20With%20Python%20and%20IBM%20Q%20Experience%20A%20Hands-On%20Introduction%20to%20Quantum%20Computing%20and%20Writing%20Your%20Own%20Quantum%20Programs%20With%20Python%20by%20Robert%20Loredo%20(z-lib.org).pdf*
- [6] NOSON S. YANOFSKY : Quantum Computing for Computer Scientists :  
*file:///C:/Users/dell/Downloads/Quantum%20Computing%20for%20Computer%20Scientists%20by%20Noson%20S.%20Yanofsky,%20Mirco%20A.%20Mannucci%20(z-lib.org).pdf*
- [7] PASCAL DE LIMA : L'ordinateur quantique : Risques, besoins et opportunités pour les institutions financières : *<https://www.lemondeinformatique.fr/actualites/lire-l-ordinateur-quantique-risques-besoins-et-opportunites-pour-les-institutions-financieres-80712.html>*
- [8] OUEST INSA : Nombres premiers et cryptologie : l'algorithme RSA :  
*<https://interstices.info/nombres-premiers-et-cryptologie-lalgorithme-rsa/>*
- [9] STÉPHANIE PEIGNE : La sécurité des objets connectés : *<https://mbamci.com/la-securite-et-les-objets-connectes/>*
- [10] MARTIN KOPPE : Vers une cryptographie post-quantique :  
*<https://lejournel.cnrs.fr/articles/vers-une-cryptographie-post-quantique>*

## DOT

- [1] *Septembre: Après une réflexion sur le thème de tipe 2021, j'ai choisi le domaine de la cybersécurité et en particulier les menaces de l'informatique quantique sur les cryptosystèmes utilisés.*
- [2] *Octobre: J'ai recherché des documents sur le chiffrement RSA et j'ai suivi un cours en ligne sur l'informatique quantique sur Qiskit.*
- [3] *Novembre-janvier :J'ai essayé de comprendre les bases mathématiques et les phénomènes quantiques sur lesquels se reposent les algorithmes. J'ai trouvé des difficultés pour comprendre quelques notions de la mécanique quantique. J'ai réussi à les assimiler grâce a plusieurs vidéos sur YouTube.*
- [4] *Février-mars: J'ai trouvé des difficultés pour comprendre quelques notions de la mécanique quantique. J'ai réussi à les assimiler grâce a plusieurs articles et vidéos .*
- [5] *Avril-mai: J'ai essayé de simuler des expériences quantiques sur la plateforme IBM. Je me suis bloqué au début dans la construction des circuits quantiques. Pour dépasser ces problèmes, j'ai consulté un ami qui est ingénieur logiciel.*

## Etude d'une pale d'hydrolienne

Ayant vécu mon enfance auprès de la mer, je me suis intéressé aux hydroliennes qui permettaient d'exploiter l'énergie des courants aquatiques. Mon étude porte sur les fréquences propres des vibrations et des contraintes que subit la pale d'une hydrolienne lors de son fonctionnement.

Les pales peuvent entrer en résonance sous l'effet de l'interaction hydrodynamique ce qui peut provoquer des fissures. Cette rupture pourrait être responsable de l'arrêt de la production d'électricité.

### 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>Oscillateur harmonique</i>	<i>Harmonic oscillator</i>
<i>Fréquence propre</i>	<i>Natural frequency</i>
<i>Résonance</i>	<i>Resonance</i>
<i>Modèle de la poutre</i>	<i>Beam model</i>
<i>Résolution numérique</i>	<i>Digital resolution</i>

### Bibliographie commentée

Le monde est confronté à une demande croissante d'énergie, ce qui pousse les puissances économiques mondiales à investir dans la recherche d'une énergie plus économiquement bénéfique et moins polluante pour l'environnement. Les énergies renouvelables sont le candidat idéal. Ils sont considérés inépuisables grâce à leur renouvellement rapide. Les sources sont variées tel que les astres comme le soleil ou la lune. Ces énergies peuvent alors être converties en chaleur ou en électricité.

Dans notre cas, ce sont les hydroliennes qui seront responsables de la conversion de l'énergie des courants aquatiques en électricité. Généralement, les hydroliennes atteignent leur pleine puissance pour un courant aquatique de vitesse 3 m/s (10,8 km/h). Mais si sa vitesse augmente encore, l'hydrolienne subit alors de violentes contraintes. Elle est alors freinée par un système de freinage qui lui permet de rester à la puissance maximale. Mais si les courants deviennent trop forts, le frein arrive à arrêter la turbine en quelques secondes[1]. Cette énergie présente des avantages colossaux étant inépuisable, propre, ne rejetant aucun déchet et constante grâce aux courants aquatiques réguliers qui facilitent l'estimation de la production d'énergie[2]. Cependant, le plus grand inconvénient de cette technologie est son coût élevé comparé à d'autres alternatives. En plus, la structure de l'hydrolienne a besoin d'une maintenance constante, ce qui est plus difficile en milieu marin. Sa structure même composée de formes élancées tel que les pales forment un danger d'usures à cause de leur comportement vibratoire riche en basses fréquences[3]. Cela peut donc être un risque réel de résonance et doit être pris en compte lors de la conception du projet. Ce phénomène



de résonance peut, à cause à l'augmentation des amplitudes de vibrations, causer des dommages sur les structures des pales et pourrait ainsi les briser. Si on atteint cette étape, cette technologie prometteuse sera perdue avec ses avantages pour l'espèce humaine. Il est alors nécessaire de déterminer la résonance pour éviter l'usure des pales et bénéficier des avantages que l'hydrolienne peut nous offrir[4][5][6]

## Problématique retenue

A l'égard de l'importance de la résonance dans le maintien de la structure de la pale , comment peut-on alors déterminer la résonance ?

## Objectifs du TIPE

Utilisation du modèle de l'oscillateur et déterminer ces limites

Utilisation du modèle de la poutre

Détermination des modes propres de façon analytique et puis numériques

Etude de la résonance

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] BRUNO ALLARD, FRANÇOIS COSTA, JEAN COUMEL, ALAIN DOULET : une hydrolienne qui prend en compte la maintenance : <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/une-hydraulienne-qui-prend-en-compte-la-maintenance-745/>
- [2] TALAL HUSSEINI : Riding the renewable wave : tidal energy advantages and disadvantages : <https://www.power-technology.com/features/tidal-energy-advantages-and-disadvantages/>
- [3] GRANT S. GALLOWAY, VICTORIA M. CATTERSON , THOMAS FAY , ANDREW ROBB AND CRAIG LOVE : Diagnosis of Tidal Turbine Vibration Data through Deep Neural Networks : <https://core.ac.uk/>
- [4] CHELLIAH SUNDARARAJAN : Compendium of Formulas for the Structural Vibration Frequency Analysis of Beams : *PDHengineer.com*
- [5] GILBERT-RAINER GILLICH, ZENO-IOSEF PRAISACH, MAGD ABDEL WAHAB, NICOLETA GILLICH, ION CORNEL MITULETU, AND CODRIN NITESCU : Free Vibration of a Perfectly Clamped-Free Beam with Stepwise Eccentric Distributed Masses : *hindawi.com*
- [6] VIBRATION ANALYSIS AND MODELLING OF A CANTILEVER BEAM : Abubakar Khan : <https://www.researchgate.net/>

## DOT

- [1] septembre 2020 : recherche bibliographique sur l'hydrolienne et ses pales
- [2] novembre 2020 : Utilisation du modèle de l'oscillateur harmonique
- [3] décembre 2020 : réalisation que le modèle ne pas des résultats très concret
- [4] Février 2020: Familiarisation avec l'équation de la poutre
- [5] Mars 2020: détermination des fréquences propres d'une poutre
- [6] avril 2020 : analyse de la résonance de la pale d'hydrolienne

## Bracelet détecteur de chute.

Ma mère, médecin urgentiste, m'a parlé d'un cas d'une personne âgée qui a perdu conscience suite à une douleur thoracique et qui a eu des complications à cause du retard de son traitement. De ce fait j'ai eu l'idée de concevoir un système d'alertes en cas de chute imprévisible.

Une personne âgée en perte d'autonomie rencontre au fil du temps de plus en plus de difficultés à se déplacer et éviter les chutes. Ainsi l'assistance des personnes âgées isolées par un système de contrôle embarqué sous forme de bracelet par exemple constitue un enjeu sociétal.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*SCIENCES INDUSTRIELLES (Electronique), INFORMATIQUE (Technologies informatiques), INFORMATIQUE (Informatique pratique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Personne âgée</i>	<i>Elderly</i>
<i>Arduino</i>	<i>Arduino</i>
<i>Ubidots</i>	<i>Ubidots</i>
<i>Capteur détecteur de chute</i>	<i>Anti-fall sensor</i>
<i>Capteur de pouls</i>	<i>Pulse sensor</i>

### Bibliographie commentée

La chute à domicile chez les personnes âgées est le principal risque d'hospitalisation chez ces derniers, c'est aussi la première cause de décès chez les seniors. On compte, chaque année en France, plus de 2 millions de chutes accidentelles et près de 12 000 décès [1].

Une étude bibliographique sur les différents systèmes antichute existants sur le marché Français a été faite. Il y a aujourd'hui plus de 3,5 millions de seniors de plus de 80 ans en France, et dans 20 ans, 1 Français sur 3 aura plus de 60 ans. Ce qui fait de la perte d'autonomie un enjeu national. Plusieurs services se sont alors penchés sur le sujet et offrent des produits équivalents au détecteur antichute en format bracelet.

Assystel, par exemple, produit un kit de téléassistance rattaché à la ligne téléphonique (ligne RTC) ou directement par le réseau EDGE ou 3G (comme les téléphones portables) [2]. Il propose 50 % de déduction fiscale dans le cadre des services à la personne avec un prix assez raisonnable : tarifs d'environ 15 à 30 € TTC par mois comprenant le détecteur de chute.

Dans le même principe que le service proposé par Assystel, Allianz [3] propose des bracelets qui lors d'une chute grave analysent la chute pendant 20 secondes, et si la personne âgée ne s'est pas relevée, la télécommande se met à vibrer et clignoter pendant 20 nouvelles secondes. Ainsi, une alarme est automatiquement envoyée 40 secondes après la chute. La plateforme de téléassistance tente alors d'entrer en contact avec l'abonné et prend les mesures adéquates : faire intervenir un proche, un voisin, ou appeler les secours d'urgence type Samu ou pompiers. L'avantage de ce service est son prix : abonnement à 2 € par mois.

Contrairement à un bracelet de téléassistance, Libr'Alerte [4], dispose de capteurs optiques intelligents qui détectent une chute et envoient automatiquement une alerte à la centrale d'écoute et d'assistance sans appuyer sur un bouton, ni porter un médaillon.

Une personne de cette téléassistance est chargée, par un système d'interphone, de déterminer la gravité de la situation et en cas de doute d'appeler les proches. Cette téléassistance a pour avantages d'avoir un logiciel de détection performant fondé à la fois sur l'accélération, la baisse du centre de gravité et encore d'autres critères algorithmiques. Ainsi toutes les chutes sont détectées même les plus lente de plus d'avoir un logiciel qui enregistre les habitudes de vie et déclenche alors une alerte s'il détecte une anomalie dans cette habitude.

Cette solution est non intrusive et respectueuse de la vie privée. L'envoi de l'alerte à la plateforme d'écoute et d'assistance 24h/24 et 7j/7 est fait de manière autonome, ce système permet réellement de détecter les chutes contrairement à d'autres systèmes qui ne détectent en fait qu'une inactivité potentielle pouvant être un indice d'une chute potentielle.

Une autre solution mais cette fois proposé par A-domotique [5] ; Le bracelet est assez semblable aux produits précédemment cités et décrits dans le fonctionnement, mais il présente la particularité d'être sans abonnement et se rapproche donc le plus du modèle de bracelet que j'aimerais concevoir. Il comprend: un bracelet détecteur de chute automatique, un bouton d'urgence SOS et une base téléphonique d'appel où l'utilisateur choisit lui-même les 5 numéros d'urgence des personnes à appeler, que ce soit des numéros de téléphones fixes ou mobiles. En cas d'alerte automatique ou manuelle, c'est la base téléphonique fournie avec le bracelet qui va, comme un téléphone à mémoire, composer les numéros des personnes à contacter dans l'ordre préenregistré. Son Prix : 280,00 €.

## **Problématique retenue**

Quel sont alors les capteurs nécessaires pour répondre à la tâche d'avertir une chute ? Comment assurer le contrôle et l'envoi d'alerte en temps réel aux personnes susceptibles de venir en aide à la personne âgée?

## **Objectifs du TIPE**

En tenant compte des prototypes déjà sur le marché Français l'objectif de ce projet est l'élaboration d'un système de contrôle des personnes âgées implémenté sur un circuit électronique programmable permettant de :

- Suivre l'état de santé de la personne âgée en temps réel en contrôlant sa pulsation cardiaque et en détectant une éventuelle chute.
- Notifier les états anormaux à une ou plusieurs personnes de référence et donner l'alarme quel que soit l'emplacement de la personne âgée surveillée.

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

[1] SANTÉ PUBLIQUE DE FRANCE : Chute : <https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/traumatismes/chute>

[2] ASSYTEL : Les capteurs de chute pour personnes âgées, c'est quoi ? : <https://www.assystel.fr/les-capteurs-de-chute-pour-personnes-agees-c-est-quoi.html>

[3] ALLIANZ : La Téléassistance Une solution de maintien à domicile pour les personnes âgées :

<https://www.allianz-teleprotection.fr/teleassistance/nos-produits-de-teleassistance.html>

[4] LIBR'ALERTE : La chute : première cause de mortalité chez les plus de 65 ans :

<https://teleassistance-libralerte.com/la/chutes/>

[5] A-DOMOTIQUE : Bracelet détecteur de chute personne âgée - SANS ABONNEMENT - avec bouton d'urgence : [https://www.adomotique.com/alarme-personne-agee/19-bouton-urgence-detecteur-chute.html#/nombre\\_de\\_bracelets-1\\_bracelet](https://www.adomotique.com/alarme-personne-agee/19-bouton-urgence-detecteur-chute.html#/nombre_de_bracelets-1_bracelet)

[6] ESPRESSIF IOT : ESP8266EX Datasheet :

[https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf)

[7] PROCESING : Pulse Sensor Getting Started Guide :

<https://www.generationrobots.com/media/DetecteurDePoulsAmplifie/PulseSensorAmpedGettingStartedGuide.pdf>

[8] SKYWODD : Mesurer une distance avec un capteur à ultrason HC-SR04 et une carte Arduino / Genuino : <https://www.carnetdumaker.net/articles/mesurer-une-distance-avec-un-capteur-ultrason-hc-sr04-et-une-carte-arduino-genuino/>

[9] MARIA HERNANDEZ : Connect a NodeMCU ESP8266 to Ubidots over HTTP :

<https://help.ubidots.com/en/articles/513312-connect-a-nodemcu-esp8266-to-ubidots-over-http>

## DOT

[1] *Septembre 2020 ~ Novembre 2020 : Choix du sujet, étude bibliographique sur l'état de l'art et partage de sondage sur mes réseaux sociaux.*

[2] *Décembre 2020 : Formation Arduino et système à Djagora Fablab.*

[3] *Janvier et Février 2021 : Achat des composants et montage du prototype.*

[4] *Mars 2021: Programmation et test des codes Arduino.*

[5] *Avril 2021 : Interfaçage et configuration avec la plateforme Ubidots et test du système complet.*

## Informatique Quantique et une application à la cryptographie.

Le choix de ce sujet était inspiré par mes lectures d'articles scientifiques en relation avec la mécanique quantique, ainsi que ma prise de connaissance de l'existence d'un service cloud d'ordinateurs quantiques fourni par IBM.

Parmi les enjeux sociétaux est la puissance des ordinateurs contemporaines, ainsi que la sécurité en ligne. Les ordinateurs classiques, ne parviennent pas à effectuer plusieurs opérations et algorithmes désormais physiquement possibles par l'avènement de la mécanique quantique. La conception d'un ordinateur quantique devient alors intéressante dans ce dessein.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*PHYSIQUE (Physique Théorique), INFORMATIQUE (Informatique Théorique), MATHEMATIQUES (Algèbre).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Superposition</i>	<i>Superposition</i>
<i>Qubit</i>	<i>Qubit</i>
<i>Paradoxe EPR</i>	<i>EPR-Paradox</i>
<i>Information</i>	<i>Information</i>
<i>Algorithme de Shor</i>	<i>Shor's Algorithm</i>

### Bibliographie commentée

Le travail sur l'ordinateur quantique, et l'estimation de sa puissance éventuelle repose sur revenir sur les deux concepts fondamentaux qui se réunissent pour garantir son existence: l'information, et la mécanique quantique.

La physique permet aux scientifiques de tirer de la nature des concepts abstraits (énergie, quantité de mouvement), ces concepts peuvent gouverner plusieurs phénomènes distincts et indépendants. La manifestation de ces concepts varie avec le phénomène. Le concept de l'information possède des propriétés analogues à plusieurs autres fondamentaux pour les physiciens, notamment pouvoir l'exprimer différemment sans perte de sa nature fondamentale.

Les travaux séminaires sur la théorie de l'information sont les formalismes de Shannon introduits en 1948[1], essentiellement l'entropie de Shannon qui traduit la quantité d'information contenue dans une variable aléatoire. Mais l'un des travaux importants sur la théorie de l'information qui rend compte du lien de l'information avec la physique est les réponses de Landauer et Bennett[2] au paradoxe du Démon de Maxwell. Ce démon contrôle une fente entre deux compartiments de gaz D et G tel que G est plus chaud que D (donc la vitesse quadratique moyenne des molécules de G est plus grande que celle de D), n'ouvrant que si des molécules rapides s'approchent de la droite, ou des molécules lentes de la gauche (ouverture et fermeture sans consommation d'énergie). Ainsi le démon refroidit

D le plus froid à partir de G le plus chaud, ce qui va à l'encontre du second principe de la thermodynamique. La solution est fondamentalement basée sur le stockage de l'information sur la vitesse et position de chaque particule avant de faire le tri par le démon, puis prouver qu'un tel cycle nécessite enfin un effacement de cette information, qui fait augmenter l'entropie totale du système et sauve le second principe.

Parallèlement à la théorie de l'information, l'informatique a vu une évolution accélérée grâce à Alan Turing, basé sur Babbage's Analytical Engine, conçu, ainsi que les éléments essentiels d'un ordinateur moderne, durant le dix-neuvième siècle.

Le travail de Turing est centré sur les machine de Turing, qui évoluent suivant un ensemble d'états, la possibilité d'agir sur une bande en tapant des symboles d'un alphabet fini, régie par une fonction qui décide les actions de la machine a chaque lecture du symbole sur la bande. Un résultat important serait la machine de Turing Universelle[3], qui prend en entrée la description de n'importe quelle machine, ainsi qu'une bande dans le même alphabet de celle-ci, et permet de simuler le comportement de la machine. Turing applique ces travaux sur le problème de décision de David Hilbert: La question que Hilbert dérive de ceci porte sur l'identification des assertions indécises. Turing montre que la réponse pour le problème de décision est encore négative: il n'existe pas d'algorithme qui, infailliblement, décide si une assertion a une réponse claire du type oui ou non. La preuve que Turing établit une relation entre le problème et le "halting problem", ainsi qu'une preuve réminiscente du théorème de Rice.

Les ordinateurs modernes, même si différents dans l'implémentation (Network model of computation), ce modèle est Turing-équivalent, et grâce à la machine Universelle, on montre leur puissance et versatilité, vu le principe du principe de Church-Turing: "Toute fonction naturellement considérée calculable peut être simulée par la machine de Turing Universelle".

Cependant, un changement du paradigme serait essentiel pour la construction d'un ordinateur quantique: il y avait auparavant une ambiguïté sur comment un tel ordinateur serait conçu en dehors des principes de la machine classique de Turing. Un aspect important dans la mécanique quantique est la réversibilité des opérateurs qui agissent sur la fonction d'onde, donc concevoir une machine de Turing réversible est en ordre est ceci était le résultat établi par Bennett en 1973[4], et puis la conception d'un hamiltonien d'une machine de Turing. En 1985 Deutsch[5] propose un modèle pratique d'une machine quantique: un ensemble de systèmes à deux états, sur lesquels agissent des fonctions équivalentes aux portes logiques de l'informatique classique.

## **Problématique retenue**

Il s'agit alors d'étudier les éléments de la mécanique quantique et de l'informatique qui réunissent pour composer un ordinateur quantique, de vérifier sa supériorité conditionnelle par rapport aux machines classiques, ainsi qu'une application sur la cryptographie.

## **Objectifs du TIPE**

Je me propose:-d'explorer les concepts fondamentaux de l'informatique quantique,-d'étudier le paradoxe EPR ainsi que le théorème de Bell comme illustration de l'incapacité des ordinateurs classiques à simuler des phénomènes physiques prédits par la mécanique quantique,-d'étudier l'algorithme de Shor, qui donne une factorisation d'un entier en des temps  $\log(N)$  au cube, impossibles pour les ordinateurs classiques, ainsi qu'une possible implémentation en code en employant la librairie qiskit.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] C.E.SHANNON : A Mathematical Theory of communication :  
[https://pure.mpg.de/rest/items/item\\_2383162\\_7/component/file\\_2456978/content](https://pure.mpg.de/rest/items/item_2383162_7/component/file_2456978/content)
- [2] CHARLES H. BENNETT : Notes on Landauer's Principle, Reversible Computation, and Maxwell's Demon : <https://arxiv.org/pdf/physics/0210005.pdf>
- [3] ALAN M. TURING : ON COMPUTABLE NUMBERS, WITH AN APPLICATION TO THE ENTSCHEIDUNGSPROBLEM : [http://www.cs.virginia.edu/~robins/Turing\\_Paper\\_1936.pdf](http://www.cs.virginia.edu/~robins/Turing_Paper_1936.pdf)
- [4] CHARLES H. BENNETT : Logical reversibility of computation :  
<https://life.ibs.re.kr/courses/InfoInBioParis/Papers/Bennett1973.pdf>
- [5] D.DEUTSCH : Quantum Theory, the Church-Turing Principle and the Universal Quantum Computer : <https://www.cs.princeton.edu/courses/archive/fall06/cos576/papers/deutsch85.pdf>
- [6] ANDREW STEANE : Quantum Computing : <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/9708022.pdf>
- [7] N. DAVID MERMIN : Is the moon there when nobody looks? Reality and the quantum theory : *PHYSICS TODAY*, Avril 1985 [https://cp3.irmp.ucl.ac.be/~maltoni/PHY1222/mermin\\_moon.pdf](https://cp3.irmp.ucl.ac.be/~maltoni/PHY1222/mermin_moon.pdf)

## DOT

- [1] *Prise de connaissance des différents outils de la mécanique quantique et des notions de l'informatique théorique*
- [2] *Etude du paradoxe EPR et des travaux de Bell*
- [3] *Familiarisation avec la librairie qiskit pour les algorithmes quantiques*
- [4] *Compréhension de l'algorithme de Shor et tentative d'implémentation*

## Etude et Modélisation du trafic routier

Dès mon jeune âge, en passant des heures dans les trafics routiers journaliers et souvent gênants, j'avais une pulsion de savoir comment évolue la longue chaîne de voitures dans ce trafic. Avec l'évolution de mes connaissances en sciences notamment, cette passion ne cesse qu'à augmenter.

Mon approche modeste sert à modéliser et étudier la propagation d'une chaîne de voitures dans le but d'énumérer les facteurs agissants sur ce trafic et pour enfin proposer des améliorations et des rénovations sur certains de ces facteurs. Mon sujet est donc en adéquation avec le thème de cette année.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Congestion</i>	<i>Congestion</i>
<i>Équations de Burgers</i>	<i>Burgers equation</i>
<i>Vitesse</i>	<i>Speed</i>
<i>Flux</i>	<i>Flux</i>
<i>Trafic routier</i>	<i>Road traffic</i>

### Bibliographie commentée

Étant un phénomène très fréquent, la congestion du trafic est l'un des problèmes les plus courants dans les grandes villes en obstruant la fluidité de la circulation. Par conséquent, il est important de minimiser ces embouteillages d'autant plus qu'ils créent certains problèmes dans la vie des gens du fait qu'ils ont des conséquences non seulement en termes de santé mais aussi en termes de finances.

En effet, les embouteillages augmentent les émissions des véhicules, ce qui dégrade la qualité de l'air ambiant, entraînant une morbidité et une mortalité excessives chez les automobilistes et chez ceux qui vivent à proximité de la route principale.

De même, cette congestion peut entraîner des pertes de main-d'œuvre qui peuvent être estimées en milliards de dollars.

Néanmoins, il s'avère que la construction des ponts d'autoroutes ne peut mettre fin à un tel phénomène de congestion, d'où la nécessité d'introduire un système technologique visant à contrôler la circulation telle que la limitation de vitesse. Ainsi imposer aux automobilistes une vitesse limite adéquatement permettra de réduire ces coûts multiples et d'assurer, par conséquent, une plus fluide.



La représentation de ce phénomène physique se fait par un modèle mathématique recourant à des systèmes d'équations aux dérivées partielles non linéaires.

Une solution possible à ce problème est donnée par analogie avec la mécanique des fluides où les voitures sont modélisées par des particules fluides, chaque trajet et l'interaction entre les conducteurs en fonction de la viscosité.

La modélisation du trafic routier est obtenue par les équations de BURGERS déduites.

On distingue deux types d'équations de Burgers, Celles sans terme de viscosité qui peuvent être obtenues en considérant la non-interaction des voitures et dont la résolution peut être réalisée à l'aide de la méthode des finies, y compris l'approximation de dérivées des équations de la physique au moyen des développements de Taylor se basant sur la discrétisation de l'espace de phase avec terme de viscosité.

La Résolution du problème de viscosité non linéaire basé sur la transformée de Cole-Hopf.

Concernant la résolution numérique, une discipline concernée par l'étude des propriétés mathématiques des schémas numériques tels que la convergence, la consistance et la stabilité numériques, elle peut être faite soit par une différence finie, soit par la bibliothèque sympy du langage python.

Au milieu de cette résolution, on transforme une équation aux dérivées partielles continue en une suite numérique appelée schéma numérique et ce en recourant à une approximation.

Cette résolution, qui consiste à remplacer un problème continu par un problème discret fini est possible à l'aide des développements limités de Taylor, en négligeant les termes d'ordres supérieurs.

## **Problématique retenue**

Comment peut-on agir sur le terme de viscosité dans l'équation de BURGERS pour optimiser le transport routier ?

## **Objectifs du TIPE**

\*J'établirai les équations de Burgers avec et sans terme de viscosité.

\*J'introduirai les équations de Burgers ainsi que leurs domaines d'application pour les résoudre analytiquement et implémenter deux codes python.

\*J'analyserai les deux courbes que j'ai réalisé.

\*Je conclurai.

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

- [1] BRUNO BISSON : Congestion routière: des impacts multiples, des milliards de pertes :  
<https://www.lapresse.ca/actualites/grand-montreal/201511/02/01-4916352-congestion-routiere-desimpacts-multiples-des-milliards-de-pertes.php>
- [2] SHAHIRAH BINTI MOHD ZULKIFLI, NUR ILHAM BINTI ZAINUDDIN, SITI NURLINA SYAMIMI BINTI MD ROSLY, JUSOH YACOB : Mathematical Modelling Of Burger's Equation Applied In Traffic Flow :  
[https://www.researchgate.net/publication/320398257\\_Mathematical\\_Modelling\\_Of\\_Burger's\\_Equation\\_Applied\\_In\\_Traffic\\_Flow](https://www.researchgate.net/publication/320398257_Mathematical_Modelling_Of_Burger's_Equation_Applied_In_Traffic_Flow)
- [3] LORENA BARBARA : Computational Fluid Dynamics with Python Courses, Boston University :  
<http://lorenabarba.com/blog/cfd-python-12-steps-to-navier-stokes/>
- [4] JEAN-PIERRE DEMAILLY : Analyse numérique et équations différentielles : *EDP Sciences*
- [5] GUILHEM DUPUIS : Modélisation du trafic routier: Le modèle de Lighthill-Whitham-Richards :  
<https://www.ceremade.dauphine.fr/~vigeral/Memoire2016Dupuis.pdf>
- [6] TAKASHI NAGATANI, HEIKE EMMERICH, KEN NAKANISHI : Burgers equations for Kinetic clustering in traffic flow :  
[https://www.researchgate.net/publication/257219331\\_Burgers\\_equation\\_for\\_kinetic\\_clustering\\_in\\_traffic\\_flow](https://www.researchgate.net/publication/257219331_Burgers_equation_for_kinetic_clustering_in_traffic_flow)

## DOT

- [1] *Septembre 2020, étude documentaire et choix du modèle.*
- [2] *Décembre 2020, étude théorique des équations de Burgers.*
- [3] *Mars 2021, réalisation du code de résolution numérique.*
- [4] *Mai 2021, élaboration d'une conclusion.*

## Détection précoce des tsunamis : le système DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis)

En naviguant sur YouTube, j'ai trouvé une vidéo montrant les conséquences d'un tsunami qui a frappé la ville de Fukushima au Japon le 11/03/2011 précédé par un séisme. Cette catastrophe a provoqué la mort et la disparition d'environ 26 000 personnes. En faisant quelques recherches, j'ai découvert le système DART.

Ce système a pour objectif principal de détecter un tsunami d'une manière anticipée contribuant ainsi à la sécurité des résidents notamment dans les zones côtières. C'est dans cette optique que j'ai jugé opportun de retenir ce sujet en tant que thème de l'année 2020/2021.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Enregistreur de pression de fond</i>	<i>Bottom pressure recorder</i>
<i>Paquet de fond</i>	<i>Bottom package</i>
<i>Bouée de surface</i>	<i>Surface buoy</i>
<i>Télémétrie</i>	<i>Telemetry</i>
<i>Inclinaison</i>	<i>Tilt</i>

### Bibliographie commentée

Le système DART permet la détection des vagues du tsunami dans les eaux profondes allant jusqu'à 6 kilomètres de profondeur. L'avantage d'un tel système consiste à avoir un temps de réponse réduit ce qui permet le déclenchement d'une alerte précoce de façon à pouvoir enclencher assez tôt l'évacuation de la population des zones côtières.

Un tel dispositif est très utilisé dans le domaine de détection des tsunamis vu l'efficacité qu'il présente. En effet, auparavant et avant la mise en place du système DART, la connaissance d'un tsunami était basée uniquement sur les données sismiques des tremblements de terre notamment à la localisation des failles sous-marines. Heureusement qu'actuellement, quand un tsunami se déplace à travers l'océan et passe sur un DART, le système rapporte les mesures réelles du tsunami aux centres d'alerte. Ces données sur le niveau de la mer sont ensuite utilisées pour estimer les conditions qui ont généré le tsunami, généralement différentes de celles qui ont produit le tremblement de terre. Remplacer la source du tremblement de terre par une source qui correspond aux mesures de la vague, permet d'obtenir des prévisions plus précises du modèle. Cela permet ensuite au personnel d'urgence local de prendre des mesures plus efficaces pour sauver des vies.

Le fonctionnement du système DART repose sur une multitude de phénomènes physiques [1]. En

effet : lors du passage d'une vague tsunami au-dessus du capteur de pression **[2] [3]** (situé dans le fond marin), celui-ci mesure une variation de pression et envoie par la suite une onde acoustique (il s'agit d'une télémétrie bidirectionnelle) se propageant dans l'eau vers une bouée flottante (qui est émergente de la surface d'eau).

Cette onde acoustique contient les données mesurées par le capteur de pression. Une étude sera consacrée quant à la propagation de cette onde acoustique dans l'eau et une résolution numérique sera faite en utilisant le langage de programmation Python **[4]**.

Un transducteur acoustique situé dans la bouée de surface recevra cette onde qui sera convertie en une onde électromagnétique. Celle-ci sera par la suite envoyée vers un satellite Iridium (satellite de communication) qui communiquera un signal vers un centre d'alerte aux tsunamis, où il y aura un traitement automatique des données mesurées **[5]** et un déclenchement d'une alerte au cas d'un tsunami.

Le modèle DART est devenu opérationnel en 2003 utilisant un moyen de communication unidirectionnel avec le Centre de détection, et ce par le biais d'un satellite (du capteur de pression vers le Centre de détection). Ce modèle assure la transmission de quatre observations de la hauteur de la vague estimée par rapport au niveau moyen de la mer à des intervalles de 15 minutes.

Une deuxième génération de ce système nommée DART II, plus sophistiquée que le premier modèle, est mise en service en 2005. L'avantage de ce nouveau système est d'abord les communications bidirectionnelles du capteur de pression avec le centre de détection ce qui permet un contrôle meilleur de l'état du capteur, de plus DART II permet la récupération des données à haute résolution à des intervalles de 15 secondes.

Une proposition d'amélioration du fonctionnement de ce système consiste à augmenter la fiabilité des données mesurées selon la technique indiquée ci-après :

- Un capteur d'inclinaison permet de vérifier si la bouée de surface reste dans le cône de projection acoustique (i.e. c'est le domaine de propagation de l'onde acoustique qui a une forme d'un cône) du paquet de fond situé dans une profondeur de 6 kilomètres, aux fins de s'assurer que l'onde acoustique parvient bien à la bouée de surface **[6]**.

Actuellement, il existe 60 systèmes dont 39 sont situés stratégiquement dans les océans Pacifique et Atlantique, le Golfe du Mexique et la mer des Caraïbes.

## **Problématique retenue**

Il s'agit d'étudier les différentes étapes de la détection du tsunami par le système DART : Comment peut-on mesurer la pression dans le fond marin ? Comment l'onde acoustique se propage dans l'eau ? Quel algorithme adopter pour la détection du tsunami ?

## Objectifs du TIPE

Je me propose :

- de donner une description globale du système DART,
- de m'intéresser au capteur de pression en étudiant le couplage piézoélectrique,
- de faire une résolution puis une simulation numérique de l'équation de propagation de l'onde acoustique,
- d'étudier l'algorithme de détection des tsunamis,
- d'explorer le capteur d'inclinaison du système DART.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] M. C. EBLE AND F. I. GONZALEZ : Deep-Ocean Bottom Pressure Measurements in the Northeast Pacific : <https://nctr.pmel.noaa.gov/eble1991.html>
- [2] A. LANGEVIN : Étude des méthodes de mesure des pressions explosives. Comparaison crushers-quartz piézoélectrique : <https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00233451/document>
- [3] STÉPHANE DURAND ET HERVÉ LISSEK : Cours : La transduction piézoélectrique : [http://electroacoustique.univ-lemans.fr/cours/pdf/grain\\_34.pdf](http://electroacoustique.univ-lemans.fr/cours/pdf/grain_34.pdf)
- [4] DOMINIQUE LEFEBVRE : Etablissement, algorithme et code de la résolution de l'équation d'onde d'Alembert. : <http://www.tangentex.com/EquationAlembert.htm>
- [5] FRANCESCO CHIERICI, DAVIDE EMBRIACO, AND LUCA PIGNAGNOLI : Journal of Geophysical Research: Oceans RESEARCH ARTICLE 10.1002/2016JC012170 A new real-time tsunami detection algorithm 10.1002/2016JC012170 : <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016JC012170>
- [6] J. BERGER<sup>1</sup>, G. LASKE<sup>1</sup>, J. BABCOCK<sup>1</sup>, AND J. ORCUTT<sup>1</sup> : AGU PUBLICATIONS Earth and Space Science Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, California, USA RESEARCH ARTICLE 10.1002/2015EA000137: An ocean bottom seismic observatory with near real-time telemetry : <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/2015EA000137>

## DOT

- [1] *Septembre 2020 : Compréhension du fonctionnement du modèle DART et documentation sur celui-ci.*
- [2] *Octobre 2020 : choix final du sujet de TIPE après une hésitation entre l'étude du modèle DART et l'étude d'un robot qui s'intéresse aux bulles sortantes des fissures dans le fond marin pour détecter les séismes (ce dernier sujet contient peu de documentation).*
- [3] *Novembre – Décembre 2021 : Modélisation du capteur de pression en le considérant comme un condensateur formé par deux cylindres en quartz (en tant que matériau piézoélectrique).*
- [4] *Janvier-Février 2021 : Etude des étapes qui mènent à la détection des tsunamis : la conversion*

*du signal contenant les données brutes en un signal plus simple montrant l'amplitude de la vague.*

**[5]** *Mars 2021 : L'établissement de l'équation de la propagation de l'onde acoustique dans l'eau. Interprétation de la durée de propagation. Bien que l'équation de propagation obtenue soit similaire à celle de D'Alembert, la démonstration reste un peu floue car elle repose sur des notions hors programme. En fin du mois de mars, j'ai fait une résolution numérique de cette équation ainsi qu'une simulation numérique.*

**[6]** *Fin mai-début juin 2021 : Production des courbes du signal filtré avec et sans bruit pour la partie traitant la détection du tsunami. L'étude de extensions du modèle DART : l'ajout d'un capteur d'inclinaison.*

## La terre se réchauffe, la glace fond

La fonte des glaciers représente un vrai enjeu sociétal. En effet, elle s'accélère de plus en plus au cours des années ce qui forme un danger public. Plus grave encore, certains pays sont menacés de disparition suite à l'élévation du niveau de mer.

Le réchauffement climatique rentre dans le cadre du thème de l'année. En effet les changements climatiques forment un danger sur la faune et la flore et constitue un enjeu non seulement sociétal mais aussi environnemental.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Fonte des glaciers</i>	<i>Melting glaciers</i>
<i>Température</i>	<i>Temperature</i>
<i>Equation de Chaleur</i>	<i>Heat Equation</i>
<i>Changement climatique</i>	<i>Climate Change</i>
<i>Resolution numerique</i>	<i>Numerical methods</i>

### Bibliographie commentée

Partout dans le monde, les glaciers fondent sous l'effet du réchauffement climatique anthropique. Mais l'ampleur du phénomène restait à préciser. Aujourd'hui, des chercheurs assurent qu'ils perdent chaque année près de 300 milliards de tonnes de glace. [1] Sa masse varie alors à cause des déformations au cours du temps. Et ceci lui donne une place de choix dans l'évolution du niveau des mers en ce sens qu'elle favorise leur montée. Ce fut le cas des grandes calottes qui ont causé une élévation de près de 120 mètres au-dessus de la mer dans l'hémisphère nord il y a 20 000 ans d'après le GIEC dans un rapport publié en 2007 [2]. Du côté du Groenland et de l'Antarctique, désormais six fois plus vite que dans les années 1990, affirment les chercheurs. Des chiffres malheureusement en phase avec les prévisions du pire des scénarios climatiques [3] En effet, Depuis 2015, la perte de masse des glaciers s'est accélérée selon une cartographie établie par des scientifiques de différents instituts, publiée dans Nature. Ces derniers ont ainsi montré que la glace perdue chaque année était passée de 227 gigatonnes entre 2000 et 2004 à 298 gigatonnes entre 2015 et 2019, du fait de la hausse des températures.[4]

Nombreux sont les scientifiques qui tirent la sonnette d'alarme : la situation climatique et environnementale devient urgente au fil des ans. Le 2 août, le « jour du dépassement », une sorte d'anniversaire un peu funeste, nous a rappelé que nous consommons plus que ce que la planète peut produire. Cette année, c'est l'équivalent des ressources de 1,7 fois notre planète qui ont été utilisées par l'humanité. En bref nous vivons à crédit [5]. Ce processus se fait par différents transferts thermiques. En ce qui concerne les glaciers, on parlera de convection thermique sous l'effet d'un gradient de température, de transfert conducto-convectif à l'interface eau/glace et de rayonnement

électromagnétique.

## Problématique retenue

Depuis plus d'un siècle, les glaciers reculent. Cette tendance s'amplifiera inévitablement si le climat se réchauffe davantage, alors la question qui se pose comment affecte le changement climatique sur les calottes glaciers?

## Objectifs du TIPE

Je commence par une modélisation des différents échanges thermiques entre un bloc de glace et son environnement. Je vais avoir une équation de chaleur que je vais résoudre numériquement.

Ensuite, je vais résoudre l'équation de la chaleur en ajoutant les termes de Newton et Stefan.

Et enfin en exploitant une base de données de la variation de la hauteur de la mer en fonction de temps et à l'aide de l'implémentation d'un code python on obtiendra une courbe représentative.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] NATHALIE MAYER : Urgence climatique : les glaciers fondent plus vite que jamais dans le monde entier : [https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/climatologie-urgence-climatique-glaciers-fondent-plus-vite-jamais-monde-entier-42732/?fbclid=IwAR329xpGn11Web-6Yt5DjHg2n5sv\\_lHq6GhwbeIeWW8jNN0QhW1qMbuoIc](https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/climatologie-urgence-climatique-glaciers-fondent-plus-vite-jamais-monde-entier-42732/?fbclid=IwAR329xpGn11Web-6Yt5DjHg2n5sv_lHq6GhwbeIeWW8jNN0QhW1qMbuoIc)
- [2] MAËLLE NODET : De la glace à la mer : <https://hal.inria.fr/hal-00825512/document>
- [3] NATHALIE MAYER : Réchauffement climatique : la fonte des glaces aux pôles est six fois plus rapide qu'il Ya 30 ans : [https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/fonte-glaces-rechauffement-climatique-fonte-glaces-poles-six-fois-plus-rapide-qu'il-ya-30-ans-79992/?fbclid=IwAR3BODNcgV-U8YU708X9C5HeFvkl7\\_d9QzLFdhsgEqwcrDu3OSSwTD35UnY](https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/fonte-glaces-rechauffement-climatique-fonte-glaces-poles-six-fois-plus-rapide-qu'il-ya-30-ans-79992/?fbclid=IwAR3BODNcgV-U8YU708X9C5HeFvkl7_d9QzLFdhsgEqwcrDu3OSSwTD35UnY)
- [4] DOROTHÉE LAPERCHÉ : La fonte des glaciers s'accélère : <https://www.actu-environnement.com/ae/news/fonte-glaciers-s-accelere-37445.php4>
- [5] OUEST-FRANCE : Réchauffement climatique. Les 8 dangers qui nous guettent : <https://www.ouest-france.fr/environnement/l-humanite-en-credit-de-ressources-naturelles-partir-du-2-aout-5154771>

## DOT

- [1] *Début septembre , recherche du sujet de travail qui s'est suivi par le choix des glaciers comme domaine .*
- [2] *Dans le courant du mois de décembre une modélisation et une résolution numérique de l'équation de la chaleur sont faites.*
- [3] *Début Janvier, une base de données est prête pour une implémentation avec le code python.*
- [4] *Début mars , une résolution numérique de l'équation de la chaleur avec les lois de Newton et Stefan est réalisée.*
- [5] *Début juin , la réalisation de la présentation.*





## ETUDE DYNAMIQUE ET DEVIATION DES GÉOCROISEURS

La terre est née dans une jungle de roche errant dans l'espace tels des prédateurs. On dénombre des milliers de géocroiseurs dont une infime partie est supposée connu, une épreuve de TIPE est une occasion pour assouvir ma curiosité d'en apprendre un peu plus sur ces engins spatiaux.

En plus de la physique gravitationnelle qui est au cœur de notre étude, bien connaître les objets qui gravitent dans notre environnement solaire est un enjeu majeur pour notre propre sécurité. Que ce soit les conséquences environnementales à la suite d'un impact ou les moyens pour s'en protéger.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*PHYSIQUE (Mécanique), PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire), INFORMATIQUE (Informatique pratique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Météorite</i>	<i>Meteorite</i>
<i>Astéroïdes géocroiseurs</i>	<i>Near-Earth asteroids</i>
<i>Mission Rosetta</i>	<i>Rosetta mission</i>
<i>Effet Yarkovsky</i>	<i>Yarkovsky effect</i>
<i>Ceinture principale</i>	<i>Main belt</i>

### Bibliographie commentée

Les astéroïdes ne sont pas juste une menace mondiale, mais planétaire. Régulièrement des fragments de météorites nous atteignent, des centaines de tonnes chaque année [1], ce sont pour la plupart des objets de petites tailles mais il arrive que de plus gros passent entre les mailles du filet dont les traces sont effacées par l'érosion et la tectonique des plaques. Le 15 février 2013, la Russie est réveillée en fanfare par un phénomène inhabituel. A 9h (heure locale) tout semble calme à Tcheliabinsk (en Russie) puis soudain, une énorme boule de feu traverse le ciel avec un bruit assourdissant, c'est une météorite chutant à 19km/s bien au-delà de 50 fois la vitesse du son [2]. Plus rapide que l'éclaire, sa vitesse entraîne ainsi sa dégradation au contact de l'air. Soumis à une pression hors norme, il explose à 20.000m d'altitude et se désagrège instantanément dégageant une énergie équivalente à 30 bombes atomiques comme celles lâchées sur Hiroshima [2]. L'énorme bang supersonique qui en résultait fera plus de 1000 blessés et ébranlera des bâtiments à des kilomètres à la ronde occasionnant de grosses pertes financières. Le système solaire, âgé de quelques 4.5 milliards d'années regorge des vestiges témoignant de sa formation. Parmi lesquels : les astéroïdes, les astéroïdes... Un astéroïde géocroiseur (AG) est un objet dont l'orbite croise celle de la terre (Earth-Crosser Asteroid ECA en anglais) et en pratique qualifie un objet évoluant près de la terre (Near Earth Asteroid NEA en anglais). Plus de 25.000 géocroiseurs (astéroïdes et comètes) sont actuellement répertoriés dont plus 9500 astéroïdes potentiellement dangereux (plus de 140m de diamètre) et plus de 850 de plus d'un km [3] et croiseront notre chemin un jour ou l'autre. Si les

planètes tournent de manière régulières, les astéroïdes eux sont beaucoup plus irréguliers. En particulier, dans la ceinture principale d'astéroïde (entre Mars et la géante gazeuse Jupiter), ceux gravitant à l'extrémité interne voient leurs trajectoires perturbées par Mars car attirés par celui-ci et pour ceux gravitant à l'extrémité extérieure, c'est Jupiter qui va jouer le rôle d'appât. Ce phénomène s'amplifie au fil du temps et rend l'orbite de l'astéroïde davantage excentrique, ainsi il se rapproche du soleil ce qui augmente le risque de croiser l'orbite terrestre.

Ivan Yarkovsky démontra que le rayonnement thermique d'un astéroïde peut modifier sa trajectoire si celui-ci est assez petit (moins de 20km de diamètre). L'insolation d'un astéroïde étant asymétrique à un instant T (une face reçoit donc plus de photon que l'autre), la réémission de ces photons étant différée (radiation thermique)[4], et à la manière d'une fusée il y'a naissance d'une force qui s'oppose à la direction d'émission (effet action-réaction, 3eme loi de Newton) accélérant l'astre si son sens de rotation est prograde et le ralentit sinon, tout ça en considérant que son mouvement autour du soleil est également prograde : C'est l'effet Yarkovsky

Le risque de collision s'avère tout aussi maximal si l'astéroïde passe par l'un des trous de serrure (keyholes) de la terre. Terme utilisé pour la première fois en 1999 par P.W. Chodas pour qualifier une zone altérée par le champ gravitationnel d'une planète de façon à ce qu'une fois un astéroïde y est passé, percutera la planète au second passage [5]. Et ce pendant, quel moyen peut-on envisager pour contrer ces engins spatiaux si jamais l'un d'eux venait à prendre la terre pour cible ?

En s'inspirant de la mission Rosetta, Il faudrait soit avancer soit retarder les conditions d'impact par rapport au moment où théoriquement il passerait près de la terre et pour cela Plusieurs moyens sont envisageables. Soit des moyens brutaux comme une impulsion forte mais très brève a l'instar d'un impacteur cinétique, d'une impulsion laser qui réduirait l'objet en débris inoffensifs ou même l'utilisation d'une ogive nucléaire. Soit plutôt une impulsion plus continues mais plus faible comme par exemple en occultant la lumière du soleil pendant une durée considérable, l'utilisation d'une sonde assez massive déviant l'astéroïde par gravité.

## **Problématique retenue**

On va élaborer une étude concise et détaillée de la trajectoire dynamique d'un géocroiseur, les facteurs qui accélèrent le processus de collision avec la Terre.

## **Objectifs du TIPE**

Ø L'exploitation des bases de donnée d'observation

Ø Déterminer quel est le meilleur moyen d'éviter une collision selon les cas

Ø Modélisation dynamique du mouvement de la terre au sein du système solaire

Ø Une étude brève de l'astéroïde Apophis

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] JEAN-PIERRE LUMINET : Combien tombe-t-il de météorites sur Terre ? : <https://www.futura-sciences.com/sciences/dossiers/espace-10-questions-essentielles-univers-1905/page/7/>
- [2] CAROLINE SMITH : Le météore de Tcheliabinsk : <https://www.youtube.com/watch?v=vWSwsdIncT4&t=91s>
- [3] ALAN CHAMBERLIN : Discovery Statistic : <https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html>
- [4] D. VOKROUHLICKY : Yarkovsky Effect on Small Near-Earth Asteroids: Mathematical Formulation and Examples : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0019103500964698>
- [5] DAVID BANCELIN : Etude de la dynamique des astéroïdes géocroiseurs : Application à (99942) Apophis : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00675557/document>

## DOT

- [1] *Début Janvier 2021 : Travail sans succès sur la méthode du calcul du risque*
- [2] *Début Février 2021 : Compréhension de quelques méthodes de détection d'astéroïde*
- [3] *Début Mars 2021: Cogitation sur la lois de Titius-Bode sans résultat intéressant avant de comprendre plus tard qu'il n'y avait rien à comprendre sur cette loi qui est beaucoup plus considérée comme une coïncidence mathématique*
- [4] *Début juin 2021 : Réalisation d'une série de trois expériences, l'une sur le brouillage lumineux, deux sur la dissipation de l'énergie cinétique. Pour le brouillage lumineux j'ai compris pourquoi les astéroïdes étaient pratiquement indétectables quand ils s'approchaient de la Terre de l'est à l'ouest et pour l'expérience sur l'énergie cinétique j'établis mieux dans quel cas il était moins préférable de recourir un impacteur cinétique pour dévier un astéroïde*
- [5] *Fin Mai 2021 : Envoi d'un email sans réponse à l'expert ETTORE PEROZZI qui est co-responsable du projet NEO à l'ESA dans l'optique de m'éclaircir davantage sur la méthode du calcul du risque d'impact d'un NEA*
- [6] *Mi-mai 2021: Lecture partiel du livre THE THREE-BODY PROBLEM de MAURI VALTONEN et HANNU KARTTUNEN qui parle du problème à trois corps. C'était dans l'objectif de déterminer une méthode d'éjection de l'astéroïde de son orbite par gravité car j'ai appris que dans un systeme à trois corps, l'un des corps fini toujours par être éjecter. Cela fut un échec*
- [7] *Fin Novembre 2020: prise de connaissance de la mission Near-Earth Object Surveillance de la Nasa programmée pour 2025: cela me fit comprendre davantage l'importance de s'affranchir de notre atmosphère qui tache les images à cause de la turbulence atmosphérique*

## Stockage de l'énergie avec l'air liquide

La transition vers un monde qui repose uniquement sur les énergies renouvelables est ralentie par quelques problèmes. Pour cette raison, j'ai choisi de travailler sur l'un de ces obstacles, le stockage d'énergie, en analysant une méthode de stockage d'énergie qui repose sur la liquéfaction de l'air.

Le système de stockage liquéfie l'air et le stocke pour une durée désirée. S'il y a une demande d'électricité, l'air liquide est pompé à une haute pression et chauffé, pour être finalement décompressé dans une turbine produisant de l'énergie électrique. Ainsi mon thème s'inscrit dans le thème.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Energie</i>	<i>Energy</i>
<i>Stockage</i>	<i>Storage</i>
<i>Transfert thermique</i>	<i>Heat transfer</i>
<i>efficacité</i>	<i>efficiency</i>
<i>Simulation</i>	<i>Simulation</i>

### Bibliographie commentée

Pour contenir le réchauffement climatique en dessous de 2°C, les émissions de dioxyde de carbone doivent diminuer de 90 % d'ici 2050, pour réaliser cet objectif les ressources renouvelables doivent atteindre une part supérieure à 65% de l'énergie produite selon les estimations faites par l'AIE [1]. Or que l'intégration d'énergies renouvelables dans le réseau électrique reste un défi car l'énergie issue de ces sources est très volatile, par exemple l'énergie photovoltaïque dépend de plusieurs variables comme la latitude, la saison et le temps de la journée dont l'énergie solaire est plus performante entre 12h et 16h [2] qui est situé avant le pic de demande le pic de demande d'électricité qui généralement entre 17h et 23h [1]. Ainsi, le plein potentiel des énergies renouvelables ne peut être exploité que lorsque l'on peut stocker l'énergie.

Le stockage d'énergie consiste à réserver une quantité d'énergie pour une certaine durée de temps afin de l'utiliser dans un moment ultérieur. L'énergie ne peut pas généralement être stocker directement, il faut la transformer en une forme d'énergie plus facile à stocker comme l'énergie mécanique (stations de transfert d'énergie par pompage), énergie électrochimique (Accumulateur électrique) ou énergie thermique[3] à laquelle je m'intéresse.

Le principe de fonctionnement de ce système de stockage d'énergie se décompose sur trois phases, charge, stockage et décharge. Si on veut stocker de l'énergie, le cycle de charge est actionné, on

commence par faire aspirer l'air dans le système, puis on lui fait subir une suite de transformations thermodynamiques afin de le liquéfier. À l'état liquide l'air est 700 fois plus dense que l'état gazeux. Plusieurs procédés existent pour réaliser ceci comme le procédé de Linde-Hampson (1895) et le cycle de Claude (1902)[4].

Le procédé le Linde-Hampson consiste à compresser l'air, ensuite le mettre en contact avec un réfrigérant pour rendre la compression isotherme, ensuite il est l'air entre dans un échangeur où il est refroidi par le gaz non condensée, puis l'air est détendue avec une valve joule thompson jusqu'à la pression atmosphérique causant un refroidissement jusqu'à -196C la température de liquéfaction de l'air, enfin l'air entre dans un séparateur où l'air liquide est stockée et l'air non condensée est utilisée pour refroidir l'air dans l'échangeur [4].

L'air liquide est placé dans un réservoir où il est maintenu sous la pression atmosphérique, or progressivement l'air liquide se vaporise comme la chaleur du milieu extérieur pénètre dans le réservoir.

Enfin, en cas de besoin d'électricité, le procédé de décharge est actionné, l'air liquide est pompé à une haute pression, ensuite il est chauffé à la température ambiante à l'aide d'un échangeur et enfin l'air est détendu avec une turbine d'expansion produisant de l'électricité [5].

## **Problématique retenue**

Comment peut-on stocker de l'énergie à l'aide d'air liquide? Quelles sont les performances: efficacité et autonomie du système de stockage de l'énergie avec l'air liquide ?

## **Objectifs du TIPE**

- 1-Etude du procédé Linde-Hampson
- 2-Analyse du stockage de l'air liquide
- 3-Analyse du procédé de décharge
- 4-Évaluer l'efficacité du système

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

[1] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY : Energy Technology Perspectives 2014 :

<https://iea.blob.core.windows.net/assets/f97efce0-cb12-4caa-ab19-2328eb37a185/EnergyTechnologyPerspectives2014.pdf>

[2] TRANS ENERGY : Le Gisement Solaire :

[https://energypedia.info/images/c/c1/Le\\_Gisement\\_Solaire.pdf](https://energypedia.info/images/c/c1/Le_Gisement_Solaire.pdf)

[3] ENEA CONSULTING : LE STOCKAGE D'ENERGIE : [https://www.enea-](https://www.enea-consulting.com/static/f1a124e32e3b159b84a468fb0255ab8c/enea-le-stockage-denergie.pdf)

[consulting.com/static/f1a124e32e3b159b84a468fb0255ab8c/enea-le-stockage-denergie.pdf](https://www.enea-consulting.com/static/f1a124e32e3b159b84a468fb0255ab8c/enea-le-stockage-denergie.pdf)

[4] CEYHUN YILMAZ : THERMODYNAMIC PERFORMANCE ANALYSIS OF GAS LIQUEFACTION CYCLES FOR CRYOGENIC APPLICATIONS :

[https://www.researchgate.net/publication/330404431\\_THERMODYNAMIC\\_PERFORMANCE\\_ANALYSIS\\_OF\\_GAS\\_LIQUEFACTION\\_CYCLES\\_FOR\\_CRYOGENIC\\_APPLICATIONS](https://www.researchgate.net/publication/330404431_THERMODYNAMIC_PERFORMANCE_ANALYSIS_OF_GAS_LIQUEFACTION_CYCLES_FOR_CRYOGENIC_APPLICATIONS)

[5] SCIACOVELLI ADRIANO AND DING YULONG AND VECCHI ANDREA : Liquid air energy storage (LAES) with packed bed cold thermal storage – From component to system level performance through dynamic modelling : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261916319018>

## DOT

- [1] *[Août 2020] : Recherches bibliographiques sur le stockage d'énergie avec l'air liquide.*
- [2] *[Novembre 2020] : Etudes des différents cycles de liquéfaction de l'air.*
- [3] *[Février 2021] : Modélisation du réservoir de stockage de l'air liquide.*
- [4] *[Février 2021] : Étude des méthodes d'extraction de l'énergie à partir de l'air liquide.*
- [5] *[Mars 2021] : Échec du Premier essai de simulation des cycles thermodynamiques avec une bibliothèque python.*
- [6] *[Mai 2021 ] :Deuxième essai de simulation des cycles avec le logiciel Thermoptim-UNIT .*

## Etude du moteur Stirling

Lors de ma première année en cycle préparatoire j'ai passé un devoir surveillé qui parle du moteur Stirling, ce qui m'a donné l'idée de développer mon sujet TIPE sur ce fameux moteur le moteur Stirling offre un meilleur rendement et ne laisse pas dissiper beaucoup d'énergie, il a aussi une aptitude écologique à répondre le mieux possible aux exigences environnementales en matière de pollution atmosphérique.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*PHYSIQUE (Mécanique), PHYSIQUE (Physique de la Matière), INFORMATIQUE (Informatique pratique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>énergie</i>	<i>energy</i>
<i>rendement</i>	<i>yield</i>
<i>transfert thermique</i>	<i>heat transfert</i>
<i>stockage</i>	<i>storage</i>
<i>modélisation</i>	<i>modeling</i>

### Bibliographie commentée

De nos jours, la pollution de l'air devient un problème de santé publique très grave.

Des rapports récents indiquent que le transport routier provoque des centaines de millions de tonnes de pollution (surtout à cause du monoxyde de carbone et d'oxyde d'azote font presque la moitié) ce qui a poussé plusieurs pays à introduire des réglementations strictes sur l'émission de ces gaz.

Depuis plus de 50 ans, la réglementation européenne impose aux fabricants des maxima de niveau d'émission de polluant par un véhicule à moteur. Les chercheurs ont heureusement réussi à réduire progressivement ces émissions jusqu'à la limite basse.

Mais la qualité de l'air, en particulier dans les grandes villes à forts embouteillages et trafic routier, est encore très mauvais. C'est pour cette raison que minimiser encore ces émissions nécessite des solutions techniques très coûteuses.

La nécessité à réduire cette pollution conduit donc à rehausser la valeur des moteurs à combustion externe qui fonctionnent selon le cycle de Stirling. Ces derniers, fabriqués en 1816 sont encore rares aujourd'hui.

Les fabricants préfèrent toujours les moteurs à explosion même s'il ont un efficacité énergétique moindre. Cependant ce moteur devient de plus en plus important, il est le thème majeur de projets industriels et de recherches récentes basées sur l'idée de « développement durable » et écologiques. Ainsi ce moteur apparaît ces derniers temps de plus en plus et acquiert beaucoup de succès.

Les moteurs Stirling sont les moteurs les plus silencieux. Ils ne possèdent pas de soupapes ou d'explosions.



Les vibrations générées sont plus faciles à contrôler et beaucoup moins bruyantes qu'un moteur à combustion interne.

Ils ont aussi une plus grande polyvalence de carburant, ils peuvent fonctionner avec toute source de chaleur(solide, liquide ou gaz) et même l'énergie solaire et nucléaire.

Ils offrent une bonne réponse aux basses températures (contrairement aux autres moteurs qui ont des problèmes de démarrage à température froide).

Ce moteur a aussi la meilleure performance, il est le seul capable d'approcher la performance maximale théorique.

Dans la version la plus simple ce moteur comporte deux cylindres, l'un chauffé de l'extérieur, l'autre refroidi et ses pistons sont connectés au même vilebrequin.

Le gaz du travail passe entre les cylindres par l'élément clé de la machine :Le régénérateur( sa fonction est de récupérer et redonner l'énergie thermique cédée lors du refroidissement au gaz pendant le processus du réchauffage pour améliorer le rendement.

L'absence d'explosion dans le cycle assure le fonctionnement sans vibration et aussi sans perte de gaz ce qui rend utile à des emplacements où on est demandé de garder le calme.

Les moteurs Stirling sont utilisés dans de nombreux domaines, notamment dans les situations où le coût n'est pas un inconvénient sérieux(études, applications militaires).

Dans les années 1990, la sous marine à grande autonomie SAGA ,utilisant deux moteurs Stirling alimentés en différents carburants, a réussi à parcourir 500 km et à effectuer plus d'une semaine d'exercice à une profondeur de 300m.Il a pu déplacer plus de 500 tonnes en plongée.Et en 2008 MSI( fabricant de cartes mères d'ordinateurs) a présenté un système de refroidissement dont le ventilateur est actionné par un moteur Stirling qui utilise l'énergie libérée comme source de chaleur.

## **Problématique retenue**

Les valeurs théoriques ne sont pas compatibles avec celles en pratique.L'étude de la réfrigération( a pour fonction de récupérer la chaleur pendant le cycle pour une économie de dépense d'énergie et donc un rendement proche de la valeur théorique) nous permettra de mieux comprendre l'origine de cet écart .

## **Objectifs du TIPE**

Je mènerais des recherches sur la régénération des moteurs pour comprendre son fonctionnement en général.Pour mener cette recherche, j'utiliserai des modèles physiques des différents phénomènes pour aboutir à des équations mathématiques que je vais essayer de résoudre.Pour faire cette résolution je vais écrire du code python pour visualiser les différentes grandeurs issues de l'approche analytique et arriver aux résultats souhaités.

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

[1] la pollution de l'air a cause du trafic routier :

<http://www.vedura.fr/environnement/transports/transport-routier>

[2] le rôle du régénérateur : <http://www.moteurstirling.com/regenerateur.php>

[3] étude du double effet du moteur Stirling :

<http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/57811/68190.pdf?sequence=1&fbclid=IwA>

*R2OEngWwpD5UU\_QpPYkvc7vk5-ewErvlW\_olKnT-zwq5B6un201CXOV-24*

[4] avantages du moteur stirling : [https://fr.demotor.net/moteur-stirling/avantages-desavantages?fbclid=IwAR3NBQvqhYspO8nBQuSJUWx\\_oHtm4plDiiIvrcfOWMQjezoUunIMG3p9Dv0](https://fr.demotor.net/moteur-stirling/avantages-desavantages?fbclid=IwAR3NBQvqhYspO8nBQuSJUWx_oHtm4plDiiIvrcfOWMQjezoUunIMG3p9Dv0)

[5] principe de fonctionnement : <https://direns.mines-paristech.fr/Sites/Thopt/fr/co/stirling.html>

## **DOT**

[1] *j'ai passé un devoir surveillé dont le sujet porte sur le moteur Stirling l'année dernière*

[2] *au cours de cette année, aux mois de novembre et décembre j'ai fait quelques recherches approfondies avec mon encadreur*

[3] *j'ai fait des expériences pour voir la nécessité du régénérateur dans le moteur stirling pendant les mois de fevrier et mars*

[4] *ces dernières semaines j'ai commencé à rédiger mes présentations et terminer mon projet*

# LA DECARBONISATION DU SECTEUR AERIEN : ETUDE ENERGETIQUE DU MOTEUR A HYDROGENE

Ma passion pour l'aéronautique m'a conduit au projet fascinant de l'AIRBUS qui consiste à mettre en service de nouveaux avions qui fonctionnent à l'aide de moteurs à hydrogène. J'ai alors décidé d'étudier ce moteur tout présentant ses avantages au niveau énergétique et environnemental.

Ce sujet est en adéquation avec le thème de l'année car il traite de l'utilisation de l'hydrogène qui est une source de production abondante d'énergie, bien meilleure que le kérosène, pour le développement du secteur aérien mais aussi pour y réduire la production de gaz à effet de serre.

## Positionnement thématique (ETAPE 1)

*CHIMIE (Chimie Organique), PHYSIQUE (Physique de la Matière).*

## Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
Analyse de l'exergie	exergy analysis
Hydrogène liquide	liquid hydrogen
Cycle de Rankine	Rankine cycle
Moteur à hydrogène	hydrogen engine
Thermodynamique	Thermodynamics

## Bibliographie commentée

A l'heure actuelle, le secteur aérien représente près de 3% du total des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> selon l'International Energy Agency(IEA). Ce taux est bien plus important que celui de certains pays. De plus, l'entreprise Carbone 4 prévoit que ce taux dépassera les 7% d'ici 2035[1]. Cela s'avère très inquiétant. Plusieurs solutions ont été proposées par les agences d'aviations afin de résoudre ce problème. Cependant, elles ne sauraient satisfaire à la fois les besoins énergétiques des avions et les attentes des compagnies aériennes (en terme de dépense). C'est ainsi que naît en Avril 2000 le projet CRYOPLANE qui concerne l'étude système fonctionnant à partir de l'hydrogène liquide. En fait, ce projet a subi des modifications au fil des années, son nouveau but est de produire de l'hydrogène à partir de sources d'énergie renouvelables ; d'utiliser l'hydrogène tel un carburant d'aviation afin de rendre l'avion compatible avec l'environnement et ainsi assurer une croissance durable à long terme du trafic aérien. Cela sera possible grâce à une étude de l'exergie d'un nouveau cycle de Rankine, c'est-à-dire l'analyse du rendement énergétique d'un cycle de Rankine basée sur la corrélation entre la qualité de la production énergétique et son impact sur l'environnement. Ce cycle aura pour fluide caloporteur l'hydrogène, car il est une de production abondante d'énergie avec un faible taux d'émission de CO<sub>2</sub>. Il peut être produit de diverses manières.

Aujourd'hui, 95 % de l'hydrogène est produit à partir d'hydrocarbures (pétrole, gaz naturel et charbon), solution la moins coûteuse. Cependant, ce processus est, hormis pour la pyrolyse, émetteur de CO<sub>2</sub>, gaz à effet de serre. Pour produire de l'hydrogène faiblement carboné, trois options s'offrent donc aux industriels : capter le CO<sub>2</sub> émis lors de la production par transformation des énergies fossiles, puis le transporter pour le stocker géologiquement, pyrolyser du méthane et séparer le carbone sous forme solide, enfin, le produire via l'électrolyse de l'eau, l'électrolyse étant opérée à partir d'une électricité peu carbonée fournie par de l'énergie nucléaire, éolienne ou solaire. L'enjeu reste toutefois pour cette dernière option, le coût de ce mode de production, plus onéreux à ce jour que celui du reformage du gaz naturel, même en considérant le surcoût lié au captage du CO<sub>2</sub>. [2] Cependant, l'hydrogène avant d'être utilisé, doit être produit puis stocké sous forme liquide. l'hydrogène liquide possède une masse volumique de 70,973 kg/m<sup>3</sup>; dans ces conditions, le volume du réservoir nécessaire pour stocker 4 kg d'hydrogène serait de 56 litres au lieu de 45 m<sup>3</sup>.

La difficulté est alors de porter et de maintenir l'hydrogène à une température de  $-252,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Le réservoir doit alors résister à de hautes pressions et disposer de systèmes secondaires maintenant l'hydrogène à basse température, et à une pression au moins légèrement supérieure à la pression atmosphérique[3]. En outre, la liquéfaction de l'hydrogène et son maintien en température ont un coût énergétique élevé et, par-là, sont polluants.

La Cryo-compression pourrait améliorer l'efficacité du stockage volumétrique et massique et ainsi faciliter l'usage d'hydrogène liquide refroidi à très basse température (20,3 K environ)[4]. Ainsi, il sera utile à la fabrication de pile à combustible qui alimente le moteur à hydrogène. Le principe de la pile à combustible est l'inverse d'une électrolyse. La réaction chimique produite par l'oxydation et la rencontre de gaz produit de l'électricité, de l'eau et de la chaleur. Le fonctionnement de la pile à combustible nécessite un approvisionnement en combustible, le plus utilisé étant l'hydrogène. Une cellule de pile à combustible produit une tension électrique d'environ 0,7 à 0,8 V, selon la charge (densité de courant) et produit de la chaleur. Leur température de fonctionnement varie de 60 à 1 050 °C selon les modèles. L'eau est généralement évacuée sous forme de vapeur avec l'excédent de dioxygène. [5]

## **Problématique retenue**

L'étude du point de vue de l'exergie d'un cycle de Rankine fonctionnant à l'hydrogène permettra-t-elle de montrer la possibilité d'une grande avancée technologique dans le secteur aérien ?

## **Objectifs du TIPE**

Je me propose d'étudier la production d'hydrogène liquide à partir des réactions électrochimiques puis aborder des moyens de stockage de cette solution dans le but de faciliter l'analyse du cycle de Rankine par des calculs de grandeurs thermodynamiques obtenues suite à l'application de la première et la deuxième loi et des modélisations.

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

[1] FUTURA-SCIENCES : Quelle évolution du secteur aéronautique face aux enjeux

environnementaux de demain ? : <https://www.futura-sciences.com/sciences/questions-reponses/ipsa-evolution-secteur-aeronautique-face-enjeux-environnementaux-demain-14158/>

[2] IFP ENERGIES : TOUT SAVOIR SUR L'HYDROGÈNE :

<https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/energies-renouvelables/tout-savoir-lhydrogene>

[3] WIKIPEDIA : Hydrogène liquide : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrog%C3%A8ne\\_liquide](https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrog%C3%A8ne_liquide)

[4] MOTEUR NATURE : La première station d'hydrogène cryo-comprimé :

<https://www.moteurnature.com/27962-la-premiere-station-d-hydrogene-cryo-comprime>

[5] WIKIPEDIA : Pile à combustible : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Pile\\_%C3%A0\\_combustible](https://fr.wikipedia.org/wiki/Pile_%C3%A0_combustible)

## DOT

[1] *[début Janvier: Lecture de l'article [1] puis choix du sujet de TIPE ]*

[2] *[Début Février: L'incapacité d'accéder aux centrales industrielles m'a empêchée de réaliser une pile à combustible ]*

[3] *[Début Mars: Choix de l'étude du cycle de Rankine]*

[4] *[Fin Avril: Tentatives de compréhension de la notion d'exergie]*

## Prédiction de la propagation d'une épidémie.

Ces deux années, l'équilibre mondial a été bouleversé par le coronavirus. Plusieurs études ont été publiées sur le sujet, ce qui m'a incité à comparer dans mon TIPE deux méthodes de prédiction qui permettent d'étudier son évolution.

Le coronavirus a été la cause d'une crise mondiale depuis 2019. Ces effets ne se limitent pas au plan sanitaire mais atteignent les plans économiques et sociaux. Ainsi, l'analyse et la prédiction de sa propagation constitue un vrai enjeu sociétal puisqu'elles permettent d'élaborer des stratégies efficaces de gestion d'épidémies.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Coronavirus</i>	<i>Coronavirus</i>
<i>SIR</i>	<i>SIR</i>
<i>modèle ARIMA</i>	<i>ARIMA model</i>
<i>Séries temporelles</i>	<i>Time series</i>
<i>Test du Portemanteau</i>	<i>Portmanteau test</i>

### Bibliographie commentée

Le virus Covid-19 a été à l'origine d'une crise mondiale sanitaire. Cependant, cette crise sanitaire est accompagnée d'une crise socio-économique partout dans le monde. Ceci est d'autant plus ressenti en Tunisie puisque l'économie et le service de santé public sont très fragiles et les mesures sanitaires comme le confinement semblent très coûteuses.

Pour pouvoir étudier et prédire la propagation du virus, une première approche est possible : l'épidémiologie mathématique, en particulier le modèle SIR. Le modèle SIR est un modèle mathématique continu compartimental employé pour l'analyse et la prédiction des épidémies. Les modèles à compartiments ont été initialement développés par Anderson Gray McKendrick et William Ogilvy Kermack en 1927 et ils ont fait leurs preuves avec le SIDA en 1980. **[1]**

Le modèle consiste à diviser la population en 3 compartiments S : individus susceptibles, I : individus infectés et R : individus rétablis. Un système de 3 équations différentielles non linéaires couplées lie les variables. Le modèle repose sur deux paramètres *alpha* et *beta*, réciproquement le taux de guérison et le taux de transmission, déterminées à partir des données expérimentales collectées sur le site officiel de l'OMS ( l'Organisation Mondiale de la Santé ). La détermination exacte de ces constantes s'avère primordiale pour une meilleure approximation du cas réel. **[2] [3]**

En considérant qu'un individu ne peut guérir qu'après avoir passé 14 jours infecté, *alpha* est supposée égale à  $1/14$ . Ceci implique que le nombre d'individus rétablis ne varie pas pendant les 14 premiers jours. Aussi, durant le début de la pandémie, le nombre d'infectés est minime, on suppose

donc que  $S$  est presque égale à  $N$ ,  $N$  étant la population totale . Ainsi, après la simplification du système d'équations différentielles,  $I(t)$  a une allure exponentielle. [4] Il faut donc un  $\beta$  qui permet de minimiser la somme des carrés des résidus et donc d'approcher le mieux le nuage de points du cas réel. [5] Une fois les 2 constantes trouvées et les conditions initiales choisies, l'implémentation d'un algorithme Python permet de simuler l'évolution du nombre d'individus atteints, guéris et susceptibles.

Une deuxième approche consiste à utiliser l'ARIMA pour prédire le même processus. En effet, l'ARIMA est un modèle statistique appliqué aux séries temporelles et couramment utilisé pour prédire différents processus tels que les ventes ou les prix de certains produits. Il est constitué de 3 composantes : AR : auto régressif, I : intégré et MA : moyenne mobile. Ces modèles ont été développés en 1976 par Box et Jenkins. [6] L'évolution journalière du Covid-19 en Tunisie étant une série temporelle, on peut appliquer l'ARIMA. La composante AR d'ordre  $p$  permet d'écrire la variable à un instant  $t$  en fonction des  $p$  instants précédents. La composante MA d'ordre  $q$  permet d'écrire l'instant  $t$  comme une combinaison linéaire de  $q$  bruit blanc. La différenciation d'ordre  $d$  est un moyen qui permet d'obtenir une série stationnaire. [7] L'application de la fonction logarithmique peut aussi être utilisé pour rendre la variance constante et donc avoir une série plus stationnaire. L'analyse des fonctions d'autocorrélation et d'autocorrélation partielle permet de retrouver les valeurs des constantes  $p$  et  $q$ . à l'issue de la modélisation ARIMA ( $p,d,q$ ), le résidu obtenu doit être un bruit blanc. Le test de Box-Pierce, aussi appelé test de Portemanteau, permet de vérifier l'hypothèse : le résidu est un bruit blanc à l'aide d'un calcul des estimations des autocorrélations. [7]

## Problématique retenue

Comment modéliser mathématiquement la propagation de cette épidémie d'une manière simple à l'aide d'un modèle mathématique à compartiment ?

Comment décrire l'évolution de la pandémie en ayant recours à un modèle mathématique statistique ?

Quel modèle retenir pour une meilleure prédiction ?

## Objectifs du TIPE

- Simuler la propagation du Covid-19 en Tunisie à l'aide d'un modèle à compartiments en prenant en compte des constantes réajustées quotidiennement.
- Prédire la propagation du virus à l'aide d'un modèle statistique.
- Comparer les résultats.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] WIKIPÉDIA : Modèles compartimentaux en épidémiologie :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Mod%C3%A8les\\_compartimentaux\\_en\\_%C3%A9pid%C3%A9miologie](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mod%C3%A8les_compartimentaux_en_%C3%A9pid%C3%A9miologie)

- [2] OMS : covid-19-data : <https://covid19.who.int/table>
- [3] LAURENT DUMAS : Modélisation mathématique de l'épidémie de COVID-19 : comment ça marche ? : <http://dumas.perso.math.cnrs.fr/SCJM.pdf>
- [4] DAVID I.KETCHESON : Estimating SIR parameters : [https://www.davidketcheson.info/2020/03/19/SIR\\_Estimating\\_parameters.html](https://www.davidketcheson.info/2020/03/19/SIR_Estimating_parameters.html)
- [5] UNIVERSITÉ PARIS OUEST NANTERRE LA DÉFENSE : Chapitre 4 : Régression linéaire : *Université Paris Ouest Nanterre La Défense UFR SPSE-Master 1 PMP STA 21 Méthodes statistiques pour l'analyse des données en psychologie Chapitre 4 : Régression linéaire*  
URL:<https://fermin.perso.math.cnrs.fr/Files/Chap3.pdf>
- [6] DIDIER DELIGNIÈRES : Séries temporelles – Modèles ARIMA : . *Séries temporelles – Modèles ARIMA. Séminaire EA "Sport – Performance – Santé" Mars 2000*  
<https://didierdelignieresblog.files.wordpress.com/2016/03/arimacomplet.pdf>
- [7] VINCENT LEFIEUX : Analysez et modélisez des séries temporelles : <https://openclassrooms.com/fr/courses/4525371-analysez-et-modelisez-des-series-temporelles>

## DOT

- [1] *Juin 2020 : Choix du sujet.*
- [2] *Août 2020 : Début des recherches bibliographiques.*
- [3] *Novembre 2020 : Choix du premier modèle : modèle SIR.*
- [4] *Décembre 2020 : Recherches approfondies sur le modèle SIR.*
- [5] *Janvier 2021 : Recherche et choix de l'approche statistique.*
- [6] *Mars 2021 : Suivi du cours Analysez et modélisez des séries temporelles de monsieur Vincent LEFIEUX.*
- [7] *Mai et Juin 2021 : Préparation de la présentation.*
- [8] *Juin 2021 : Finalisation du TIPE.*



## accumulateur lithium-air

les accumulateurs lithium-air sont principalement installés dans les véhicules hybrides qui sont de nos jours de plus en plus propager et personnellement je suis très fasciné par le monde d'automobile les batteries lithium-air ont potentiellement une énergie supérieure a n'importe qu'elle autre batterie et dans le but de diminuer les émission du co2 dans l'air on utilise ces batteries dans les véhicules hybride ce qui assure notre sécurité et une environnement moins polluantes

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*CHIMIE (Chimie Inorganique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

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

*électrolyte*

*accumulateur lithium-air*

*voiture hybride*

*batteries*

*air*

### Bibliographie commentée

Avec la croissance incessante de la demande mondiale en énergie, l'énergie renouvelable est une alternative prometteuse dans le domaine du transport et la génération d'électricité.

En effet les alternatives en transport sont les voitures électriques et hybrides. Cependant, ces technologies sont limitées par les technologies de stockage énergétiques actuelles.

L'énergie solaire et éolienne peuvent remplacer les sources d'énergie polluantes mais sont intermittentes et nécessitent un stockage efficace de l'énergie électrique générée

Le secteur automobile pourrait être intéressé par des batteries lithium-air[1] ainsi que le segment des vélos à assistance électrique, afin d'offrir une bonne autonomie pour un encombrement réduit aux véhicules électriques.

En théorie, les batteries lithium-air pourraient stocker 3,5 kWh/kg au maximum. Cependant, en raison des contraintes technologiques (substrat, isolation de la batterie...), la densité énergétique réelle sera très probablement plus faible. La densité de 1,7 kWh/kg fournie aux roues peut toutefois être envisagée en raison d'un meilleur rendement des moteurs électriques par rapport aux moteurs thermiques.

« Notre conception de batterie lithium-air représente une révolution dans la communauté des batteries », a déclaré Amin Salehi-Khojin, professeur adjoint de génie mécanique et industriel à

l'Université de l'Illinois à Chicago.

Les batteries lithium-air rechargeables ont une densité énergétique théorique bien plus élevée que les batteries lithium-ion et devraient donc devenir une source d'alimentation possible pour les véhicules électriques (VE).

Trois types de batteries lithium-air rechargeables ont été développées : non aqueuses, aqueuses et solides [2]. La majorité des efforts de recherche ont été consacrés à la batterie non aqueuse au cours des deux dernières décennies. Cependant, les batteries lithium-air non aqueuses ont encore des problèmes critiques à résoudre pour réaliser l'utilisation pratique des véhicules électriques, tels qu'une faible capacité de surface pratique, une faible efficacité énergétique aller-retour et la purification de l'air.

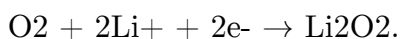
Les systèmes lithium-air aqueux et solides ne présentent pas les problèmes critiques observés dans le système non aqueux; cependant, ils n'ont pas montré de capacité pour une densité de puissance élevée et un cycle profond prolongé. Dans cette brève revue, nous mettons l'accent sur les progrès réalisés en ce qui concerne les performances des cellules, telles que la capacité à haute densité de courant et durée de vie, et nous identifions les perspectives des batteries lithium-air pour les véhicules électriques et les technologies clés.

En janvier 2013, BMW et Toyota collaborent afin de développer la prochaine génération de batteries lithium-air qui pourraient être utilisées dans des véhicules hybrides et électriques

La batterie consiste en une électrode négative, l'anode, constituée de lithium métallique et d'une électrode positive, la cathode2 souvent réalisée en carbone méso poreux, qui ne participe pas à la réaction mais permet une plus grande surface de réaction, ainsi que la conduction électrique nécessaire au fonctionnement de la pile. Il existe différentes réalisations possibles de l'électrolyte [3].

Lors de la décharge de la batterie, un atome de lithium cède un électron au circuit électrique et devient un ion lithium positif  $\text{Li}^+$ , selon la demi-équation :

$\text{Li} \rightarrow \text{Li}^+ + \text{e}^-$ . Cet ion traverse l'électrolyte, puis arrivé sur l'électrode positive, il réagit avec l'oxygène (sous forme de dioxygène gazeux) en captant un électron pour former  $\text{Li}_2\text{O}_2$ , selon la demi-équation:



Lors de la charge, c'est la réaction inverse qui se produit. Le  $\text{Li}_2\text{O}_2$  cède deux électrons, et produit de l'oxygène et deux ions lithium positif  $\text{Li}^+$ , selon la demi-équation :

$\text{Li}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{Li}^+ + 2\text{e}^-$ . Les ions lithium ainsi produits traversent l'électrolyte, et réagissent sur l'électrode négative pour former du lithium métallique en captant un électron.

La réaction globale de charge et décharge est donc  $\text{Li}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Li} + \text{O}_2$

Référence :

[1] Thèse , université de Grenoble, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01282370/document>

[2] SOCIETE FRANCAISE DE CHIMIE , <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/333996>

[3] Université Sultan Moulay Slimane, <http://estfbs.usms.ac.ma/wp-content/uploads/2020/03/Conductivité-des-électrolytes-potentiométrie.pdf>

## Problématique retenue

quel est l'intérêt de construire des batteries lithium air?comment fonctionne-t-elle?

## Objectifs du TIPE

l'objectif de ce TIPE s'est dévoilé aspect expérimentale de ces batteries et on précisera le raison de choisir l'électrolyte non-aqueux pour les batteries lithium-air et on va étudier le fonctionnement de la cathode a air afin de mieux comprendre le fonctionnement

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] K.M. ABRAHAM, Z. JIANG : A Polymer Electrolyte-Based Rechargeable Lithium/Oxygen Battery : *J. Electrochem. Soc.* 143 (1996) 1–5

[2] K. BRANDT : Historical development of secondary lithium batteries : *Solid State Ionics.* 69 (1994) 173–183

[3] E. BARSOUKOV, J.R. MACDONALD : Impedance spectroscopy: theory, experiment, and applications : *Interfacial Electrochem.* 140 (1982) 237–245

[4] E. BARSOUKOV, J.H. KIM, J.H. KIM, C.O. YOON, H. LEE : Kinetics of lithium intercalation into carbon anodes: in situ impedance investigation of thickness and potential dependence : *Solid State Ionics.* 116 (1999) 249–261

[5] S.-I. PYUN, J.-S. BAE : The ac impedance study of electrochemical lithium intercalation into porous vanadium oxide electrode : *Electrochimica Acta.* 41 (1996) 919–925

## DOT

[1] techniques expérimentales

[2] choix de l'électrolyte non-aqueux pour batteries lithium-air

[3] étude de la cathode a air



## Propagation des tsunamis sur les côtes

La localisation de certaines villes ou de certaines régions rend l'impact des catastrophes naturelles plus dévastateur. Nous nous intéressons ici à l'impact des Tsunamis sur la région de Montpellier située en France et ayant une altitude de 0 m au-dessus du niveau de la mer.

Un tsunami peut être destructeur donc la mise en équation de sa propagation permet de comprendre les paramètres associés à son mouvement. Cela permet alors de prévoir la date et l'amplitude d'arrivée et donc de diminuer les pertes qu'il peut créer et de ce fait maintenir la sécurité des citoyens.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Navier-Stocks</i>	<i>Navier-Stocks</i>
<i>tsunami</i>	<i>tsunami</i>
<i>onde</i>	<i>wave</i>
<i>Résolutions numérique</i>	<i>Numerical method</i>

### Bibliographie commentée

Les tsunamis représentent un phénomène naturel très destructeur notamment pour les pays ayant des infrastructures peu développées ou des localisations géographiques désavantageuses. Mais ces risques peuvent être minimisés notamment en étudiant la propagation du tsunami[1][4].

Un tsunami est une onde, généralement une onde solitaire caractérisée par une grande période comprise entre quelques minutes et plus d'une heure et d'une énergie mécanique importante. Ces causes peuvent être multiples : issue de séisme ou d'explosion sous-marine. Cette onde se propage dans un fluide et sans déplacement de matière et obéit donc à l'équation de Navier et Stokes démontrée en 1895. On peut réaliser l'approximation de l'eau peu profonde (shallow water) pour obtenir à partir de l'équation de Navier et stokes des équations mettant en relation l'amplitude de la vague, la pression et la vitesse d'un tsunami. Ces équations différentielles mettent en évidence la variation de certaines caractéristiques fondamentale. Vu la complexité de l'équation différentielle une résolution de cas particulier sur les différents paramètres et une résolution numérique est essentiel[2][1].

Un tsunami peut être modélisé à l'aide d'une cuve qui a une largeur petite par rapport à sa longueur. Cette cuve doit être suffisamment résistante pour supporter la pression de l'eau exercée sur ces parois. Une relation issue des équations de Timoshenko met en relation l'épaisseur de la

cuve en verre et la pression exercée sur les parois ce qui permet d'identifier une valeur minimale de l'épaisseur[3][1].

Il est possible alors de reproduire les comportements similaires à une petite échelle pour pouvoir les quantifier et les visualiser. En effet une étude expérimentale permet de vérifier une relation entre la hauteur et la vitesse et les différents paramètres sur le déferlement notamment sur l'angle d'arrivée[2].

La propagation des vagues se termine par un déferlement des vagues qui dépend de l'angle et de la hauteur d'arrivée mise en évidence grâce aux équations de Korteweg-de Vries et qui peuvent être vérifiées à l'aide de l'expérience. Mais le déferlement peut être détecté à l'aide de système Buoy et l'étude des couches sismiques[2][1].

## **Problématique retenue**

La propagation est régie par une équation issue de l'équation de Navier Stokes, il est nécessaire de comprendre les paramètres mis en œuvre dans l'équation.

L'enjeu est d'étudier la propagation de l'onde et d'établir une modélisation expérimentale du mouvement et de mettre en avant les différents paramètres mis en jeu.

## **Objectifs du TIPE**

1-Caractériser le mouvement d'un tsunami à travers l'équation issue de Navier-Stokes et mettre en évidence les paramètres qui régissent l'équation. Ensuite proposer une résolution numérique.

2-Etude expérimentale en utilisant une cuve et vérification des relations obtenues : Notamment la relation entre la hauteur et la célérité de l'onde et l'amplitude et l'angle d'arrivée

3-Etude du déferlement sur Montpellier à partir de l'angle et l'amplitude d'arrivée

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

[1] CHRISTOPHE BROUZET, PACO MAURER, VINCENT DE ZOTTI : Fabriquons des tsunamis ! :

<https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/CSP-tsunami.xml#tsunami>

[2] BAHIA BENMBAREK, AYOUB HOUKMI, ENZO D'AMBROSIO : Simulation de Tsunami en laboratoire : Université de Nice Sophia Antipolis Projet Tuteuré de Licence de Physique

[3] ETIENNE MEERT, ANDRÉ PIEN, : LE VERRE ET LA PRESSION DE L'EAU : *CSTC Revue n° 1994/2 p11*

[4] P. LOGONNÉ : Tsunami : Origine, Physique et Observations : *Institut de physique du globe de paris Institut Universitaire De France*

## **DOT**

[1] *Début septembre : ma première volonté était d'étudier l'impact du réchauffement climatique*

*sur la montée des eaux.*

**[2]** *Début décembre : après la discussion avec mon professeur encadrant j'ai voulu créer un scénario issu du réchauffement climatique. Le scénario consistait à la chute d'une grosse calotte glaciaire dans la mer méditerranéenne qui engendrerait un tsunami après. Ensuite mon étude visait à étudier la propagation du tsunami.*

**[3]** *Fin décembre : Après l'étude de différente source je me suis rendu compte que le contenu était très long et que la partie la plus intéressante était la propagation du tsunami. Alors j'ai décidé de me concentrer sur l'impact des tsunamis sur des régions sensible tel que Montpellier.*

**[4]** *Janvier : je me suis concentré sur les équations régissant la propagation du tsunami qui sont issue de Navier et Stocks. Je choisis la résolution numérique vu la complexité de l'équation et de réaliser une expérience pour mettre en évidence les paramètres.*

**[5]** *février : réalisation de la cuve et de l'expérience : cette partie était la plus délicate. Car j'ai mis beaucoup de temps pour trouver un artisan capable de réaliser cette cuve. La réalisation des expériences était aussi difficile car je manquais d'outil pour réaliser l'inclinaison et les mesures.*

## Optimisation de l'étude de mise en place d'une éolienne

Afin d'assurer une transition énergétique durable, le producteur d'électricité en Tunisie mise sur l'exploitation du potentiel éolien. Originaire d'une ville côtière, j'ai décidé de me pencher sur les éoliennes pour étudier cette source amie de l'environnement.

Les éoliennes constituent un milieu solide qui peuvent entrer en résonance sous l'effet de l'interaction aérodynamique. Ce qui induit une rupture structurelle qui peut arrêter le processus de production de l'électricité ce qui affecte énormément la rentabilité de l'investissement éolien et qui présente un risque pour la sécurité des gens.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

#### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>éolienne</i>	<i>wind turbine</i>
<i>fréquence propre</i>	<i>natural frequency</i>
<i>vitesse du vent</i>	<i>wind speed</i>
<i>distribution de Rayleigh</i>	<i>Rayleigh distribution</i>
<i>puissance</i>	<i>power</i>

### Bibliographie commentée

Le besoin en énergie croît de plus en plus jusqu'à ce qu'elle a demeuré essentielle. Une énergie renouvelable est une source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement de telle sorte qu'elle ne s'épuise pas. Elles sont généralement issues des phénomènes naturels réguliers. Les sources de ce type d'énergie sont principalement les astres comme le soleil, la lune et la terre.... Ces énergies permettent de produire la chaleur, l'électricité ... Ce caractère renouvelable dépend non seulement de la vitesse à laquelle elle se régénère mais aussi de la vitesse elle se consomme. On s'intéresse ici à la production de l'électricité à travers les éoliennes. En effet, une éolienne est une machine qui transforme l'énergie cinétique du vent, qui provient des courants d'air qui circulent dans l'atmosphère sous l'effet de la température, en énergie mécanique ou électrique. Les éoliennes atteignent leur puissance maximale pour une vitesse de vent dite vitesse optimale qui est caractéristique de chaque turbine (14m/s) [1]. Si le vent devient plus violent, la machine subit des contraintes plus importantes. Elle est alors freinée grâce à un système de régulation électronique qui lui permet de rester à la puissance maximale atteinte dès la vitesse optimale. Au-delà de (20m/s), cette régulation ne suffit plus. L'éolienne est alors stoppée afin d'éviter de subir les charges trop importantes sous peur qu'elle ne les supporte pas [2]. Le principal avantage de cette énergie renouvelable est qu'elle est propre. Lors de son exploitation, elle n'entraîne aucun rejet ou déchet. Mais le grand inconvénient de cette source d'énergie est son inconstance. En effet, le vent ne souffle pas quand on a besoin. La structure même de l'éolienne présente des formes élancées (mât, pâles) propices à un comportement vibratoire riche en basses fréquences [5]. Le risque de résonance est



donc réel et doit être pris en compte dès la phase d'avant-projet [3]. Ce phénomène de résonance correspond à un transfert maximal d'énergie de telle sorte que les pales de l'éolienne se cassent [4]. Si on arrive à cette étape on perd cette source et ses énormes avantages à l'humanité.

## Problématique retenue

Les tempêtes de décembre 1999 (Lothar) ont permis de démontrer la résistance des pales des éoliennes à des conditions extrêmes. Quel est le risque de la rupture des pales d'une éolienne ? Et comment faciliter l'étude préliminaire de mise en place d'une éolienne pour éviter ce genre de problème ?

## Objectifs du TIPE

- trouver une équation différentielle permettant d'étudier les modes propres.
- Implémentation d'un code python pour résoudre cette équation.
- exploitation d'une méthodologie plus simple pour faire l'étude d'un site .
- Etude de l'efficacité de cette méthode.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] WIKI ÉOLIENNE : Etude théorique : [https://eolienne.f4jr.org/eolienne\\_etude\\_theorique](https://eolienne.f4jr.org/eolienne_etude_theorique)
- [2] JEAN-LUC MENET : Méthodologie SWEPT : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00957700>
- [3] CORDIS : Article : <https://cordis.europa.eu/article/id/191095-reduced-wind-vibration-in-bridges-and-turbine-blades/fr>
- [4] JEAN-CLAUDE PASCAL : Etude des ondes vibratoires : [http://perso.univlemans.fr/~jcpascal/Cours/ENSIM2A\\_Vibrations&Acoustique\\_2.pdf](http://perso.univlemans.fr/~jcpascal/Cours/ENSIM2A_Vibrations&Acoustique_2.pdf)
- [5] SCOTT WHITNEY : équation de flexion d'une poutre : <http://emweb.unl.edu/Mechanics-Pages/Scott-Whitney/325hweb/Beams.htm>

## DOT

- [1] *Choix du sujet .*
- [2] *Chercher une équation différentielle pour étudier les modes propres .*
- [3] *Implémentation d'un code python pour résoudre cette équation différentielle .*
- [4] *Chercher une méthode pour faire l'étude préliminaire d'un site.*

## Détermination du niveau des océans par satellites

Les catastrophes marines ont causé des pertes humaines et matérielles massives. C'est pour cette raison que j'ai trouvé ce sujet intéressant pour mieux comprendre le mouvement océanique et prendre les précautions nécessaires.

Mon sujet s'inscrit dans le thème de cette année : « Enjeux sociétaux – sécurité ». le principe de fonctionnement de ce satellite est nécessairement basé sur l'interaction de l'onde émise avec la surface de la mer.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>propagation de l'onde</i>	<i>wave propagation</i>
<i>modélisation</i>	<i>modelling</i>
<i>orbite</i>	<i>orbit</i>
<i>Altimétrie satellitaire</i>	<i>Satellite altimetry</i>
<i>Paquet d'onde</i>	<i>Wave packet</i>

### Bibliographie commentée

Le Tsunamis de 2004 dans l'océan Indien a causé plus de 184 168 morts et plus de 250000 disparus répartis sur plusieurs pays dont L'Indonésie, Sri-lanka, l'Inde et la Thaïlande qui ont été les plus touchés [1]. Cette catastrophe gigantesque est considérée comme étant une catastrophe mondiale. C'est pour cette raison que la détection des tsunamis est devenu un souci pour plusieurs pays. En effet, le NASA (National Aeronautics and Space Administration) et le CNES(Centre national d'études spatiales) ont lancé une série des satellites d'altimétrie satellitaire dès 2001 dont le but est de mesurer le niveau de la mer [2]. En 2016, ils ont placé en orbite le satellite Jason3 pour avoir des mesures exactes et plus précises[3]. Ce satellite fonctionne avec la technique d'altimétrie spatiale qui est basée sur la mesure de la hauteur instantanée de la mer à l'aide d'un radar embarqué sur le satellite. L'onde(onde à environ 13 GHz) radar émise par le satellite se réfléchit sur la surface de la mer et est renvoyée à bord. Le satellite mesure alors le temps aller-retour et analyse la forme d'onde reçue, permettant respectivement de déterminer la distance entre le satellite et la surface de la mer ainsi que la rugosité de la surface, qui peut être reliée à la hauteur des vagues. L'altitude de la surface de la mer est ensuite déduite de la différence: altitude du satellite - distance mesurée[4]

### Problématique retenue

Les vagues d'un tsunami peuvent être d'une hauteur de 60 mètres ou plus, soit la hauteur d'un bâtiment de dix étages . Comment peut-on alors détecter les variations brusques du niveau de la mer pour déclencher une alerte ?

## Objectifs du TIPE

Modélisation:

- La trajectoire du satellite
- Propagation de l'onde dans l'ionosphère
- Pénétration de l'onde électromagnétique dans l'eau
- Interaction entre l'onde et la surface de la mer

Simulation numérique:

j'utiliserai le langage de programmation Python pour:

- Visualiser les modèles physiques trouvés pendant l'étape de modélisation

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] WIKIPEDIA : Séisme et tsunami de 2004 dans l'océan Indien :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9isme\\_et\\_tsunami\\_de\\_2004\\_dans\\_l%27oc%C3%A9an\\_Indien](https://fr.wikipedia.org/wiki/S%C3%A9isme_et_tsunami_de_2004_dans_l%27oc%C3%A9an_Indien)

[2] CNES : JASON 3 : <https://jason-3.cnes.fr/fr/JASON3/Fr/index.htm>

[3] JPL : Jason-3 : <https://www.jpl.nasa.gov/missions/jason-3>

[4] FUTURA PLANÈTE : Principe de l'altimétrie satellitaire : <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/oceanographie-mesure-variations-niveau-oceans-1180/page/4/>

## DOT

[1] *Début Septembre, discussion avec Mme Diana Alsindy (une ingénieure à Virgin Orbit )*

[2] *Octobre, faire l'étude mécanique et visualisation avec Python*

[3] *Décembre, écrire mon MCOT*

[4] *Février, faire l'étude de la propagation de l'onde dans l'ionosphère et la réflexion du paquet d'onde sur la surface de la mer et visualisation avec Python*

## Modélisation de la propagation d'une épidémie: COVID-19

La pandémie du COVID-19 a changé toutes nos vies. Elle a pris la vie de beaucoup de proches et nous a forcé à vivre dans la peur constante. J'ai donc décidé de me pencher sur ce sujet afin de mieux la comprendre.

Mon sujet est en adéquation avec le thème de l'année comme je me propose d'étudier un phénomène qui pose un vrai danger sur la santé des individus.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHÉMATIQUES (Analyse), INFORMATIQUE (Informatique Théorique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Épidémie</i>	<i>Epidemic</i>
<i>Pandémie</i>	<i>Pandemic</i>
<i>Infécté</i>	<i>Infected</i>
<i>Susceptible</i>	<i>Susceptible</i>
<i>Transmission</i>	<i>Transmission</i>

### Bibliographie commentée

La pandémie du COVID-19 est la crise globale de notre époque. Elle n'a pas seulement causé des millions de décès mais a aussi un impact dévastateur sur l'économie, la politique et notre vie sociale. Le virus responsable, appelé COVID-19 ou SARS-CoV-2, est un nouveau type de coronavirus qui a été identifié pour la première fois dans la ville de Wuhan en Chine. Ce virus est très contagieux et présente un taux de mortalité important. En effet, en 20 février 2021, les nombres des cas et des morts totales ont dépassé respectivement 110.9 millions et 2.4 millions. Beaucoup de mesures sanitaires peuvent faire face à la propagation de ce virus comme le port des masques et la distanciation sociale mais aussi des décisions gouvernementales comme les confinements totaux. Ces décisions sont prises suites à beaucoup d'études scientifiques basées sur des modèles dont le but est de prédire le comportement de l'épidémie. C'est l'objectif de l'épidémiologie[1]: une discipline scientifique qui s'intéresse aux épidémies, leurs fréquences, leurs distributions dans le temps et dans l'espace et les différents facteurs agissant sur leurs propagations.

Beaucoup de modèles sont proposés pour comprendre le comportement d'une épidémie. Les modèles compartimentaux sont un premier type de modèles. Ils divisent la population en différents états possibles par rapport à la maladie. Le modèle fondateur de ce type a été proposé par William Ogilvy Kermack et Anderson Gray McKendrick et appelé modèle SIR[2]. Ce modèle divise la population en 3 catégories : Les susceptibles de contracter la maladie S, Les infectieux I et les retirés R qui sont les personnes guéris ou décédés. Les populations de différentes catégories sont reliées à l'aide des deux constantes du taux de transmission et de guérison pour former un système de 3 équations différentielles non linéaires. Ce système peut être résolu analytiquement dans

quelques cas particuliers mais dans la plupart des cas il est résolu numériquement avec des schémas numériques comme Euler explicite , Euler implicite ou Runge-Kutta du 4ème ordre.

Toutefois, ce modèle est simpliste et produit des résultats loin de la réalité. Les épidémiologistes ont essayé plusieurs fois d'améliorer ce modèle d'où la création de plusieurs modèles qui sont des extensions du modèle SIR comme le modèle SIIR qui tient compte de deux stages d'infection[3], le modèle SEIR[4] qui tient compte des individus exposés au virus, le modèle SEIRS qui inclut beaucoup plus de variables et d'autres qui peuvent tenir compte de l'effet de vaccination, confinement et plein d'autres facteurs .Tous ces modèles sont déterministes mais les épidémiologistes peuvent aussi faire recours à des approches stochastiques. On peut aussi utiliser des notions de la théorie de percolation pour modéliser la propagation du virus[5].

## Problématique retenue

Est-il possible de prévoir le comportement d'une épidémie en utilisant des modèles mathématiques ?

## Objectifs du TIPE

-Modélisation de l'épidémie à l'aide du modèle SIR

-Modélisation de l'épidémie à l'aide d'un graphe de percolation

-Comparaison entre les deux modèles et avec des données réelles de la pandémie du COVID-19

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] WIKIPEDIA : Épidémiologie :

<https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89pid%C3%A9miologie#:~:text=L'%C3%A9pid%C3%A9miologie%20est%20une%20discipline,et%20les%20maladies%20de%20populations>.

[2] HELENA SOFIA RODRIGUES : Application of SIR epidemiological model: new trends :

<https://core.ac.uk/download/pdf/78556409.pdf>

[3] MASAKI TOMOCHI : A mathematical model for COVID-19 pandemic—SIIR model: Effects of asymptomatic individuals : <https://doi.org/10.1002/jgf2.382>

[4] IDMOD : SEIR and SEIRS models : <https://docs.idmod.org/projects/emod-hiv/en/latest/model-seir.html>

[5] FABRIZIO CROCCOLO, H. EDUARDO ROMAN : Spreading of infections on random graphs: A percolation-type model for COVID-19 : <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110077>

## DOT

[1] *Septembre 2020 , j'ai pensé à travailler soit sur la propagation d'une épidémie ou la cryptographie*

[2] *Janvier 2021, j'ai lu quelques références scientifiques sur les deux sujets et j'ai décidé de choisir le sujet de l'épidémie*

- [3] *Février 2021, j'ai décidé d'utiliser le modèle SIR et un modèle basé sur la théorie de percolation*
- [4] *Mars 2020, j'ai commencé à écrire des codes Python pour mes modèles*
- [5] *Mai 2021, j'ai pensé à utiliser pandémie au bord du navire de croisière Diamond Princess comme exemple pour mon étude*

## TITRE : L'inégalité de développement régional en Tunisie

Les inégalités spatiales entre les gouvernorats et en particulier entre les départements en Tunisie ont constitué un élément déclencheur de la révolution de Janvier 2011, ce qui m'a incité à me pencher sur le sujet afin de mieux saisir le profil des inégalités en Tunisie.

Mon étude s'inscrit dans le thème de cette année puisque je m'intéresse aux multiples facteurs des inégalités, à l'environnement socioéconomique en Tunisie afin de réaliser une analyse exploratoire et descriptive de la situation et nous savons que toute tentative d'amélioration doit être précédée par un diagnostic.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Inégalité</i>	<i>Inequality</i>
<i>analyse de données</i>	<i>data analysis</i>
<i>k_moyennes</i>	<i>kmeans</i>
<i>analyse en composantes principales</i>	<i>principal component analysis</i>
<i>Optimisation</i>	<i> sous constrained optimization</i>
<i>contrainte</i>	

### Bibliographie commentée

La révolution de Janvier 2014 qu'a vécu la Tunisie a accentué les inégalités régionales entre les délégations Tunisiennes. Plusieurs articles et études ont été publiés sur le sujet, ce qui a attiré mon attention. La situation en Tunisie reste très délicate. En effet même si d'importants progrès ont été réalisés sur le plan politique, l'économie n'a pas suivi cette amélioration.

Un rapport [1°] a été publié en 2020 sur le site de l'INS ('Institut national de la statistique'). Il a été élaboré par l'INS en collaboration avec la banque mondiale et il détaille la carte de la pauvreté en Tunisie. Inspirée de ce rapport, j'ai collecté des données provenant du recensement général de la population et de l'habitat de 2014 en Tunisie pour les étudier et en faire l'analyse.

L'analyse de données ou analyse exploratoire des données permet de traiter un nombre très important de données et d'en dégager les aspects les plus intéressants. Une base de données comme celle étudiée dans ce projet présente une base d'individus ayant une grande dimension ne facilitant pas la compréhension. On applique alors des méthodes comme l'analyse en composantes principales nous permettant de projeter l'espace des individus à un espace plus réduit en perdant un minimum d'informations et en gagnant en utilité et en lisibilité. [2°] L'analyse en composante principale a été expliquée dans un cours intitulé 'Analyse en composantes principales' dans lequel on explique comment à partir de N individus caractérisés par p variables, on peut visualiser un nuage de points

dans une dimension plus faible. Ceci permet de réduire le nombre d'axes de  $p$  à deux ou trois axes principaux avec une minimisation de l'erreur et par suite de connaître ce qui caractérise chaque délégation.

La démonstration mathématique de l'analyse se base sur la minimisation de l'erreur commise donc la minimisation de la perte d'informations. Une minimisation sous contrainte me contraint à utiliser le "théorème des extrema liés " qui sera admis dans cet étude.

L'application de l'analyse en composantes principales se résume alors en une recherche des valeurs et vecteurs propres de la matrice de corrélation et de faire la projection des individus suivant les axes principaux.

La méthode de puissance et celle de puissance itérée permettent à partir de la matrice de la base de données d'accéder aux nouveaux axes de représentation appelés axes principaux. Ces méthodes ont été expliquées [3°] dans le cours proposé à Polytech Paris, où on explique comment construire une suite qui converge vers le premier axe principal. Ensuite, on choisit une nouvelle matrice qui nous permet d'accéder au deuxième axe.

Ayant obtenu les axes principaux, j'ai opté pour un partitionnement du nuage des individus. La méthode  $k\_means$  ( $k\_moyennes$ ) est un algorithme de partitionnement des données. [4°] Ce cours, proposé par Ricco Rakotomalala à l'université Lumière Lyon 2, explique comment à partir de  $N$  individus, qui dans notre cas sont des délégations Tunisiennes, on peut les diviser en  $k$  groupes appelés 'cluster'. Le nombre de groupe est déterminé à partir de la méthode du coude. Cette méthode consiste à tracer la somme des distances au carré des centres de gravité assignés pour chaque nombre de groupe et de choisir le nombre de clusters comme étant le nombre d'axes qui coïncide avec le coude de la courbe.

## **Problématique retenue**

Quels sont les facteurs qui influent sur les inégalités entre les régions en Tunisie ?

Comment peut-on analyser le profil des délégations tunisiennes à partir des caractéristiques démographiques économiques et sociales ?

Comment peut-on partitionner les délégations ?

## **Objectifs du TIPE**

Je souhaite concevoir un algorithme en langage python basé sur des démonstrations mathématiques, qui me permet de réaliser une analyse en composantes principales d'une base de données décrivant les délégations tunisiennes afin de comprendre les inégalités entre les régions en Tunisie. Je me propose ainsi de faire une représentation de ces délégations dans un espace à deux dimensions pour faciliter la lecture. Enfin, je voudrais écrire un programme python afin de partitionner ces individus en des groupes homogènes présentant les mêmes caractéristiques.



## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] INS , BANQUE MONDIALE : ‘‘Carte de la pauvreté en Tunisie ‘ : <http://ins.tn/publication/carte-de-la-pauvrete-en-tunisie-septembre-2020>
- [2] FRANÇOIS HUSSON : ‘Analyse en composantes principales’ : *Laboratoire de mathématiques appliquées - Agrocampus Rennes consulté en Octobre 2020*
- [3] POLYTECH’PARIS-UPMC : ‘Méthode de la puissance itérée’ : <https://www-pequan.lip6.fr/~jmc/polycopies/cours5-puissanceiteree.pdf>
- [4] RICCO RAKOTOMALALA : ‘méthode des centres mobiles’ : *Université Lumière Lyon 2*
- [5] ALAIN BACCINI : ‘statistique descriptive multidimensionnelle’ : *institut de mathématiques de Toulouse mai 2020,consulté en Juin 2021*

## DOT

- [1] *Juin 2020 : Discussion avec mon professeur de physique pour savoir comment étudier les inégalités en Tunisie.*
- [2] *Septembre-octobre 2020 : Recherche d’une base de données sur le site de l’INS (institut national de la statistique) et modification de cette base.*
- [3] *Novembre –décembre 2020 : J’ai assisté aux cours sur l’analyse en composante principale et je me suis documenté sur internet sur la démonstration mathématique.*
- [4] *Janvier-février 2021 : Documentation sur internet sur les manières d’implémenter l’ACP et  $k\_means$  sur python.*
- [5] *Mai 2021 : Implémentation sur python des algorithmes de la méthode des puissances et puissances itérées et de  $k\_means$*
- [6] *Début juin 2021 : Interprétation et analyse des résultats de l’ACP et de  $k\_means$  et production des courbes ( nuage d’individus et autres).*

## L'ensablement des zones urbaines et agricoles.

Un proche possédant une ferme au sud tunisien évoquait souvent le risque d'ensablement de sa ferme, étant à proximité d'une zone désertique, et de la dégradation de la fertilité de ses terres qui amènerait la perte de sa ferme. Touché par sa préoccupation, j'ai décidé d'étudier le phénomène d'ensablement.

L'ensablement est un sujet de préoccupation mondial. Ce phénomène engloutit les terres, qu'elles soient urbaines ou agricoles, ce qui induit des pertes à l'état et participe à son appauvrissement. Par conséquent, ce dernier présente un enjeu sociétal. Mon sujet est 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>Érosion éolienne</i>	<i>Aeolian erosion</i>
<i>Rides désertiques</i>	<i>Desertic ripples</i>
<i>Saltation</i>	<i>Saltation</i>
<i>Reptation</i>	<i>Creep</i>
<i>Sable</i>	<i>Sand</i>

### Bibliographie commentée

L'ensablement constitue un vrai danger pour les terres agricoles et urbaines des pays à régions désertique et aride, en effet c'est l'un des facteurs majeurs qui cause la sécheresse et l'aridité des sols, en agissant principalement sur la fertilisation des sols [1]. L'ensablement participe à l'élaboration d'un phénomène plus général qu'est la désertification des terres [1]. On observe ceci notamment en Mauritanie [1] et en Tunisie [2].

Les sols désertiques ont un profil granulaire. Plus précisément, le sol désertique est constitué de particules (grains de sable de l'ordre de centaine de micromètre pour les plus grands grains [3]). Ces particules n'étant pas en interaction entre eux, ils sont susceptibles de quitter leurs nids pour être transportés ailleurs.

L'action du vent sur le sol (érosion éolienne) est un facteur majeur de l'ensablement. Le vent agit sur ces particules et les transporte ailleurs. En effet, on retrouve trois modes de transports de grains de sable ; La reptation, la saltation et la suspension [4]. La saltation, c'est-à-dire le saut de grain par l'effet des forces du vent (force de trainée et force de portance) et la pesanteur [5], est le phénomène le plus important dans le processus d'érosion éolienne. En effet la suspension, poussière (grains de tailles négligeable) emporté par le vent, et la reptation, roulement des gros grains, ne se déclenchent qu'après une collision avec un autre grains ayant une énergie importante. Ces derniers

sont les grains en saltation retombant sur le sol. [4]

On peut légitimement étudier le mouvement d'un grain de sable en saltation par le principe fondamental de la dynamique, notamment en considérant les forces exercées sur un grain pendant son envol [5]. Cette étude nous permettra de conclure quant à la contribution ou non contribution du seul mouvement de saltation sur l'avancée du désert. Pour des raisons de simplification, on considérera un écoulement horizontal du vent de vitesse constante en altitude, un profil de lit plan et sans rugosité et des grains de sable sphériques similaires en taille (diamètre 400 micro-mètre) [5] et en masse volumique (1500 kg par mètre au cube).

Les observations montrent que le vent ne peut pas emporter tous le sable à sa disposition. Ralph A. Bagnold, géologue s'intéressant aux milieux désertiques, propose une interprétation à ses observations notamment en liant la vitesse du vent à une saturation du flux massique du sable. Cette saturation s'explique du fait que la puissance du vent n'est pas infinie. [6]

Robert S. Anderson, géomorphologue s'intéressant à la morphologie des déserts, complémentera les études de Bagnold afin d'expliquer la formation de rides dans le désert [7]. En introduisant un flux de reptation en plus de celui de la saltation, et en considérant un flux en saltation saturé nous pouvons étudier les fluctuations en hauteur du profil du sol désertique.

En simplifiant le modèle d'Anderson [5], notamment en considérant les mêmes hypothèses émises précédemment, l'étude des fluctuations en hauteur du profil désertique introduit une longueur caractéristique (longueur de reptation) qui correspond à la distance parcourue par les grains lors de la reptation. En considérant cette longueur constante et la même pour tous les grains, les fluctuations de la hauteur en fonction du temps seraient en croissance et les hauteurs divergeront ce qui est physiquement impossible [5]. Anderson introduit donc une distribution des longueurs de reptation par une loi probabiliste (induite par la loi de 'splash' [5]), éliminant le problème de divergence. On remarquera donc qu'il existe une longueur spécifique de l'espacement des rides désertique qui correspond à une fluctuation importante des hauteurs dans le lit de sable.

## **Problématique retenue**

Pour lutter contre l'avancée du sable et ainsi réduire le risque d'ensablement, la capacité de prédiction de son mouvement est indispensable.

Ainsi, on pourrait se demander; Comment peut-on modéliser le déplacement du sable pour prévoir son avancée vers les zones urbaines et agricoles?

## **Objectifs du TIPE**

- Modélisation : Je tenterai de modéliser de la manière la plus réaliste possible le transport du sable en zone désertique.

- Résolution : Je tenterai de résoudre des équations provenant des modèles suivi de la manière la plus juste et ce de manière numérique en utilisant Python et analytique.

- Confrontation des résultats : J'essaierai de confronter les résultats issu de la résolution des différents modèles afin d'en trouver des éléments de réponses à ma problématiques.
- Expérience : J'effectuerai une illustration expérimentale

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] CHARLES JACQUES BERTE : Lutte contre l'ensablement, l'exemple de la Mauritanie : <http://www.fao.org/3/i1488f/i1488f.pdf> (Consulté en aout 2020)
- [2] MERIEM KHADRAOUI : Ensablement au sud: quand la nature se révolte contre les abus de l'homme! : Article sur la Tunisie de Babnet ; <https://www.babnet.net/cadredetail-98474.asp> (Consulté en juin 2020)
- [3] PIERRE BÉDARD : Clef d'identification visuelle des grains de sable : Cours à Polytechnique Montréal : [https://cours.polymtl.ca/PBedard/glq1100/Sables/identification\\_sable.html](https://cours.polymtl.ca/PBedard/glq1100/Sables/identification_sable.html) (Consulté en Décembre 2021)
- [4] ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE : Manuel de fixation des dunes : CAHIER FAO CONSERVATION 18 : <http://www.fao.org/3/t0492f/t0492f00.htm#Contents> (Consulté en Décembre 2020)
- [5] FRANÇOIS RIOUAL : Etude de quelques aspects du transport éolien des matériaux granulaires: Processus de saltation et formation des rides. : Thèse présentée devant l'université de Rennes 1 : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00199032/document> (Consulté en Janvier 2021)
- [6] ALEXANDRE VALANCE, KELD RØMER RASMUSSEN, AHMED OULD EL MOCTAR, PASCAL DUPONT : The physics of Aeolian sand transport : Comptes Rendus Physique, Centre Mersenne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01115982/document> (Consulté en Janvier 2021)
- [7] HEZI YIZHAQ, NEIL J. BALMFORTH, ANTONELLO PROVENZALE : Blown by wind: nonlinear dynamics of aeolian sand ripples : Revue scientifique : <https://secure.math.ubc.ca/~njb/Research/ripples.pdf> (Consulté Février 2020)

## DOT

- [1] Juin 2020: Choix du sujet
- [2] Juillet 2020: Visite au centre des zones arides à Médenine en Tunisie pour discuter de l'impact de l'ensablement sur les populations
- [3] Aout 2020: Début des recherches bibliographiques
- [4] Décembre 2020: Fixation des idées et de la ligne directrice du TIPE
- [5] Janvier 2021: Recherche plus approfondie sur les modèles à traiter après la lecture de la thèse de Monsieur RIOUAL
- [6] Mars 2021 : Traitement des informations et choix des modèles à traiter
- [7] Mars, Avril, Mai 2021 : Création de la présentation, des illustrations et figures et de la bibliographie commentée
- [8] Juin 2021 : Vérification et fin du TIPE



## Aide Aux Personnes Fragiles

Plus jeune, mon grand-père de son vivant a rencontré plusieurs difficultés à effectuer les placements les plus basiques du à son âge avancé. Je me suis toujours interrogé comment je pourrai faciliter son quotidien et le rendre de nouveau indépendant, c'est pourquoi j'ai choisi « L'aide aux personnes fragiles ».

Ce sujet entre dans le thème de cette année, Enjeux Sociétaux, de par le fait que les personnes fragiles font partie de la société et leur bien-être est notre priorité.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*SCIENCES INDUSTRIELLES (Génie Mécanique), PHYSIQUE (Physique Théorique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Robuwalker</i>	<i>Robuwalker</i>
<i>Personnes fragiles</i>	<i>Fragile people</i>
<i>Canne Robotisée</i>	<i>Robotic Cane</i>
<i>Cycle de marche</i>	<i>Walking cycle</i>
<i>Personnes âgées</i>	<i>The elderly</i>

### Bibliographie commentée

Le terme intelligence artificielle, peut faire peur à plus d'un car on tend à penser à une technologie intrusive qui va substituer le naturel. Mais les objets connectés possédant une intelligence artificielle sont conçus pour respecter la vie privée des utilisateurs. **[1]** Depuis quelques années, ces différents objets connectés se sont introduit dans notre quotidien afin d'effectuer les tâches que nous jugeons pénibles. **[2]** Dû au vieillissement de plus en plus croissant de la population, de multiples projets d'assistances physiques pour les personnes âgées ont vu le jour mais cela pose encore quelques problèmes techniques **[3]**

Tous ces objets connectés présentent des avancées mais celle d'assistance pour les personnes âgées coûtent encore trop chère et paraît donc assez inaccessible à la plupart des retraités. Mais leur cout élevé n'est pas le seul problème qui y est rencontré, vu que leurs principaux utilisateurs sont un public pas du tout à l'aise avec la technologie, des questions de maintenance se posent. **[4]** Nous posons la question du potentiel de ces innovations face au vieillissement massif de la population. Comment facilitent-elles le quotidien des personnes âgées et de ses aidants. **[5]**

L'utilisation des robots est avantageuse sur de nombreux points et dont les avantages diffèrent suivant le type de robot utilisé dû aux différentes programmations de chaque robot enfin d'exercer des tâches spécifiques **[6]**

### Problématique retenue

Les robots d'assistance pour les personnes âgées sont-ils vraiment sans dangers pour les utilisateurs ? En cas de panne, qui s'en portent garant ?

## Objectifs du TIPE

- 1- Déterminer analytiquement la quantité électrique pour faire fonctionner le robuwalker
- 2- Déterminer le torseur statique entre une canne et son utilisateur
- 3- Détermination des différents problèmes rencontrés dans la conception de ces robots

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] INDEPENDANCE ROYALE : Seniors et intelligence artificielle : un enjeu social et économique : <https://www.independanceroyale.com/fr/seniors-et-intelligence-artificielle-un-enjeu-social-et-economique>
- [2] ALINE GARCIA : Des robots pour accompagner les personnes âgées : <https://www.bonjoursenior.fr/actualites/robots-pour-personnes-agees>
- [3] FRANK NIEDERCORN : Des robots sociaux à l'aide des personnes âgées : <https://www.lesechos.fr/idees-debats/sciences-prospective/des-robots-sociaux-a-laide-des-personnes-agees-1202276>
- [4] JULIEN DURIEZ : Des robots pour le maintien à domicile des personnes âgées : <https://www.la-croix.com/Economie/France/Des-robots-pour-maintien-domicile-personnes-agees-2016-03-25-1200749238>
- [5] GÉRARD CORNET, MICHAEL CARRÉ : Technologies pour le soin, l'autonomie et le lien social des personnes âgées : quoi de neuf ? : <https://www.cairn.info/revue-gerontologie-et-societe1-2008-3-page-113.htm>
- [6] SENUP : Les robots au service des personnes âgées : <https://www.senup.com/blog/robots-service-personnes-agees/>

## DOT

- [1] *[Fin septembre] Visionnage d'une vidéo sur YouTube d'une aide-soignante s'occupant de personnes âgées et des difficultés qu'elle rencontre dans son travail*
- [2] *[Début novembre] Recherche sur les différents robots d'assistance aux personnes fragiles et leurs différents composants*
- [3] *[Fin décembre] Résolution de l'épreuve de science de l'ingénieur du baccalauréat général session 2016 qui m'a ouvert l'esprit sur le fonctionnement du robuwalker*
- [4] *[Mi-janvier] Détermination du cycle de marche d'une personne âgée équipée d'une canne robotisée*
- [5] *[Fin février] Étude des problèmes possibles qu'engendre l'utilisation des robots d'assistance*

## Impact des mesures de distanciation sociale dans la prévention du COVID-19

Le mouvement #flattenthecurve, apparu sur les réseaux sociaux pendant la 1ère vague de COVID-19, m'a longtemps intrigué quant aux mécanismes qui régissent les épidémies. En recherchant le sujet sur internet, je suis tombé sur les vidéos de Numberphile et 3Blue1Brown portant sur l'épidémiologie qui ont d'autant plus piqués ma curiosité.

Les mesures de distanciation sociale, bien que jugées primordiales par de nombreux experts dans la prévention du COVID-19, sont fort coûteuses économiquement parlant. Il en va alors de la sécurité sanitaire et économique des citoyens que d'évaluer leur efficacité. Mon sujet s'inscrit donc bien dans le thème de l'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>Epidémiologie mathématique</i>	<i>Mathematical epidemiology</i>
<i>Modélisation mathématique</i>	<i>Mathematical modeling</i>
<i>Systèmes d'équations différentielles non linéaires</i>	<i>Non-linear differential systems</i>
<i>Simulation informatique</i>	<i>Computer simulation</i>
<i>Résolution numérique</i>	<i>Numerical resolution</i>

### Bibliographie commentée

La propagation d'une maladie au sein d'une population passe par deux phases: Une phase exponentielle où le nombre de cas peut même doubler chaque jour, puis une seconde où la croissance du nombre de cas décélère progressivement. Afin d'éviter d'atteindre un pic de cas élevé risquant de mettre à genoux les institutions sanitaires, il est primordial de passer à cette seconde phase le plus tôt possible. Ceci peut se faire de deux façons: soit naturellement à travers la généralisation de l'immunité au sein de la population, ce qui a pour inconvénient évident qu'en laissant la maladie progresser sans freinage, le nombre de cas et donc de décès explose, ou bien à travers l'instauration de mesures restreignant le contact social tel que les mesures de distanciation. [1] Il n'en demeure pas moins que les mesures de distanciation sociale, particulièrement le confinement, la fermeture des entreprises et la restriction du mouvement interrégional peuvent avoir des effets dévastateurs sur l'économie à l'échelle continentale. Les secteurs des échanges maritimes et de l'industrie se trouvent particulièrement touchés, causant des pertes financières se mesurant en centaines de milliards de dollars américains. [2] Il est donc essentiel de créer des modèles capables de quantifier et décrire les bénéfices à gagner à travers leur implémentation, mais aussi les risques associés à leur abandon, en termes de pertes humaines. Pour cela, il est d'abord nécessaire



d'établir un modèle apte à décrire avec un degré de précision convenable l'évolution de l'épidémie, le nombre de cas et de décès qu'elle engendre, mais aussi de prendre en compte le comportement social comme variable susceptible de varier au cours du temps, soit à cause d'un changement de perception de la maladie de la part des masses, ou à cause des mesures prises par les autorités. Ainsi, le processus de modélisation épidémiologique passe d'abord par une étape d'étude de l'histoire de l'infection, de ses caractéristiques (existence d'une période d'incubation, délai entre la contamination et l'apparition des premiers symptômes d'une maladie, existence d'une période d'immunisation à la maladie suivant une infection puis un rétablissement, la durée pendant laquelle les individus demeurent contagieux, la façon dont les individus d'une même tranche d'âge réagissent à la maladie), de la précision et de la période durant laquelle les prédictions du modèle sont requises, mais aussi et surtout les questions auxquelles on désire répondre à travers notre étude. Ces faits dictent la structure du modèle à adopter. Quant à la nature même du modèle, de nombreuses approches ont été adoptées historiquement, des modèles animaux et mécaniques utilisés durant le début du 20ème siècle, aux modèles mathématiques et informatiques modernes. [3] Parmi les modèles les plus prévalents aujourd'hui existent les modèles mathématiques compartimentaux tel que les modèles SIS, SIR, SIRD, SEIR... Ces derniers offrent l'avantage d'être fort adaptables, et ainsi de pouvoir modéliser une multitude de scénarii possibles, et de faire des prédictions prenant en compte un nombre élevé de variables allant du comportement social tel que la distanciation et le port de masque, à l'homogénéité de la population étudiée. Ils partagent néanmoins les mêmes fondements: une population considérée est divisée en des classes épidémiologiques dont les relations les liant sont modélisées par un système d'équations différentielles souvent non linéaires, nécessitant une résolution numérique. [4] Il existe également un nombre de modèles visuels ou graphiques, qui s'ils n'offrent pas d'intérêt pour une étude quantitative de l'évolution d'une épidémie, peuvent permettre une étude qualitative et intuitive illustrant les mécanismes par lesquels une épidémie peut se propager, et la manière dont elle réagit à différentes situations. Ces modèles demeurent cependant une simplification d'une réalité d'une complexité impossible à reproduire. [5]

## **Problématique retenue**

Il serait alors intéressant d'établir des modèles capables de décrire avec un degré de précision convenable l'évolution du COVID-19 dans un cas réel, et prenant en compte le comportement social comme paramètre, et ainsi de juger quant à l'impact des mesures de distanciation sur la prévention du COVID-19.

## **Objectifs du TIPE**

- 1) Etablir un modèle mathématique compartimental décrivant avec une précision satisfaisante l'évolution du COVID-19 dans un cas réel: L'Italie, et étant apte à modéliser le comportement social et donc les mesures de distanciation sociale
- 2) Explorer à travers ce modèle différents scénarii relativement aux mesures de distanciation sociale afin de juger leur importance.
- 3) Reproduire ce modèle dans une simulation informatique visuelle, permettant une compréhension intuitive des mécanismes de propagation de l'épidémie, et de l'effet des mesures de distanciation

sociale sur ces derniers.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] HAMID KHATAEE, ISTVAN SCHEURING, ANDRAS CZIROK & ZOLTAN NEUFELD : Effects of social distancing on the spreading of COVID-19 inferred from mobile phone data :  
<https://www.nature.com/articles/s41598-021-81308-2>
- [2] JASPER VERSCHUUR, ELCO E. KOKS, JIM W. HALL : Global economic impacts of COVID-19 lockdown measures stand out in high-frequency shipping data :  
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0248818>
- [3] EMILIA VYNNYCKY AND RICHARD G WHITE : An introduction to infectious disease modelling :  
*Oxford University Press, USA; 1er édition (15 juillet 2010)*
- [4] IHME COVID-19 FORECASTING TEAM : Modeling COVID-19 scenarios for the United States :  
<https://www.nature.com/articles/s41591-020-1132-9#Sec7>
- [5] HARRY STEVENS : Why outbreaks like coronavirus spread exponentially, and how to “flatten the curve” : <https://www.washingtonpost.com/graphics/2020/world/corona-simulator/>

## DOT

- [1] *Dans le cadre des résolutions numériques d'équations différentielles non linéaires, notre professeur encadrant de TIPE nous présente en Octobre le modèle SIR. Le sujet m'intéresse et je décide de le développer par moi-même.*
- [2] *D'Octobre à Novembre, mes tentatives d'appliquer le modèle SIR au cas de l'Italie se résultent par des échecs.*
- [3] *En Janvier, en traversant la base de donnée de WHO d'articles se portant sur le COVID-19, je rencontre l'article de l'IHME développant plusieurs prédictions selon les comportements sociaux aux Etats-Unis. L'idée de développer des scénarii par moi-même, et de les refléter dans le taux d'infection Beta variable dans le temps me vient.*
- [4] *En Février et Mars, je développe mes connaissances des modèles compartimentaux et de l'épidémiologie en me référant au livres d'épidémiologie de ma soeur, étudiante en médecine, et au livre d'Emilia Vynnycky et Richard G White, "An Introduction to infectious disease modelling". Je rencontre également la vidéo de 3Blue1Brown "Simulating an epidemic" et décide d'implémenter mon propre modèle dans Python en appliquant mes connaissances de mécaniques.*
- [5] *En Avril, j'affine mes méthodes de détermination des grandeurs du modèle compartimental que j'ai adopté, et me décide sur la manière dont je vais implémenter les scénarii modélisant la distanciation sociale, et je me familiarise avec la librairie animation de Matplotlib*
- [6] *En Mai, je finalise mon projet, écrivant mon MCOT et réalisant ma présentation sur Powerpoint.*

## Modélisation d'un réseau électrique intelligent

D'après le département de l'énergie aux États-Unis, l'amélioration de leur réseau électrique leur permettrait d'économiser 46 à 117 milliards de dollars entre 2010 et 2023. J'ai donc voulu en savoir davantage sur le meilleur type de réseau électrique actuel.

Pour lutter contre le réchauffement climatique, améliorer la sécurité des réseaux électriques et optimiser le stockage de l'énergie électrique on réalise des réseaux électriques intelligents. Ainsi mon sujet s'intègre au thème de cette année.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*INFORMATIQUE (Informatique pratique), INFORMATIQUE (Informatique Théorique), MATHEMATIQUES (Analyse).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>réseau intelligent</i>	<i>smart grid</i>
<i>technologie</i>	<i>technology</i>
<i>algorithme</i>	<i>Algorithm</i>
<i>complexité temporelle</i>	<i>Time complexity</i>
<i>modélisation</i>	<i>modeling</i>

### Bibliographie commentée

Les réseaux intelligents ou « smart grids » en anglais sont définis comme des réseaux intelligents qui possèdent des technologies informatiques à l'aide desquelles ils équilibrent le flux d'électricité entre les fournisseurs et les consommateurs. Pour avoir une adéquation entre production, distribution et consommation le smart grid a besoin de collecter les informations sur l'état des réseaux [1]. Tous les jours, les scientifiques conçoivent de nouveaux appareils électriques causant ainsi une rapide augmentation de la demande globale d'électricité. Entre 2007 et 2030, la consommation mondiale d'électricité devrait subir une augmentation de 76%. De nombreux chercheurs prédisent également un manque de pétrole dans approximativement 20 ans. L'augmentation de la ressource électrique se verra donc dans l'obligation de pallier à ce problème. Cependant, la grille actuelle deviendra obsolète. Le Smart Grid représente ainsi une solution dite obligatoire [2]. Les principaux objectifs du smart grid sont d'améliorer la production et la distribution faites à l'aide de ressources renouvelables, permettre des actions la gestion de la demande et de la production intermittente afin de restreindre l'utilisation à des moyens de production qui émettent du CO<sub>2</sub>, de trouver un équilibre entre l'offre et la demande, d'assurer une certaine limitation de la congestion et des investissements dans de nouvelles infrastructures, prévoir l'évolution des systèmes de réseaux tels que, l'automatisation du réseau de distribution, la mise en place standard des compteurs intelligents dans les niveaux locaux, l'introduction des nouvelles technologies de l'information et de la communication, l'émergence des bâtiments à énergie positive, les véhicules électriques et d'expérimenter de nouveaux modèles d'affaire favorables à la

structuration des acteurs des systèmes électriques intelligents[3]. Pour trouver le chemin optimal dans un graphe résiduel, nous utilisons la plupart du temps l'algorithme de Ford-Fulkerson. Nous pouvons donc utiliser cet algorithme pour résoudre le problème de routage dans les réseaux électriques car un circuit électrique peut être considéré comme un graphe. L'obtention d'une estimation de la consommation électrique dans un niveau local nécessite de faire appel à la résolution dynamique du problème du sac à dos ou Knapsack Problem en anglais. Il est possible de rendre cette résolution plus rapide grâce à une normalisation. L'étude de la complexité temporelle de ce programme permet donc de montrer l'évolution de la rapidité d'exécution. Un smart grid est un système complexe. L'optimisation d'un système complexe étant assez difficile, elle oblige l'utilisation des algorithmes d'optimisation conformes à chaque composante du système. Ensuite, les paramètres des algorithmes doivent être accordés pour améliorer l'efficacité. Donc pour la modélisation d'un smart grid, nous devons étudier séparément chacune de ses trois composantes étant le niveau local, le micro grid et le réseau de transport et de distribution (T&D) [4].

## Problématique retenue

Les réseaux électriques classiques ont des problèmes. Cependant le smart Grid peut résoudre ces problèmes à l'aide de différents outils informatiques. Il est donc intéressant de se poser la question :

Comment le Smart Grid peut résoudre ces différents problèmes ?

## Objectifs du TIPE

Modéliser :

- L'estimation consommation et résolution par programmation dynamique.
- Le calcul des enchères par la loi normale et utilisation d'une fonction d'approximation.
- Le problème de routage et le résoudre à partir de l'algorithme de Ford-Fulkerson.

Etudier la complexité des algorithmes utilisés au niveau local.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] CONNAISSANCE DES ENERGIES : réseau intelligent (smart grid) :

<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/reseau-intelligent-smart-grid>

[2] CORALIE PETERMANN, SOUFIAN BEN AMOR, ALAIN BUI, MARC BUI : Optimisation de Smart Grid : d'un modèle intégratif vers une simulation multi-agents autonome : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00840727>

[3] SMART GRID VENDÉE : Enjeux et objectif : <http://smartgridvendee.fr/enjeux-et-objectifs.html>

[4] GUILLAUME GUÉRARD : Optimisation de la diffusion de l'énergie dans les smart-grids : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01241153>

## **DOT**

- [1]** *Aout 2020 : Compréhension du travail à faire et recherche d'un sujet en accord avec le thème*
- [2]** *Septembre - novembre 2020 : choix du sujet et documentation*
- [3]** *Janvier -Mars 2021 : implémentation des différents codes python nécessaire à ma modélisation*
- [4]** *Mai-juin 2021 : Etudes des complexités temporelles des programmes utilisés*

## Modélisation d'un four à carbonisation pour la production du charbon à partir des déchets végétaux et ménagers

La gestion des déchets ménagers est devenue une préoccupation environnementale importante pour assurer la continuité de la vie sur terre dans un temps où la détérioration des ressources naturelles menacent l'humanité. Sans oublier le devoir d'introduire de nouvelles ressources énergétiques renouvelables capables de préserver l'environnement.

La valorisation des déchets ménagers représente l'un des Enjeux sociétaux, puisqu'il est considéré comme un moyen de stockage et de maîtrise de l'énergie, c'est à ce fort constat que nous proposons un moyen pratique de recyclage des déchets managers à travers une solution énergétique durable et peu couteuse.

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

Liste des membres du groupe :

- MEKKI Maamoun

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Bond Graph</i>	<i>Bond Graph</i>
<i>Modélisation</i>	<i>Modelisation</i>
<i>Energie</i>	<i>Energy</i>
<i>Système dynamique</i>	<i>Dynamical system</i>
<i>Analogie thermoélectrique</i>	<i>Thermoelectric Analogy</i>

### Bibliographie commentée

Dans le contexte du développement durable, la maîtrise de la consommation **énergétique** mondiale fait partie des défis majeurs de ce siècle. Au regard de la croissance constante de la demande **énergétique** mondiale et de l'épuisement graduel des ressources fossiles; s'ajoutant à cela des problèmes environnementaux engendrés par l'augmentation de leur consommation, le recours à des sources d'**énergies renouvelables** demeure incontournable. Dans ce contexte, la valorisation des déchets organiques et des biomasses devient un enjeu incontournable pour la création de nouvelles alternatives pour produire de *l'énergie*.<sup>[1]</sup>

Toutes les statistiques des rapports des organisations mondiales de l'environnement montrent une grande évolution technologique **des énergies renouvelables** promettant un succès des engagements internationaux pris notamment au niveau du *pacte mondial sur l'environnement*.<sup>[1]</sup>

Hélas, ces nouvelles technologies ne sont pas à la portée notamment des pays en voies de développement sur les deux plans *financiers et scientifiques*. Ce projet permet de produire un produit de valeur économique avec un marché stable et des propriétés de distribution avantageuses. Cette production de biocarburants peut en partie relever *les défis majeurs*, ce qui promet une appropriation internationale du projet.[2]

La méthode thermochimique de carbonisation est un procédé de **pyrolyse** lente à basse température où la biomasse est chauffée en l'absence d'oxygène (ou partiellement brûlée en présence d'un apport limité en oxygène). Le charbon dérivé de la pousse qui en résulte peut être transformé en briquettes de combustible.[3]

Dans un premier lieu, notre étude a pour objectif de mieux connaître les caractéristiques énergétiques des biomasses utilisées. La biomasse est un combustible difficilement exploitable dans son état brut. Sa transformation permet d'obtenir des combustibles plus intéressants sous forme : Solide comme les granulés, les plaquettes, le charbon Liquide, Gazeuse. [3] Le séchage est le premier phénomène qui a lieu lorsque l'on soumet la biomasse à un traitement thermique. Puis, Sous l'effet du chauffage, les matières volatiles se forment à l'intérieur de la particule par rupture des liaisons des macro-polymères constitutifs de la biomasse. On parle alors de pyrolyse du déchet dont les produits sont un mélange de gaz légers incondensables, d'hydrocarbures lourds (tar) et de coke (carbone fixe et d'inertes résiduels), leur proportion relative dépendant des conditions de traitement. Si ce déchet est chauffé lentement et/ou à basse température, la production de coke sera favorisée. Il est à noter que cette réaction est favorisée à une température supérieure à 400 C. Pour 100 Kg de biomasse on peut produire jusqu'à 31 Kg de charbon, un rendement de 1/3.

La **modélisation** en **Bond-graph** et une méthode d'organisation des systèmes dynamique introduite par l'ingénieur américain **Henry Paynter** (1923-2002) en 1961 élaborée ensuite par **Rosenberg** et **Karnopp** en (1968, 1975,1983), également, par **Thoma** (1975). Cette méthode très valorisée en ingénierie puisqu'elle traite de façon énergétique les systèmes techniques en se basant sur le principe de conservation d'énergie quel que soit la nature du système donné (mécanique, électrique, thermique, hydraulique).[4][5]

Basé sur des relations différentielles entre des éléments variables de base tels que le résistor, condensateur, solénoïde, transformateur, etc., visant à établir un modèle de système multi domaines en utilisant des éléments de base numérale. *Les relations de conservation de Puissance, ou encore de flux* et d'efficacité nous permettent d'obtenir des systèmes d'équations différentielles mathématiques prêtes à être résolues numériquement à l'aide des logiciels tel que python ou bien des simulateurs numériques.[4]

## Problématique retenue

La problématique de ce projet consiste à trouver des solutions-réponses à la question suivante :

Comment peut-on prouver l'efficacité et la valorisation des déchets ménagers transformés en des

produits **énergétiques** durables à travers deux **modélisations** de systèmes dynamiques linéaires invariant dans le temps?

## Objectifs du TIPE

Notre travail consiste à étudier les échanges thermiques présents dans un carbonisateur dont l'approche d'**un système dynamique linéaire invariant dans le temps**.

Ma partie consiste à établir une résolution en **boucle ouverte** du système dynamique et d'essayer de dégager une solution en **régime permanent**. Par l'établissement d'**une analogie thermoélectrique** et construire le **Bond Graph** correspondant. J'ai pu réaliser la simulation de la réponse en boucle ouverte à l'aide du logiciel **SIM20** : afin d'identifier la température capable d'établir **le phénomène d'auto pyrolyse**

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY : <https://www.iea.org/>
- [2] CHRISTIAN RIUJI LOHRI , HASSAN MTOUO RAJABU , DANIEL J.SWEENEY , CHRISTIAN ZURBRÜGG : Char fuel production in developing countries – A review of urban bio waste carbonization : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116001180?via%3Dihub>
- [3] SUNETHRA KANTHI GUNATILAKE,BENEDICT FRANCIS ANTONY BASNAYAKE : Production of High Quality Charcoal from Municipal Solid Waste by Developing a Pyrolyzer : [https://www.researchgate.net/publication/271066030\\_Production\\_of\\_High\\_Quality\\_Charcoal\\_from\\_Municipal\\_Solid\\_Waste\\_by\\_Developing\\_a\\_Pyrolyzer](https://www.researchgate.net/publication/271066030_Production_of_High_Quality_Charcoal_from_Municipal_Solid_Waste_by_Developing_a_Pyrolyzer)
- [4] WOLFGANG BORUTSKY : Bond Graph Methodology:Development and Analysis of Multidisciplinary Dynamic System Models : <https://www.springer.com/gp/book/9781848828810>
- [5] MARC RÉBILLAT : Modélisation de la dynamique de systèmes multi-physiques par Bond Graphs : <http://www.insyte.website/descriptionSysteme/bondGraph/bondGraphMarcRebilla.pdf>

## DOT

- [1] *Début Septembre2020: choix du projet lié au thème de l'année 2021*
- [2] *Fin Septembre -Octobre 2020: recherche bibliographique et normative*
- [3] *Novembre - Décembre 2020: encadrement et prise de connaissance Bond Graph et du logiciel "Openmodelica"*
- [4] *Janvier 2021: encadrement et prise de connaissance du phénomène de l'analogie Thermoélectrique*
- [5] *Février-Mars 2021: simulation SIM 20*
- [6] *Mai 2021: préparation de la présentation*



## Les radars routiers : Sécurité routière

L'année dernière, J'ai été flashé par un radar à l'autoroute pendant les vacances de l'été. Intéressé par cette invention, j'ai décidé d'étudier les radars routiers et leur principe de fonctionnement.

Ainsi, ce sujet est en adéquation avec le thème de cette année « enjeux sociétaux ». En effet, les radars permettent de maintenir un minimum de « sécurité » routière. Pour cela, j'étudie des différents types de radars routiers et leurs évolutions à travers le temps.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
Décalage Doppler	Doppler Shift
Vitesse	Velocity
Plage de Fréquence	Frequency Range
Transformée de Fourier Rapide	Fast Fourier Transform
Tolérance	Tolerance

### Bibliographie commentée

La sécurité est l'un des enjeux sociétaux primordiaux dans le 21ème siècle, pour cela le besoin d'améliorer et d'apporter de nouvelles technologies est toujours vif. La sécurité se manifeste dans plusieurs endroits tels que les banques, les hôpitaux, les magasins et encore les rues avec les radars routiers.

La France avait placé son premier radar en activité en 1946 et depuis cette année, de nouvelles générations commencent à apparaître pour régler les défaillances des radars précédents. En effet, à présent, on peut classer les radars selon des types comme les radars fixes, les radars mobiles, les radars pédagogiques [2]... Les radars routiers ou encore dits radars Doppler fonctionnent par l'effet Doppler-Fizeau. En effet, un radar consiste à émettre un signal électromagnétique (émetteur) qui se réfléchit du véhicule en question pour arriver encore une fois au récepteur du radar. Puis on calculera la différence de fréquence entre la fréquence du signal émis et celle du signal réfléchi. Ainsi, on aura accès à la vitesse du véhicule [1].

Parmi les méthodes multiples qui nous permettent d'extraire la vitesse du véhicule, on s'intéresse à un traitement réalisé au moyen d'un algorithme FFT (Fast Fourier Transform) appliqué à un échantillonnage (« sampling ») de ce signal sinusoïdal [3]. La transformée de Fourier Rapide nous permet de repérer rapidement les différentes fréquences constituant le signal puis à l'aide de l'échantillonnage on arrive à déterminer la fréquence de doppler et donc la vitesse recherchée. Le

fast Fourier transform est un outil mathématique très fréquentable dans différentes applications comme les algorithmes [4]. Il permet d'effectuer un changement sur la fonction pour faciliter son étude. D'autre part, cette opération est bien bijective c'est-à-dire qu'on peut aussi appliquer la transformée de Fourier inverse pour revenir aux paramètres de départ.

Or, pour pouvoir manipuler ce signal sinusoïdal, il faut tout d'abord atteindre une puissance minimale dite puissance seuil au niveau du radar qui est de l'ordre de 20dBm [3]. Une telle puissance est exprimée à l'aide de l'équation de radar en fonction de la puissance émise, le gain, la capacité de la cible à rétrodiffuser vers le radar, la distance de la cible au radar et la longueur d'onde [5]. Ainsi, on remarque que la détection varie d'un radar à autre et d'une cible à autre. En outre, le calcul de vitesse est aussi lié à la puissance reçue par le radar [6].

D'autre part, l'humidité a un effet majeur sur le fonctionnement de radar. Ainsi, dans le cadre de saisir son impact sur le radar, on opte pour étudier le modèle établi par Ottersten en 1969 pour calculer la réflectivité du radar dans lequel on introduit plusieurs variables tels que l'intervalle de résolution de radar, la longueur d'onde et aussi le gradient vertical d'indice de réfraction potentiel évalué à grande échelle noté  $M$  [7] .

Mais cette vitesse retenue par le radar est loin d'être la vitesse réelle exacte tout en prenant en considération les approximations faites pour avoir une expression simple à manipuler qui nous permet d'avoir une valeur approchée de la vitesse. L'une des importantes erreurs qui engendre cet écart de vitesse est l'angle de détection [2]. En effet, un radar est placé sur les côtes de la route est orienté suivant un angle par rapport à l'axe de circulation ce qui entraîne une inexactitude de valeur. Pour cela, pour chaque type de radar on précise un intervalle de tolérance qui varie selon plusieurs facteurs comme sa mobilité, ses équipements, sa génération... Ainsi, le calcul de l'intervalle de tolérance varie selon la vitesse : en effet, l'intervalle est fixé pour une vitesse inférieure à 100km/h et variable (selon un pourcentage) une vitesse supérieure à 100km/h [2].

## **Problématique retenue**

Le fonctionnement de radar est établi par l'effet Doppler-Fizeau qui nous permet de calculer la vitesse d'un véhicule. Comment peut-on restituer la fréquence doppler qui nous permet de calculer la célérité ? Y a-t-il des conditions pour détecter une automobile ? Quelles sont les marges d'erreurs tolérées ?

## **Objectifs du TIPE**

Afin de bien étudier un radar, je me propose de travailler sur 4 axes :

- 1- Expliquer le phénomène Doppler-Fizeau et donner l'expression qui permet d'avoir le décalage Doppler.
- 2- Traiter le signal reçu par le radar par la Transformée de Fourier Rapide (FFT) afin d'extraire la fréquence Doppler.

- 3- Manipuler l'équation de radar en termes de puissances reçues par l'antenne réceptrice.
- 4- Discuter les différentes marges de tolérance et leurs origines.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] RADARTUTORIAL.EU : Radars à ondes continues(consulté le 1 novembre 2020) :  
<https://www.radartutorial.eu/02.basics/Radars%20%C3%A0%20onde%20continue.fr.html>
- [2] WIKIPÉDIA : Radar de contrôle routier(consulté le 25 octobre 2020) :  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Radar\\_de\\_contr%C3%B4le\\_routier](https://fr.wikipedia.org/wiki/Radar_de_contr%C3%B4le_routier)
- [3] INFINEON : Théorie des radars(consulté le 22 novembre 2020) :  
<https://www.infineon.com/cms/en/product/promopages/makeradar/makeradar-school/radar-theory/>
- [4] ELECTRICAL VOICE : Différence entre DFT et FFT(consulté le 6 décembre) :  
<https://electricalvoice.com/difference-between-dft-and-fft/>
- [5] JOACIM DYBEDAL : Doppler Radar Speed Measurement Based On A 24 GHz Radar Sensor(consulté le 7 février 2021) : *Master de science en électronique, soutenu en juin 2013*
- [6] OUSSAMA HAMDY : Architecture d'échantillonnage rapide pour l'imagerie RADAR(consulté le 24 janvier 2021) : *thèse de doctorat, soutenue le 19 décembre 2019*
- [7] G. VAUGHAN AND R. M. WORTHINGTON : Effects of humidity and precipitation on VHF radar vertical beam echoes(consulté le 21 février 2021) : *Radio Science, Volume 35, Number 6, Pages 1389-1398, November-December 2000*

## DOT

- [1] *Collection de banque de données en octobre sur ce thème*
- [2] *Saisir les parties qui me semblent intéressantes parmi plusieurs thèses et doctorats*
- [3] *Une visite au centre des radars à Tunis prévu en décembre est annulée à cause du COVID19*
- [4] *Traitement des simulations informatiques lors du mois de janvier*
- [5] *La saisie de la présentation avait commencé en mi-février*

## Transfert d'énergie par induction

L'induction présente plusieurs utilités que ce soit dans le domaine domestique ou dans le domaine industriel. C'est fort de cette utilité de couplage que j'ai jugé intéressant de m'intéresser au transfert d'énergie par induction m'intéressant aux moyens par lesquels la transmission de l'énergie entre deux circuits électriques disjoints peut s'effectuer.

Le sujet sur lequel est porté mon travail traite un mode de transfert d'énergie qui est la transmission d'énergie sans fil par des systèmes disjoints. Ainsi ce sujet traite l'énergie comme thème principal, thème en accord avec celui de l'année.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*PHYSIQUE (Physique Théorique), INFORMATIQUE (Informatique pratique), PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Bobine d'induction</i>	<i>Induction coil</i>
<i>résonance</i>	<i>resonance</i>
<i>Transfert de puissance</i>	<i>Power Transfer</i>
<i>Energie</i>	<i>Energy</i>
<i>Flux</i>	<i>Flux</i>

### Bibliographie commentée

Avec l'avancée de la technologie au cours de ces deux derniers siècles, de nouvelles formes d'énergie sont découvertes puis étudiées et les besoins de l'homme ne cessent d'augmenter. Ainsi les batteries des appareils électroniques que nous utilisons nécessite obligatoirement pour la plupart d'entre elles d'apport de l'énergie pour le fonctionnement s'agissant par exemple de nos téléphones portables ou d'autres appareils d'ordre médical mais le problème se pose lorsqu'une machine ne peut pas être branchée sur un chargeur particulier et il faudrait donc trouver un moyen de faciliter la recharger de ce type Durant plusieurs années, la transmission d'énergie sans fil (WPT pour Wireless Power Transmission) basée sur la résonance magnétique couplée est en train de devenir assez mature pour enfin apporter une solution aux problèmes énergétiques de nos appareils mobiles [1].

En 2007, une équipe du M.I.T. a réalisé une transmission de puissance de 60 W avec une distance de 2 m séparant les deux bobinages. C'est à cette occasion que le terme « witricity » est apparu (contraction de « Wireless Electricity »). Cette équipe a obtenu un prix pour continuer ses recherches pour l'électricité sans fil. Ses derniers résultats montrent la possibilité de recharger plusieurs appareils à distance. Le rendement n'est pas bon et le système expérimental a besoin d'être amélioré car la distance entre les deux bobines du couplage influe énormément sur la puissance transmise [2]

L'intérêt de l'induction est à considérer avant tout du point de vue des usages. Dans le secteur transport, étant donné qu'aujourd'hui il existe des automobiles électriques dont le fonctionnement dépend essentiellement d'électricité, l'entretien ou la recharge des composants n'est pas évident la recharge par induction permettra alors à l'utilisateur de recharger sa batterie sans utiliser des équipements de branchement [3].

## Problématique retenue

Il s'agit de caractériser comment le phénomène d'induction peut permettre de transférer de l'énergie entre deux circuits électriques n'étant pas reliés.

## Objectifs du TIPE

Mon sujet a pour principal but d'expliquer comment l'énergie peut se transmettre sans contact éventuel entre deux systèmes électriques et est aussi centré sur la mise en place des circuits résonnants couplés par une inductance mutuelle puis de quantifier la puissance transmise.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] WEI WANG & SIMON HEMOUR : Etude de la transmission d'énergie sans fil (WPT) basée sur la résonance couplée magnétique : [https://publications.polymtl.ca/1496/1/2014\\_WeiWang.pdf](https://publications.polymtl.ca/1496/1/2014_WeiWang.pdf)
- [2] JEAN-LUC GOUDET : Un pas de plus vers l'électricité sans fil : <https://www.futura-sciences.com/tech/actualites/technologie-pas-plus-vers-electricite-fil-23397/>
- [3] ANTOINE CAILLIEREZ : Etude et mise en œuvre du transfert de l'énergie électrique par induction : application à la route électrique pour véhicules en mouvement : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01385053/document>

## DOT

- [1] *Août 2020: Lecture de deux anciens TIPE en rapport d'énergie*
- [2] *Septembre 2020: Lecture d'un article présentant le projet WIREFREE déterminant le choix du thème du TIPE*
- [3] *Octobre 2020: Choix du transfert radiatif(longues distances) comme résolution du problème de transfert sans fil*
- [4] *Novembre 2020: Abandon de la méthode dû à un manque de matériel de travail pour les expériences*
- [5] *Janvier 2021 : Choix du couplage magnétique résonant et recherche d'expérience caractérisant le couplage inductif résonant.*

## Optimisation de la production de l'électricité par les cellules photovoltaïques

Le réchauffement climatique est actuellement l'un des plus grands problèmes de l'humanité. Tous les pays prennent des mesures afin de lutter contre ce fléau. J'ai choisi d'étudier les cellules photovoltaïques afin d'optimiser la production de l'électricité pour un environnement non pollué. Mon sujet traite d'une source d'énergie renouvelable et non polluante dans un environnement en plein développement. A cet égard, il est en adéquation avec le thème de cette année.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire), INFORMATIQUE (Informatique pratique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Réchauffement</i>	<i>Global warming</i>
<i>Cellules</i>	<i>Cells</i>
<i>Photovoltaïque</i>	<i>Photovoltaic</i>
<i>Semi-conducteur</i>	<i>Semi-conductor</i>
<i>Projet desertec</i>	<i>Desertec project</i>

### Bibliographie commentée

Le réchauffement de notre planète devient de plus en plus inquiétant et menace la survie de l'espèce humaine. Pour pallier à ce problème, de nouvelles modes de vie sont adoptées, c'est ainsi que nous assistons à des innovations dans plusieurs domaines en particulier celui des énergies renouvelables prônant donc la production de l'électricité à travers les cellules photovoltaïques aux effets moins polluantes contrairement aux énergies fossiles, énergies produites par la combustion du charbon, du pétrole ou du gaz naturel [1]. Ces combustions riches en carbone et hydrogène sont l'une des causes principales de l'émission de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère qui est en grande partie responsable du réchauffement de la planète. Selon des statistiques publiées en 2012, plus de 80% de l'énergie consommée dans le monde provient de l'exploitation de combustibles fossiles : pétrole (33 %), gaz (21 %), charbon (28 %) et uranium (7%) qui nous savons sont extrêmement polluante [4].

Dans un souci de recherche de solution à ce problème de réchauffement, c'est à cet effet que naît en 2003 le projet Desertec. Un concept éco-énergétique visant à utiliser la puissance de fréquence de l'ensoleillement du Sahara afin de produire de l'électricité et de la distribuer principalement aux pays européens. Ceci étant, l'on assiste à la mise en place de plateformes éoliennes et de centrales photovoltaïques propices au contexte météorologiques (très ensoleillé) que connaissent ces régions. La Terre capte une partie de la puissance émise par le Soleil ( $1,76 \cdot 10^{17} \text{W}$ ) et cette puissance est infiniment plus élevée que la puissance nécessaire au monde mais le seul obstacle à surmonter est le rendement médiocre des cellules photovoltaïques. Ce projet a pour objectif la diversification des approvisionnements énergétiques européens à partir des énergies renouvelables. Il

ambitionne de couvrir près de 17% des besoins en électricité de l'Europe à partir de 2050 [1]. Le seul souci avec cette mode de production est le faible rendement des cellules photovoltaïques. Pour comprendre ce problème une étude détaillée de la cellule photovoltaïque sera utile afin d'améliorer son rendement pour une production optimale d'électricité tout en gardant un environnement non pollué.

[2,3] Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé aux photons de la lumière produit de l'électricité. Son fonctionnement est fondé sur les propriétés de matériaux semi-conducteurs qui, percutés par les photons mettent en mouvement un flux d'électrons, ce qui est la transformation de l'énergie solaire en énergie électrique. Le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque est le suivant : les grains de lumière qu'on appelle photons, en pénétrant très légèrement dans le silicium, déplacent quelques électrons du métal. Le métal semi-conducteur ne permettant le déplacement des électrons que dans un sens, les électrons déplacés par la lumière doivent passer par le circuit extérieur pour revenir à leur place, ce qui engendre un courant [5]. Le matériau est composé de deux couches, l'une contenant des électrons supplémentaires et l'autre des électrons déficitaires, ou « trous », dites respectivement dopée de type N et dopée de type P. Lorsque ces deux zones sont mises en contact, les électrons libres de la région N diffusent dans la couche P et donc la zone initialement dopée N devient chargée positivement, et la zone initialement dopée P chargée négativement. Il se crée alors naturellement un champ électrique qui va permettre d'orienter le mouvement des électrons dans le matériau formant ainsi une jonction PN. L'ensemble du rayonnement solaire est soit absorbé soit transmis ou réfléchi selon l'indice de milieu de chaque couche. Ensuite, il y a photo conversion du fait de la diffusion thermique qui a lieu au sein de la cellule conformément à l'équation de la chaleur. Cette équation de la chaleur intègre plusieurs processus physiques comme la conduction thermique, le rayonnement électromagnétique et le transfert conducto-convectif.

## **Problématique retenue**

Le problème posé ici est de trouver une solution à une production optimale d'électricité par une cellule photovoltaïque tout en assurant la non pollution de l'environnement.

## **Objectifs du TIPE**

Etudier une cellule photovoltaïque afin d'améliorer son rendement pour une production optimale d'électricité tout en assurant un environnement non pollué.

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

[1] CONNAISSANCE DES ÉNERGIES : Projet Desertec :

<https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/desertec>

[2] PLANÈTE ÉNERGIES : La cellule photovoltaïque : comment ça marche ? : <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/la-cellule-photovoltaïque-comment-ca-marche#:~:text=Le%20principe%20de%20fonctionnement,mouvement%20un%20flux%20d%27%C3%A9lectrons&text=Ces%20%C3%A9lectrons%20se%20mettent%20en,%C2%AB%20trous%20%C2%BB%20o%C3%B9%20se%20repositionner.>

- [3] ZOUHAIR EL JOUAD : Réalisation et caractérisation des cellules photovoltaïques organiques : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01443621/document>
- [4] NOTRE-PLANETE.INFO : L'énergie, les énergies fossiles et renouvelables : <https://www.notre-planete.info/ecologie/energie/>
- [5] ECO INFOS ÉNERGIES RENOUVELABLES : Comment fonctionne une cellule photovoltaïque? : <https://www.les-energies-renouvelables.eu/conseils/photovoltaique/comment-fonctionne-le-panneau-solaire-photovoltaique/fonctionnement-cellule-photovoltaique/>

## **DOT**

- [1] *[Décembre 2020: recherche d'un thème pour mon TIPE]*
- [2] *[Janvier 2021: rédaction de l'encrage et de la motivation puis recherche d'idées pour la bibliographie commentée]*
- [3] *[Février 2021: rédaction du MCOT et recherche d'idées pour la présentation du TIPE]*
- [4] *[Mai-Juin 2021: finalisation du MCOT et début de la présentation]*



## Stockage géologique du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)

La planète terre fait face maintenant actuellement à un enjeu majeur : le réchauffement climatique. Il est dû à l'émission de gaz à effet de serre comme le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). C'est fort de ce constat que j'ai décidé de présenter une étude sur le stockage géologique du CO<sub>2</sub>.

Le captage et le stockage du CO<sub>2</sub> (CCS : Carbon capture and Storage) paraît comme une véritable solution, non seulement pour la préservation de l'environnement mais aussi pour la sécurité de l'Homme. Ainsi donc mon sujet est en adéquation direct avec le thème de l'année : les enjeux sociétaux (l'environnement).

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)</i>	<i>Carbon dioxyde</i>
<i>Aquifères salins</i>	<i>saline aquifers</i>
<i>roche de couverture</i>	<i>Cap-rock</i>
<i>Diffusion</i>	<i>Diffusion</i>
<i>Roche poreuse</i>	<i>Porous rock</i>

### Bibliographie commentée

Malgré les réglementations du protocole de Kyoto sur les gaz à effet de serre (GES) à l'instar du CO<sub>2</sub>, les activités humaines (industrie, transport, habitat,) génèrent un excès de GES (des gigatonnes d'émission de CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère terrestre avec des conséquences très graves sur l'environnement ; d'où le captage et le stockage du CO<sub>2</sub>[1]. Pour capter le CO<sub>2</sub>, il existe trois méthodes qui ont été testées à un niveau industriel : la précombustion, la postcombustion et l'oxycombustion[1][3][5].

Après la phase de captage, le CO<sub>2</sub> est transporté vers des sites de stockage par canalisation ou par le biais des camions ou des bateaux ; sous forme liquide, à une pression de 15 bars et à une température de -30°C. Les sites potentiels les plus courants sont les aquifères salins, les gisements épuisés de pétrole et de gaz et les veines de charbon non exploitées [1][2]. Dans le sous-sol, le CO<sub>2</sub> se dissout partiellement (environ 20%) en diffusant dans l'eau de la roche réservoir et s'accumule sous la roche de couverture. La diffusion du CO<sub>2</sub> est sa propagation dans l'eau de la roche, sous l'effet d'un mouvement brownien de ses molécules (mouvement aléatoire des molécules). Ce phénomène est décrit par la loi de Fick. Ainsi après l'injection, des mécanismes naturels se mettent en œuvre et contribuent à différentes échelles à la séquestration permanente du CO<sub>2</sub>. Parmi ces mécanismes on peut citer : l'accumulation du CO<sub>2</sub> sous la roche-couverture (piégeage structural), son immobilisation dans les pores (piégeage résiduel), sa dissolution dans l'eau (piégeage par solubilité), et enfin sa minéralisation (piégeage minéral) [3][1]. Cependant, l'évaluation des sites, tant du point de vue économique que des risques encourus, est indispensable. En effet, un stockage

défaillant pourrait avoir des conséquences catastrophiques sur l'environnement et la population locale [1][4].

Pour constituer un site de stockage du dioxyde de carbone viable, les sites d'injection potentiels doivent répondre à plusieurs critères. Le premier d'entre eux est la capacité du site de stockage. Elle dépend du volume total du réservoir, mais également de sa porosité. Une certaine profondeur du réservoir est aussi nécessaire car elle permet d'augmenter la quantité de CO<sub>2</sub> stockable par unité de volume en raison de l'augmentation de sa densité avec la pression. Les formations choisies pour la séquestration du dioxyde de carbone se trouvent en général à plus de 800 m sous terre. A ces profondeurs, le CO<sub>2</sub> est le plus souvent sous forme liquide ou supercritique en raison des conditions de température et de pression qui s'y trouvent. Il occupe alors un volume beaucoup moins important qu'en phase gazeuse. Ainsi, une tonne de CO<sub>2</sub> occupe un volume de 509 m<sup>3</sup> sous 1 bar et à 0°C, et seulement 1,39 m<sup>3</sup> sous 102 bars et 35°C, à peu près les conditions régnant à 1000 m de profondeur [1][4][2].

Aussi la présence d'une roche de couverture entourant le réservoir et surtout imperméable possible au passage du CO<sub>2</sub> est indispensable. En effet, le dioxyde de carbone, lorsqu'il est injecté, est moins dense que l'eau, ce qui tend à le faire surnager. La roche de couverture le confine dans le réservoir et l'empêche de migrer dans le sous-sol. La qualité de la roche de couverture et son comportement en présence de CO<sub>2</sub> constituent donc des critères majeurs de sélection de site [1][4].

## **Problématique retenue**

Le CO<sub>2</sub> capté peut être utilisé comme matière première dans l'industrie chimique. Cependant cela génère encore du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère terrestre. D'où la nécessité de stockage dans des sites permanentes. Quelles sont donc les procédés de captage optimal et les caractéristiques d'un bon site de stockage permanente du CO<sub>2</sub> ?

## **Objectifs du TIPE**

Je me propose de :

- Faire une modélisation physique du phénomène de diffusion du CO<sub>2</sub> dans la roche réservoir
- Faire une résolution analytique puis numérique (avec Python) des équations
- Montrer l'importance de la diffusion dans la capacité de stockage du réservoir géologique
- Etudier l'impact de la diffusion du CO<sub>2</sub> sur les roches du réservoir géologique

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

[1] INTERGOUVERNEMENTAL PANEL ON CLIMAT CHANGE : : Carbon Dioxide Capture and Storage : <https://www.ipcc.ch/report/carbon-dioxide-capture-and-storage> ;Consulté en Juillet 2020

[2] PIERRE BACHAUD : Thèse de Doctorat:Stockage du CO<sub>2</sub> dans les aquifères profonds : étude en

conditions réelles des propriétés de confinement des roches de couverture et de leur altération. Autre. Institut National Polytechnique de Lorraine : <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01749436> ; Consulté en Décembre 2020

[3] CAROL TORO MOLINA : Thèse de Doctorat: Comparaison du captage du CO<sub>2</sub> en postcombustion par des solutions d'ammoniaque et d'amines organiques : Évaluation en contacteurs direct et indirect, par des approches cinétiques, thermodynamiques et par modélisation. Autre. Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2013. Français. ffNNT : 2013ENMP0029ff. ffpastel-00935386v2f : <https://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00935386v2> ; Consulté en Juin 2020

[4] GUILLAUME BERTHE : Thèse de Doctorat: Évolution des propriétés de confinement des roches couvertures type argilite soumises à des fluides enrichis en CO<sub>2</sub> : Impact des discontinuités naturelles et artificielles; Soutenue le 20/12/2012, UNIVERSITE PARIS-SUD : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00795668> ; consulté en Février 2021

[5] LA FONDATION D'ENTREPRISE TOTAL : Planète Energie : <https://www.planete-energies.com/fr/medias/decryptages/le-captage-du-co2>; Publié le 09 Juin 2015; Consulté en Juin 2020

## DOT

[1] Juin-Août 2020 : Premier choix du sujet (captage et stockage du CO<sub>2</sub>) et consultation de documents (des thèses en générales) en rapport avec le premier sujet

[2] Septembre-Décembre 2020 : Modification du sujet : J'ai opté pour le stockage ; du fait de la difficulté de compréhension des procédés chimiques de captage du CO<sub>2</sub>. J'ai ensuite approfondi mes recherches sur les types de stockage du CO<sub>2</sub>

[3] Février -Mars 2021 : Choix final du sujet ( stockage géologique du CO<sub>2</sub>), organisation et synthèse des documents

[4] Mai 2021 : Rédaction des programmes python avec l'aide de mon encadreur

## Freinage par induction des automobiles

Étant soucieux de l'avenir de notre planète, j'imagine un monde où on aura plus d'émission de CO<sub>2</sub> par des véhicules motorisés. C'est ainsi que je me suis intéressé dans mon sujet aux freinages par induction.

Le freinage par induction utilise un phénomène appelé induction électromagnétique ou le mouvement entre un aimant et un métal non magnétique entraîne une force opposant le mouvement entre les deux objets. Je veux modéliser ce phénomène pour optimiser ce freinage et d'observer son efficacité par rapport à d'autres systèmes de freinages.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*PHYSIQUE (Mécanique), PHYSIQUE (Physique Ondulatoire).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>modelisation</i>	<i>modelization</i>
<i>optimisation</i>	<i>optimization</i>
<i>freinage</i>	<i>braking</i>
<i>induction</i>	<i>induction</i>
<i>chauffage</i>	<i>heating</i>

### Bibliographie commentée

Le phénomène de l'induction électromagnétisme conduit à l'apparition d'une force électromotrice dans un conducteur électrique soumis à un flux de champs magnétique variable. Ce phénomène est utilisé dans les plaques à induction grâce aux courants de Foucault [5][2].

Le freinage par induction est un système constitué d'électroaimants fixes (stator) induisant des courants de Foucault dans des disques conducteurs (rotor) entraînés par les roues. Lorsque les électroaimants sont mis sous tension, les courants de Foucault induits dans les disques génèrent des forces de Laplace s'opposant au mouvement, donc générant un couple de freinage. La loi de modération de Lenz

Indique que les conséquences s'opposent aux causes qui ont donné naissance aux phénomènes d'induction. En effet, les forces de la place vont s'opposer au mouvement de la roue en produisant un couple de freinage qui permet de ralentir le véhicule. Contrairement aux freins classiques qui dissipent l'énergie par frottement le freinage électromagnétique fonctionne sans contact, donc sans usure de garniture [1].

Les ralentisseurs électromagnétiques sont fréquemment utilisés pour le freinage de véhicules lourds tels que les TGV. Ils dissipent une part importante de l'énergie de freinage, soulageant ainsi les systèmes de freinage classiques. En effet, En effet les systèmes de

Frein classique par friction présentait de nombreux inconvénients : ces dispositifs de freinages s'usant rapidement présentent un coefficient de frottement très faible. Ces composantes sont sujet à d'importants échauffements, dû à l'énergie déployé pour le

Ralentissement ou l'arrêt complet du véhicule [3][4].

Les freins par courants de Foucault sont moins exposés aux phénomènes d'échauffement. En effet, le freinage par induction, étant déclenché à l'origine par l'existence préalable d'un mouvement, il n'est pas possible d'immobiliser complètement le véhicule ou la roue [3][5].

## **Problématique retenue**

Nous allons tenter de répondre aux questions suivantes sur le freinage par induction :

Comment peut-on utiliser le champ magnétique et le courant élevé pour optimiser le freinage ?

Quelles sont les conséquences qui peuvent être engendrées par d'autres paramètres tel que l'effet joule ?

## **Objectifs du TIPE**

Afin d'étudier ce phénomène, j'ai donc décidé de modéliser un système à l'aide d'un disque en acier que nous avons freiné par un champ magnétique créé à l'aide de deux électroaimants. Nous avons ensuite procédé à une comparaison entre l'expérience et l'étude théorique faite préalablement Ce qui nous a donc permis de délimiter les contraintes de ce modèle et ainsi voire comment optimiser ce dispositif.

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

[1] JOHN DAVID JACKSON : Électrodynamique classique :

<https://www.eyrolles.com/Sciences/Livre/electrodynamique-classique-9782100824885/>

[2] OLIVIER GARNIER : Induction électromagnétique :

[http://olivier.granier.free.fr/cariboost\\_files/PC-induction-EM.pdf](http://olivier.granier.free.fr/cariboost_files/PC-induction-EM.pdf)

[3] SOCIÉTÉ TELMA : freinage : <http://fr.telma.com/entreprise/historique#1903>

[4] FLORENT BRISOU : les différents moyens de freinage : <http://florent.brisou.pagesperso-orange.fr/Freinage%20organes.htm>

[5] CHRISTINE BLONDEL ET BERTRAND WOLFF : Recherches bibliographiques sur les freinages par induction des automobiles :

<http://www.ampere.cnrs.fr/parcourspedagogique/zoom/faraday/induction>

## **DOT**

[1] [Août 2020] : Recherches bibliographiques sur les freinages par induction des automobiles

- [2] *[Novembre 2020] : Recherche sur la découverte de l'induction et l'effet de joule*
- [3] *[Janvier 2021] : Recherche sur la création du courant par le magnetisme*
- [4] *[Mai 2021] : Première expérience sur le lien entre l'électricité et le magnétisme*

## Détection de la pollution dans l'atmosphère

La pollution atmosphérique dépasse largement le seuil critique. Les futures générations sont donc tâchées de préserver leur environnement. C'est pour cette raison que j'ai eu l'ambition de participer à cette opération de protection en travaillant sur la détection des polluants dans l'atmosphère terrestre.

Mon étude a pour but de protéger l'environnement contre la pollution atmosphérique, ce qui s'inscrit dans le thème des enjeux sociétaux.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>lidar</i>	<i>lidar</i>
<i>diffusion</i>	<i>scattering</i>
<i>laser</i>	<i>laser</i>
<i>L i d a r   à   a b s o r p t i o n</i>	<i>Differential absorbtion lidar</i>
<i>différentielle</i>	
<i>pollution atmosphérique</i>	<i>atmospheric pollution</i>

### Bibliographie commentée

La pollution atmosphérique constitue un problème majeur qui menace notre environnement et la santé des êtres vivants et est responsable de la destruction de la couche d'ozone, les pluies acides, les changements climatiques etc..... Elle est causée par toute source d'émission de nature solide, gazeuse ou liquide pouvant affecter la vie humaine ou végétale. Précisément, ces émissions sont à l'origine de l'activité humaine comme par exemple les usines industrielles et les échappements des moyens de transport. Les sources de la pollution de l'air peuvent aussi être naturelles comme par exemple les activités volcaniques. Le control de ces gaz polluants de l'atmosphère ainsi que leur réduction à des niveaux standards et acceptables nécessitent naturellement des mesures de la concentration des polluants dans l'air. C'est pour cette raison que le développement des techniques de mesure, permettant d'identifier et de quantifier les polluants atmosphériques, a reçu un grand investissement au cours des dernières décennies [6]. Parmi les techniques utilisées dans le domaine de la détection des gaz polluants, on peut citer le LIDAR (Light Detection And Ranging) [1]. La notion du LIDAR a été introduite pour la première fois dans les années 60 [2]. Le concept de mesure d'un polluant avec un système LIDAR est basé sur l'émission d'une onde électromagnétique (monochromatique), la réception et le traitement d'une partie réémise par rétrodiffusion. L'appellation LIDAR est analogue au RADAR (Radiowave Detection And Ranging) qui utilise un principe similaire mais en transmettant des ondes radio. En plus de son application dans la mesure de la pollution atmosphérique [3], le LIDAR est également utilisé dans d'autres

domaines dont on peut citer la météorologie et la topographie.

Dans ce travail, je m'intéresse à l'application de la méthode LIDAR pour détecter la pollution atmosphérique. Ce principe est basé sur l'émission d'impulsions laser de courtes durées à travers la zone atmosphérique, les ondes deviennent atténuées à cause du milieu atmosphérique et interagissent aussitôt avec les particules de l'air à quelques kilomètres d'altitude ce qui conduit à une rétrodiffusion. La rétrodiffusion Raman qui, contrairement à la rétrodiffusion de Rayleigh et de Mie, est une diffusion dite inélastique où les photons diffusés sont décalés en fréquence par rapport aux photons incidents et ce phénomène correspond à l'effet Raman. Le lidar Raman est un exemple de Lidar qui traite ce décalage de fréquence et qui permet de récupérer des données assez précises sur la composition de l'atmosphère [4]. Le principe du DIAL (Differential absorption lidar) est une technique qui a été introduite pour la première fois en 1966 pour des mesures de la vapeur d'eau et qui a été utilisée éventuellement pour mesurer les différentes concentrations des particules présents dans l'atmosphère [5].

## **Problématique retenue**

En quoi constitue la technique Lidar et comment permet-elle de récupérer des informations sur la composition de l'atmosphère ?

## **Objectifs du TIPE**

Je me propose de diviser mon travail en quatre étapes :

1. Interaction d'une molécule avec un champ électrique
2. Propagation d'une onde plane dans l'atmosphère avec modélisation
3. Principe du Lidar et du DIAL
4. Rétrodiffusion Raman et le Lidar Raman

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

- [1] J. P. CARIOU ET L. SAUVAGE : Les Lidars atmosphériques :  
[https://www.researchgate.net/publication/270840162\\_Les\\_lidars\\_atmospheriques](https://www.researchgate.net/publication/270840162_Les_lidars_atmospheriques)
- [2] A. BENSRAHAI : application en perception de l'environnement pour le véhicule autonome :  
[file:///C:/Users/USER/Downloads/Rapport\\_P6\\_2018\\_01%20\(5\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Rapport_P6_2018_01%20(5).pdf)
- [3] K. FREDRIKSSON, B. GALLE, K. NYSTRÖM ET S. SVANBERG : Lidar system applied in atmospheric pollution monitoring : <https://portal.research.lu.se/portal/files/5682235/2297191.pdf>
- [4] B. LIU, Z. WANG ET Y. CAI : Compact airborne Raman lidar for profiling aerosol, water vapor and clouds : <https://www.osapublishing.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-22-17-20613&id=299619>
- [5] S. ISMAIL, E.V. BROWELL : LIDAR | Differential Absorption Lidar :  
<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/differential-absorption-lidar>
- [6] H. CHEN ET D. HUA : Atmospheric Lidar Data Storage Model Based on Ontology :  
<https://www.hindawi.com/journals/sp/2017/3607068/>



## **DOT**

- [1]** *Fin Juillet 2020 : Lecture de l'article [1] et étude des différents types de Lidar et leur rôle.*
- [2]** *Octobre : Choix des études théoriques à utiliser en s'inspirant du cours.*
- [3]** *Janvier 2021 : Développement de la modélisation d'une onde électromagnétique avec mon Professeur encadrant, plusieurs difficultés se sont manifestés vu la complexité du programme exigé.*
- [4]** *Mars : Etude de la méthode Dial et son rapport avec les études théoriques à l'aide de l'article [5].*
- [5]** *Début juin : Rassemblement et interprétation des résultats pour la présentation finale.*

## Optimisation de la production d'énergie par biomasse

En Afrique plus particulièrement au Cameroun, la biomasse est une ressource en abondance et les cogénérations de biomasse sont très peu polluantes et respectueuses envers l'environnement d'où mon envie d'étudier cette énergie renouvelable pour solutionner les multiples problèmes d'électricité que rencontre la plupart des pays d'Afrique.

Portant sur la production d'énergie à partir de la biomasse, mon sujet s'inscrit dans la thématique de cette année. Elle portera sur la modélisation locale du transfert thermique entre la chambre de combustion et les conteneurs d'eau.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Energie</i>	<i>Energy</i>
<i>Biomasse</i>	<i>Biomass</i>
<i>Biogaz</i>	<i>Biogas</i>
<i>Ecologique</i>	<i>Ecological</i>
<i>Environnement</i>	<i>Environnent</i>

### Bibliographie commentée

Le monde en perpétuel développement a besoin de plus en plus d'apport énergétique pour mener à bien les activités industrielles, domestiques du quotidien. Le grand problème de notre humanité est de continuer le développement de nos sociétés post-modernes, consuméristes tout en respectant l'environnement planétaire, en gérant durablement les précieuses « ressources naturelles » [1]. Cette nouvelle donne est d'autant plus capitale que les énergies fossiles ont de plus en plus une mauvaise réputation en raison de leurs fortes émissions de GES (gaz à effet de serre) et de leurs réserves qui s'amenuisent de jour en jour à une vitesse exponentielle.

En outre l'énergie nucléaire qui était présentée comme la meilleure alternative à ses sources d'énergies non renouvelables se retrouve elle aussi énormément décrié de part ses multiples dangers biologiques [2] sur l'humanité comme entre autres la catastrophe nucléaire de Tchernobyl en 1986 et plus récemment celle de Fukushima en 2011. L'homme est donc dans une perpétuelle recherche d'une source d'énergie d'avenir écologique et respectueuse envers l'environnement. Une solution durable pourrait donc être la biomasse [3, 4].

La bioénergie est la forme d'énergie la plus ancienne que l'homme ait développée et la biomasse constitue la principale source pour la majorité de la population dans les pays en développement. En 2017, selon l'Agence internationale de l'énergie, la biomasse fournissait 1 329 Mtep d'énergie, soit

9,5 % environ de l'énergie primaire consommée dans le monde [5]. D'après les travaux de Cécile Heneffe [6] et celle de l'association mondiale de biogaz, elle fournissait 12.100 TWh/an ce qui constitue une grande quantité, quant on sait que cela approvisionne la majeure partie des villes des pays industrialisés. Ainsi, Les unités de production de biogaz recouvrent un très grand nombre de réalités différentes : digesteurs d'effluents d'élevage, unité pour les déchets ménagers, digesteur à l'échelle d'un ménage, unité qui fournit de l'énergie à plusieurs milliers de personnes, etc. Donc dans le futur avec une augmentation du nombre de site de production on pourra étendre cette source.

De plus, Près de la moitié de l'humanité dépend de cette source pour son approvisionnement alimentaire quotidien et, pour plus de deux Africains sur trois, la biomasse constitue une énergie primordiale dans son utilisation brutes (c'est-à-dire bois, déchets animaux, plaquettes forestières etc...). Quand on évoque l'énergie, on considère en général ses modes artificiels de conversion (turbine électrique, panneau photovoltaïque, moteur automobile, réchaud à gaz) Toutefois en oubliant que, sur la planète, la conversion la plus répandue est celle de la photosynthèse [7] , ce qui fait donc de la biomasse , le premier convertisseur d'énergie et génère chaque année une centaine de gigatonnes équivalent pétrole (Gtep), soit dix fois la production annuelle de l'ensemble des combustibles fossiles. Elle est présente en Afrique, et dispose de conditions favorables à son développement : ensoleillement, température, espaces disponibles et ressources en eau abondantes.

Economiquement parlant, il est vrai qu'aujourd'hui, les nombreuses applications de la biomasse comme celle de l'énergie étant un produit finie, ou d'autres produits agro-industrielles ou forestière ne constitue qu'un faible cout pour le producteur, elle se trouvent donc dépendante d'autres secteurs.

## **Problématique retenue**

La biomasse est une solution énergétique pour demain ? Dans quelles mesures peut-on améliorer le rendu énergétique de production en centrale de biomasse ? Est-il possible d'effectuer la conversion biomasse-électricité tout en respectant l'environnement ?

## **Objectifs du TIPE**

Je me propose :

- 1) Mettre en évidence la production d'énergie par des centrales de biomasse.
- 2) Obtenir une équation de chaleur généralisée par la modélisation de la combustion de biomasse (biogaz, déchets organique...)
- 3) Faire une simulation numérique sous python de cette équation de chaleur obtenue.
- 4) Trouver des solutions pour réduire l'exploitation des milieux forestier tout en gardant une

production d'énergie équivalente

5) Point écologique : vérifier l'impact des rejets de gaz carbonique sur l'environnement sous le long terme.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] FAYE SENY : Contribution critique sur la classification des ressources énergétiques renouvelables (les bioénergies) pour la CEENU/UNECE (Genève) :

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwio9vatw8TwAhWLUhUIHcFYBI8QFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fwww.unece.org%2Ffileadmin%2FDAM%2Fenergy%2Fse%2Fpdfs%2FUNFC%2FUNFC-Bioenergy-Public-Comment2017%2FMr\\_Faye\\_Feny\\_comments.pdf&usg=AOvVaw0ehyhapJ7ox06RbhYtvV7I](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwio9vatw8TwAhWLUhUIHcFYBI8QFjAAegQIAhAD&url=https%3A%2F%2Fwww.unece.org%2Ffileadmin%2FDAM%2Fenergy%2Fse%2Fpdfs%2FUNFC%2FUNFC-Bioenergy-Public-Comment2017%2FMr_Faye_Feny_comments.pdf&usg=AOvVaw0ehyhapJ7ox06RbhYtvV7I)

[2] PAULINE FRÉOUR : Accidents nucléaires :

<https://sante.lefigaro.fr/actualite/2011/03/14/10793-accidents-nucleaires-risques-pour-lhomme>

[3] ARNAUD CHARLES, ANDRÉE HARARI, JEAN-CLAUDE BERNIER : la biomasse une source d'énergie d'avenir ? : *D'après l'article La biomasse, matière première renouvelable d'avenir de Jean-François Rous publié dans l'ouvrage « Chimie et enjeux énergétiques » EDP Sciences, 2013, ISBN : 978-2-7598-0973-8*

[4] CONSTANTIN AGOURIDAS, JEAN-CLAUDE BERNIER, DANIELE OLIVIER ET PAUL RIGNY : LA BIOMASSE : *La chimie, l'énergie et le climat, collection Chimie et... Junior, EDP Sciences, Fondation de la Maison de la Chimie (2017), ISBN : 978-2-7598-2098-6.*

[5] DAVID KIRCHGESSNER, CRUTZEN P.J, HEIDT L.E : Biomasse (énergie) :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Biomasse\\_\(%C3%A9nergie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Biomasse_(%C3%A9nergie))

[6] CÉCILE HENEFTE : La place du biogaz dans le monde : le rapport est disponible ! :

<https://valbiomag.labiomasseenwallonie.be/news/la-place-du-biogaz-dans-le-monde-le-rapport-est-disponible>

[7] ROLAND LOUVEL, CHRISTIAN DE GROMARD : De la biomasse à la bioéconomie, une stratégie énergétique pour l'Afrique ? : <https://www.cairn.info/revue-afrique-contemporaine-2017-1-page-223.htm>

[8] PAR BERTRAND D'ARMAGNAC : La biomasse, première source d'énergie renouvelable :

[https://www.lemonde.fr/planete/article/2010/03/13/la-biomasse-premiere-source-d-energie-renouvelable\\_1318622\\_3244.html](https://www.lemonde.fr/planete/article/2010/03/13/la-biomasse-premiere-source-d-energie-renouvelable_1318622_3244.html)

## DOT

[1] 27/06 /2020 : Premier contact .Tentative d'appel téléphonique avec FATHI HANCHI nouveau directeur général de L'agence national pour la maitrise de l'énergie (ANME) en Tunisie. Echec .

[2] 15/08/2020: choix de mon sujet . Ayant lu des articles statuant de fusion nucléaire , cela m'a permis de choisir mon sujet en relation avec l'énergie nucléaire .

[3] Début septembre 2020 : reconsidération de mon choix . je me suis tourné vers la biomasse étant donné que l'énergie nucléaire ne constitue pas pour moi une source d'avenir vu l'insécurité sanitaires à grandes échelles qu'elle procure à cause des activités radioactives.

- [4] 05/11/2020: Deuxième contact : Discussion téléphonique avec Aziz fgaier ancien chef de département à la direction distribution électricité et gaz qui me confirme la viabilité de mon idée : réussite
- [5] Janvier 2021 : troisième contact : Appel téléphonique avec Karima horchina Naïfer du Laboratoire de physico-chimie des matériaux , minéraux et leurs applications (LCPMMA) du CMRSM ( Centre national de recherche en sciences des matériaux ) pour avoir accès au laboratoire afin de réaliser l'expérience de méthanisation . Echec
- [6] fin janvier 2021 : Expériences : réalisation de l'expérience de méthanisation de façon artisanal faute de matériels.
- [7] fin mai 2021 : fin de mes implémentations de code sur python , et validation par Ahmed REBAI mon prof encadrant .

## Suiveur de soleil

J'ai lu récemment sur le projet Désertec qui prévoit l'approvisionnement de l'Europe en énergie solaire produite dans le désert Africain. C'est pourquoi j'ai décidé de travailler sur un système, "Solar tracker", permettant d'optimiser la production d'énergie dans les centrales solaires envisagées par le projet.

Mon étude s'inscrit parfaitement dans le thème de l'année. En effet, elle est axée sur un système qui transforme énergie solaire en énergie électrique. Réduisant la pollution en CO<sub>2</sub>, il représente ainsi un enjeu sociétal.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*PHYSIQUE (Physique Interdisciplinaire), INFORMATIQUE (Informatique pratique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Rayonnement solaire</i>	<i>Solar radiation</i>
<i>Suiveur</i>	<i>Tracker</i>
<i>Angle d'incidence</i>	<i>Angle of incidence</i>
<i>Panneaux photovoltaïque</i>	<i>Photovoltaic panels</i>
<i>Energie</i>	<i>Energy</i>

### Bibliographie commentée

À l'heure où la dégradation atmosphérique s'impose comme une réalité non négligeable, les puissances économiques mondiales ont opté pour la quête d'énergies non polluantes mais aussi économiquement bénéfiques. C'est dans ce sillage que prend forme un peu partout dans le monde des projets de construction de centrales solaires. En effet, les systèmes d'énergie solaire ne produisent pas de gaz à effet-de-serre [1]. D'un point de vue économique, l'apport sur la durée est important devant le coût des moyens mobilisés pour l'édification.

Ces raisons ont ainsi motivé la naissance du projet Désertec , un concept écoénergétique, qui envisage l'approvisionnement en électricité de la zone EU-MENA (Europe, Moyen-Orient, Afrique du Nord) à partir d'énergie solaire produite dans le désert Nord-Africain [2]. Ce projet requiert la mise en place de centrales solaires thermique et photovoltaïque avec des systèmes d'optimisation de rendement. D'après les prévisions, si tout le désert est recouvert de panneau solaire la production annuelle serait de 1.300.000 TWh par an [3]. Un chiffre très grand devant la production mondiale qui était de 26.672 TWh en 2018[4]. L'utilisation de l'énergie solaire paraît donc bénéfique.

Toutefois son exploitation connaît des freins tels qu'une production intermittente fonction de l'ensoleillement. Il conviendrait de mettre en place un système d'optimisation de la production : le système suiveur de soleil.

Le suiveur de soleil est un dispositif permettant de suivre le soleil durant sa trajectoire dans le ciel. Les trackers sont ainsi utilisés pour minimiser les pertes liées à l'angle d'incidence entre la lumière solaire entrante et un panneau photovoltaïque [5].

La lumière du soleil est composée de deux parties : 'le faisceau direct ' qui constitue la partie transportant 90% de l'énergie solaire et "la lumière du soleil diffuse" justifiant la couleur bleue du ciel. L'énergie apportée par le faisceau direct est fonction de l'angle d'incidence entre les rayons de soleil et les panneaux photovoltaïques. Dans le but d'avoir une collecte optimale d'énergie, le soleil devrait être le plus longtemps possible visible par les panneaux. Cependant plusieurs variables sont à prendre en compte pour assurer cette tâche. En effet, il faudrait tenir compte des facteurs principaux comme la trajectoire du soleil et son rayonnement, l'angle d'incidence entre les rayons solaires et les panneaux mais aussi en second plans les nuages, l'atmosphère, la température et l'efficacité des cellules solaires. Notre étude sera plus axée sur les principaux.

La trajectoire du soleil influence notre système car le tracker est censé suivre le soleil. Celui-ci entretient un mouvement saisonnier sur l'année avec une variation de sa position d'un point géographique à un autre. Le lever du soleil dans endroit en hiver n'est pas le même dans un autre. De plus en ce même endroit, le lever est différent en été. La position du soleil dans le ciel est exprimée en termes d'altitude ou déclinaison solaire (angle entre les rayons de soleil et le plan de l'équateur terrestre) et l'azimut solaire (angle entre le point cardinal sud ou nord et la projection sur le plan horizontal local de la droite reliant la terre au soleil).

De plus le soleil émet un rayonnement spectral dont le domaine du visible est le principal. L'irradiance spectrale solaire est une mesure de la luminosité de l'ensemble du soleil à une longueur d'onde de la lumière. Ce rayonnement est aussi caractérisé par le GHI (Global Horizontal Irradiance) et le POA (Plane Of Array). Leur ratio permet d'étudier le gain en énergie solaire. En effet la comparaison de ces quantités démontre plus ou moins l'importance de régler le panneau à un angle optimal. L'étude de ces facteurs de performance permettra de conclure notre étude.

## **Problématique retenue**

En quoi un suiveur de soleil est un optimiseur de collecte d'énergie solaire ?

## **Objectifs du TIPE**

Analyser la trajectoire solaire

Etudier le spectre d'irradiance solaire

Montrer que les panneaux sont toujours orientés vers le soleil

Etudier le ratio GHI/POA

Modéliser le gain de transposition

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

[1] EIA : Solar explained : <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/solar-energy-and-the-environment.php#:~:text=Solar%20energy%20systems%2Fpower%20plants,air%20pollution%20or%20greenhouse%20gases.&text=Some%20solar%20thermal%20systems%20use,be%20harmful%20to%20the%20environment> , Décembre 2020

[2] ECO INFOS : Les avantages du panneau solaire en 2021 : <https://www.les-energies->

- renouvelables.eu/conseils/photovoltaique/avantages-panneau-solaire-photovoltaique/* , Janvier 2021
- [3]** RENEWABLE ENERGY WORLD : What is solar tracker? :  
<https://www.eia.gov/energyexplained/solar/solar-energy-and-the-environment.php#:~:text=Solar%20energy%20systems%2Fpower%20plants,air%20pollution%20or%20greenhouse%20gases.&text=Some%20solar%20thermal%20systems%20use,be%20harmful%20to%20the%20environment> , Janvier 2021
- [4]** BOOSTHEAT : La production d'électricité en France et dans le monde :  
<https://www.boostheat.fr/guide/production-electricite-france/#:~:text=La%20production%20d'%C3%A9lectricit%C3%A9%20dans%20le%20monde&text=D'apr%C3%A8s%20son%20rapport%20Key,4%25%20entre%202017%20et%202018> , Janvier 2021
- [5]** SCIENCE DIRECT : Solar tracker system :  
<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/solar-tracking-system> , Janvier 2021

## DOT

- [1]** *Septembre 2020 : Lecture d'un article présentant le projet Désertec motivant le choix du thème du TIPE.*
- [2]** *Octobre 2020 : Choix de résolution par modélisation d'un suiveur par des photodiodes et un moteur.*
- [3]** *Décembre 2020 : abandon de la méthode de modélisation dû au manque de matériel pour un travail plus théorique.*
- [4]** *Janvier 2021 : Choix du site PV lib comme fournisseur de données et algorithme fournies par PV lib pour la simulation des courbes utiles à notre travail.*
- [5]** *Février 2021 : modification des données des codes pythons issus de PV lib et interprétation des résultats.*



## PROPAGATION ATMOSPHERIQUE D'UN POLLUANT

J'ai regardé un documentaire sur la pollution atmosphérique et je voulais approfondir ses mécanismes et son évolution qui font depuis très longtemps l'objet d'une attention particulière de la part des pouvoirs publics.

L'intérêt de mon Tpe sera donc d'étudier les modèles de dispersion atmosphérique des polluants ce qui est en accord avec le thème de cette année.

### 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>Polluant</i>	<i>Pollutant</i>
<i>Propagation</i>	<i>Propagation</i>
<i>Diffusion</i>	<i>Diffusion</i>
<i>Convection</i>	<i>Convection</i>
<i>Convection-diffusion</i>	<i>Convection-diffusion</i>

### Bibliographie commentée

La pollution de l'air tue. C'est largement accepté aujourd'hui, mis à part un certain scepticisme indomptable, mais il en rejoint d'autres, comme par rapport au réchauffement climatique par exemple.

Les études se succèdent et les résultats sont similaires. Car si l'on sait aujourd'hui que la pollution a un effet sur la santé humaine, ce que l'on ignore en revanche, c'est l'étendue de cet effet, et l'étendue du préjudice, qui est étudié après enquête. Avec le développement des techniques d'investigation et l'amélioration des analyses et mesures scientifiques, il est de plus en plus important.

Un modèle 3D de transport chimique (Polair3D) [1] a été développé pour simuler de manière réaliste les concentrations de polluants responsables de la pollution photochimique. Des comparaisons avec des mesures de surface d'ozone et d'oxydes d'azote dans la région lilloise au cours de l'année 1998 ont validé ce modèle à l'échelle régionale. Ainsi Polyphemus / Polair3D a été utilisé dans de nombreux projets de recherche ou de recherche appliquée : il permet de modéliser la qualité de l'air au niveau continental (Europe et Asie) ou régional.

La dispersion atmosphérique est alors modélisée par ce modèle Polair3D. La dispersion d'espèces traces dans l'atmosphère implique de nombreux processus et l'ensemble de ces processus doit être modélisé au sein de ce qui est communément appelé le modèle de Chimie-Transport développé par CEREAS.

En effet, Un polluant rejeté dans l'atmosphère est soumis aux différents mécanismes qui régissent les écoulements de l'atmosphère. Les 2 processus principaux qui nous intéressent sont : Transport

(convection) [2] – Diffusion.

La convection est due au mouvement de l'air c'est à dire le vent qui disperse le polluant. Ce phénomène est un phénomène macroscopique : il s'agit des mélanges de masses d'air. En fait, le transport convectif est un processus important pour le mouvement des polluants gazeux en se basant sur l'équation appropriée pour décrire ce transport qui peut être dérivée de l'équation de Navier-Stokes en faisant des hypothèses simplificatrices sur la nature du flux.

Par ailleurs, le phénomène de diffusion est un phénomène microscopique; les particules des espèces chimiques polluantes ont tendance à aller des zones de haute concentration vers les zones de faible concentration.

Ce phénomène, d'un point de vue phénoménologique, a d'abord été décrit par une loi énoncée par Adolf Fick en 1855 [3], par analogie avec l'équation de la chaleur introduite par Joseph Fourier en 1822. C'est très évident donc que l'équation de diffusion est tellement importante; d'ailleurs de nombreux phénomènes physiques, dans des domaines scientifiques différents, se décrivent mathématiquement par les équations de diffusion.

Finalement, La modélisation est maintenant couramment utilisée pour évaluer la dispersion des polluants dans l'environnement (air, sol, eau...) et estimation des effets concomitants.

Il s'avère être un outil précieux pour pré-évaluer les conséquences d'un éventuel rejet des polluants.

## **Problématique retenue**

La surveillance des émissions de polluants dans l'atmosphère constitue pour les industriels une problématique environnementale de premier ordre.

Dans ce contexte, la modélisation de la dispersion atmosphérique est un outil d'analyse intéressant. Quels sont donc les modèles de dispersion des polluants dans l'atmosphère?

## **Objectifs du TIPE**

Modélisation physique :

1. J'essayerai en premier lieu de mettre en évidence le processus de propagation d'un polluant dans l'air, comme étant une application du phénomène de convection-diffusion atmosphérique.
2. J'essayerai d'établir les équations aux dérivées partielles régissant ce phénomène.

Résolution analytique :

3. Je proposerai la méthode des différences finies afin de résoudre des équations (EDP) trouvées.

Résolution numérique :

4. Je proposerai une modélisation numérique du modèle proposé en résolvant numériquement l'équation aux dérivées partielles trouvée en utilisant Python avec la méthode des différences finies.

## **Références bibliographiques (ETAPE 1)**

- [1] CEREIA : Modélisation de la dispersion atmosphérique avec la plate-forme Polyphemus et le modèle de Chimie-Transport Polair3D : [http://cerea.enpc.fr/fich/polyphemus\\_plaquette.pdf](http://cerea.enpc.fr/fich/polyphemus_plaquette.pdf)
- [2] MALYA ABDELOUHAB : Contribution à l'étude du transfert des polluants gazeux entre le sol et les environnements intérieurs des bâtiments : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00683739/document>
- [3] WIKIPÉDIA : Diffusion de la matière : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion\\_de\\_la\\_mati%C3%A8re](https://fr.wikipedia.org/wiki/Diffusion_de_la_mati%C3%A8re)

## DOT

- [1] *Début Août 2020 : Etudes documentaires du phénomène de dispersion atmosphérique des polluants.*
- [2] *Mi-Octobre 2021 : Choix et étude théorique des équations aux dérivées partielles régissant ce phénomène.*
- [3] *Début Janvier 2021 : En s'appuyant sur des approximations, résolution analytiques de ces équations et application de la fameuse méthode de discrétisation par différences finies pour réaliser la résolution numérique des équations.*
- [4] *Mi-mai 2021 : Réalisation du code de résolution numérique des EDP régissant le phénomène de propagation des polluants et obtention d'une simulation avec python.*

## Cryptographie : études des divers chiffrements

On vit dans un monde totalement numérique alors la cryptographie devient une nécessité pour protéger nos données. Afin de décoder les textes cryptés, j'ai toujours aimé décrypter ou crypter mes textes pour embrouiller ceux qui veulent savoir mes secrets. Donc j'ai voulu me pencher sur ce sujet.

En l'an 2000 un hacker a failli empoisonner 15000 personnes en Floride par leur eau courante. Cela m'a alerté sur l'importance de la mise des systèmes sûrs. À cet égard, mon sujet traite de la cryptographie une discipline en lien avec les deux : la sécurité informatique et l'environnement.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*INFORMATIQUE (Informatique pratique), MATHÉMATIQUES (Algèbre), INFORMATIQUE (Informatique Théorique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Chiffrement</i>	<i>Encryption</i>
<i>Cryptanalyse</i>	<i>Cryptanalysis</i>
<i>Cyberattaque</i>	<i>Cyber attack</i>
<i>Probabilité</i>	<i>Probability</i>
<i>Clé publique/Clé privé</i>	<i>Public key/Private key</i>

### Bibliographie commentée

Puisque personne ne souhaite ni que ses données personnelles soient connues ni ses discussions soient partagées avec des étrangers, la cryptographie est alors primordiale dans notre monde. L'histoire de la cryptographie remonte au début de l'humanité. Même un clin d'œil est une forme de cryptographie. Le chiffrement de César est l'un des plus anciens formes connues de cryptographie. Mais ce chiffrement de décalage peut être déchiffré à la main faute d'existence uniquement de 25 chiffrements possibles. [1]

En outre, le chiffrement de Vigenère s'agit d'une addition entre la clé et le message [3]. Toutes les lettres du message ont un décalage indépendant des autres. Cette forme de cryptographie est plus difficile à déchiffrer si on suppose que la longueur du message est  $n$  on aura  $(26^{n-1})/25$  (série géométrique de raison 26) clés possibles. La défaillance d'un chiffrement pareil est qu'il n'est pas trop pratique de saisir à chaque fois une clé de très grande longueur.[1]

Ensuite, le chiffrement de substitution définit un nouvel ordre alphabétique, ainsi la clé contient 26 caractères distincts. Le point fort d'un tel chiffrement est le nombre de clés possibles qui est  $26!$ . Par contre, cette clé est tout d'abord trop longue de plus une analyse fréquentielle des lettres dans le message crypté facilite les attaques ce qui affaiblit la sécurité de ce chiffrement.[1]

Par ailleurs, il existe un autre type de chiffrement qui fait appel aux notions d'algèbre linéaire nommé chiffrement de Hill. Ce chiffrement dispose d'une clé sous forme d'une matrice carrée inversible d'entier (modulo 26) qui crypte les messages à l'aide d'un produit matriciel [2]. Puisqu'on travaille dans une matrice de modulo 26 dans ce cas une matrice  $K$  est inversible si et seulement si le pgcd ( $\det K, 26$ )=1. Pour décrypter ce chiffrement il faut déterminer la matrice inverse de la clé. Si on suppose que la taille de la clé est  $m \times m$  on aura clés possibles (si  $m=4$  il y aura  $10^{22}$ ).

De plus, lors de la deuxième guerre mondiale les nazis ont utilisé la machine enigma pour garantir une transmission secrète de leurs messages qui a ensuite été déchiffré par le mathématicien anglais Alan Turing. Cette machine contenait 3 anneaux constitués de 26 caractères alphabétiques pour assurer le cryptage des messages. La machine enigma, au début de la guerre, était difficile à crypter puisque les nazis changeaient leurs combinaisons toutes les 24 heures c'est-à-dire  $26^3 (=17,576)$  [1] clés possibles chaque jour.

Aujourd'hui, l'un des plus fameux forme de cryptographie efficace et avec des clés non absurdement longues est le chiffrement RSA. Ce principe de chiffrement asymétrique (ou à clé publique) est basé de l'existence d'une fonction surjective (à sens unique) pour crypter le message. Bien sûr que cette fonction soit facile à l'appliquer à quelconque message et qu'elle soit difficile à en déduire le message original d'après un message codé [2]. L'algorithme de RSA utilise beaucoup de notions d'arithmétique mathématiques y compris l'indicatrice d'Euler. Pour un étranger la détermination du message crypté se base sur le calcul de l'indicatrice d'Euler d'une clé publique qui devient très difficile si cette clé est assez grande.

Par contre, l'algorithme RSA se décrypte, théoriquement d'une manière facile, avec l'aide de l'algorithme de Shor et les ordinateurs quantiques [5]. Cet algorithme utilise l'interférence quantique et la transformation de Fourier quantique [6] pour trouver un entier  $p$  à partir d'un entier choisi au hasard  $g$  tel que  $(g^{(p/2)+1} - 1) \mid (n - 1)$  ( $n$  la clé publique :  $n=q \times r$ ,  $a$  entier). Il faut donc que  $p$  soit pair et  $(g^{(p/2)+1} - 1) \nmid n$  pour trouver un nombre qui possède un facteur différent de 1 avec  $n$ . Quand on fixe ce facteur à la valeur  $q$  alors il reste qu'à calculer  $n/q$  pour trouver  $r$ . Jusqu'à maintenant les ordinateurs quantiques ne possèdent qu'une mémoire de quelques bits ce qui limite l'exécution de l'algorithme de Shor qu'aux nombres 15 et 21. [6]

## Problématique retenue

Chaque méthode de cryptage diffère des autres méthodes par leurs algorithmes ce qui implique la différence de leur défense contre les attaques. Alors comment réagissent ces différents algorithmes face aux attaques ? Quel est l'algorithme le plus efficace en termes de sécurité ?

## Objectifs du TIPE

Afin de bien choisir la méthode de crypter les informations je me propose de :

- 1) Etudier des exemples particuliers d'algorithmes de cryptage

- 2) Comparer leurs différentes vulnérabilités aux attaques
- 3) Un cryptanalyse si possible

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] ARNAUD BODIN, FRANÇOIS RECHER : Cryptographie :  
*[http://exo7.emath.fr/cours/ch\\_crypto.pdf](http://exo7.emath.fr/cours/ch_crypto.pdf), consulté en octobre 2020*
- [2] JONATHAN TOBOUL : Nombres premiers et cryptologie : l'algorithme RSA :  
*<https://interstices.info/nombres-premiers-et-cryptologie-lalgorithme-rsa/>, consulté en novembre 2020*
- [3] KARIM BELABAS : Partie 1 Eléments mathématiques et historiques :  
*<https://numerisation.univ-irem.fr/BO/IBO14002/IBO14002.pdf>, consulté octobre 2020*
- [4] DOUGLAS STINSON : Cryptographie: Théorie et pratique : *Douglas R. Stinson, 2001, ISBN 10: 2-7117-8675-7, ISBN 13: 9782711786756*
- [5] SCOTT AARONSON : Shor, I'll do it : *<https://www.scottaaronson.com/blog/?p=208>, consulté en décembre 2020*
- [6] FANG XI LIN MCGILL UNIVERSITY : Shor's Algorithm and the Quantum Fourier Transform :  
*<https://www.math.mcgill.ca/darmon/courses/12-13/nt/projects/Fangxi-Lin.pdf>, consulté en février 2021*

## DOT

- [1] *[Juillet 2020 - première idée de TIPE: énergie]*
- [2] *[Août 2020 - problème d'une réalisation d'une expérience : raison sanitaire, idée commence à perdre sa valeur lors d'une proposition (cryptographie) d'un ami]*
- [3] *[Fin septembre 2020 - Choix du sujet cryptographie un sujet qui paraît plus abordable puisque l'informatique et les mathématiques m'intéressent plus]*
- [4] *[Octobre 2020 - retrouvaille de la référence [1] commencement de faire l'algorithme de cryptage et décryptage de plusieurs chiffrements : César/Substitution/Vigenère/Enigma]*
- [5] *[Novembre 2020-introduction au chiffrement de RSA et ordinateurs quantiques recherche sur les ordinateurs quantiques, lecture d'articles sur les ordinateurs quantiques, thèses, ouvrages et des vidéos et vouloir intégrer la notion des ordinateurs quantiques dans ma présentation, découverte de l'algorithme de Shor]*
- [6] *[Février 2021- difficultés lors de l'exécution : beaucoup de notions à définir et manque de connaissance mathématiques et physiques poussée]*
- [7] *[Mars 2021- abandon la notion des ordinateurs quantiques. Le sujet commence à être une comparaison entre les algorithmes connus et découverte de chiffrement de Hill d'après [4]]*
- [8] *[Mai 2021- comparaison des algorithmes et interprétations]*

## Energie houlomotrice

Dans mon pays, la production de l'électricité va à l'encontre de la forte demande de la part des habitants. Pour cela je me suis intéressé à l'étude de l'énergie houlomotrice qui désigne la production de l'électricité à partir de la houle.

Cette énergie est prometteuse surtout qu'elle se présente comme un vecteur important pour préserver l'environnement en réduisant la pollution due aux productions des énergies fossiles mais aussi en couvrant 5% de la demande en électricité. Cela donc rend mon TIPE adéquat avec le thème de cette année.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Houle</i>	<i>swell</i>
<i>Onde</i>	<i>wave</i>
<i>Energie</i>	<i>Energy</i>
<i>système</i>	<i>system</i>
<i>électricité</i>	<i>electricity</i>

### Bibliographie commentée

La vague est une onde mécanique qui se propage à la surface de l'eau. Ce mouvement ondulatoire est défini par le terme « houle ».

Plusieurs chercheurs ont élaborés des recherches pour modéliser la propagation d'une houle, en effet son mouvement attire les chercheurs. Les sifflements du vent en créent des rides à la surface de l'eau, celles-ci s'accroissent de plus en plus sous l'effet du vent et ce qui crée par la suite une houle [1].

Pour bien décortiquer leurs recherches et expliquer le phénomène de la houle, les chercheurs se sont mis à étudier des analyses mathématiques en se basant sur les équations des houles, en relation avec Naviers Stokes qui sont des équations aux dérivées partielles non linéaires. Pour simplifier ces études, des hypothèses ont été avancées pour rendre ces équations linéaires et résolubles à l'aide des programmes python [2, 3].

La houle d'AIRY est un modèle simplifié qui permet de savoir le déplacement d'un petit volume d'eau au cours du temps.[4] L'énergie des vagues peut couvrir une grande partie de la consommation en électricité mondiale, en effet, 16.2% de la production en électricité est d'origine hydraulique[5]. L'énergie estimée par la houle comprise entre 8000 et 80000 TWh, cette énergie se

présente plus attractive que l'énergie éolienne (la puissance en électricité estimée est de 3000 TWh), en effet, l'énergie récupérable peut atteindre 2000 TW par an ce qui peut répondre 5% de la demande en électricité.[6] Il existe des systèmes de conversions ainsi appelés systèmes de conversion qui contribuent à la conversion de l'énergie de la vague en électricité. On trouve des différents types de systèmes en particulier des systèmes offshore dont l'installation se fait dans des profondeurs d'eau d'au moins 25 m. Le Palemis est un système offshore installé au large de la côte Portugaise, ce système est bien réputé vu que la production espérée est de 750 KW.[7] On trouve ainsi les systèmes à corps oscillant tels que l'Oyster qui est un système offshore.

## Problématique retenue

Comment peut-on, à partir des mouvements de la houle, produire une énergie électrique non polluante ?

## Objectifs du TIPE

- Modélisation et résolution des équations vérifiées par la houle:

Modèle d'AIRY: équation aux dérivées partielles linéaire

Une simulation numérique du déplacement d'un petit volume d'eau

- Approfondissement dans la conversion de l'énergie en énergie électrique via un système houlomoteur:

Exemple d'un système à corps oscillant

Etude de la récupération de l'énergie mécanique par le système houlomoteur

Etude de la production de l'électricité via le phénomène d'induction

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

[1] STANISLAS PEDEBEARN : TPE L'énergie de la mer :

<http://tpeenergiedelamer.blogspot.com/p/houlomotrice.html>

[2] JEAN BOUGIS : Les ondes périodiques simples Houle infinitésimale :

[orange.fr/cours/houlesSimples/Houles03.Airy.pdf](http://orange.fr/cours/houlesSimples/Houles03.Airy.pdf)

[3] CARLOS OLIVEROS : Etude de la houle en théorie linéaire :

<http://infoterre.brgm.fr/rapports/85-SGN-300-MAR.pdf>

[4] INSTITUT JEAN LE ROND D'ALEMBERT : Houles et Vagues : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02019801/document>

[5] CONCOURS E3A 2018 : Épreuve de Physique - Modélisation PSI :

<file:///C:/Users/POSTE%201/Downloads/2018-Concours%20e3a-Physique-Mod%C3%A9lisation-PSI-enonce-2.pdf>

[6] MARIE RUELLAN : Méthodologie de dimensionnement d'un système de récupération :



## DOT

- [1] / Début aout : Recherche sur les mouvements des vagues. Une recherche à simplifier les équations non linéaires vérifiées par la houle.
- [2] Fin aout et début septembre : Une étude du modèle simplifié de la houle qui est le modèle d'Airy. Une étude sur les conditions aux limites qui permette de résoudre les équations ainsi trouvées.
- [3] En décembre : J'ai pu modéliser la propagation de la houle grâce à un code python basant sur la méthode d'Euler explicite.
- [4] En mars : J'ai fait des recherches sur différents systèmes houlomoteurs qui contribuent à la conversion de l'énergie mécanique en électricité. J'ai décidé d'étudier les systèmes à corps oscillant dans lesquels on place une bobine, celle-ci crée un champ magnétique, qui par sa variation crée un mouvement d'électrons donc de l'électricité.
- [5] En mai: Une étude était dédiée pour savoir la puissance récupérée par le système à corps oscillant en résolvant l'équation d'un pendule en régime forcé.
- [6] En juin, j'ai terminé par calculer la puissance mécanique moyenne récupérée qui présente un maximum.

## MOTEUR STIRLING SOLAIRE : ETUDE ET MODELISATION

Un des enjeux sociétaux les plus emblématiques serait de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>.

Ceci a conduit à revaloriser les moteurs Stirling. En effet, ces moteurs sont silencieux, peu polluants et fonctionnent avec des sources d'énergie vertes comme l'énergie solaire. J'ai donc décidé d'étudier le fonctionnement de ce moteur.

Ce sujet aborde le fonctionnement du moteur Stirling et son rendement en présence d'un concentrateur solaire parabolique qui lui délivre une source d'énergie non polluante.

Ainsi mon sujet s'inscrit dans le thème de l'année.

### Positionnement thématique (ETAPE 1)

*PHYSIQUE (Physique de la Matière), PHYSIQUE (Physique Ondulatoire), INFORMATIQUE (Informatique pratique).*

### Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Moteur Stirling</i>	<i>Stirling engine</i>
<i>Cycle de Stirling</i>	<i>Stirling cycle</i>
<i>Concentrateur solaire parabolique</i>	<i>Parabolic solar concentrator</i>
<i>Rayonnement solaire</i>	<i>Solar radiation</i>
<i>Rendement</i>	<i>Efficiency</i>

### Bibliographie commentée

De nos jours, La pollution de l'air devient un enjeu de santé publique très important. En effet, les transports routiers seuls produisent plusieurs dizaines de millions de tonnes d'émissions [1].

La nécessité de réduire ces émissions conduit donc à revaloriser les moteurs à combustion externe fonctionnant selon le cycle de Stirling.

Au début des années 1800, les chaudières des moteurs à vapeur sous des pressions extrêmement importantes explosaient régulièrement. Le moteur Stirling inventé par le pasteur et métallurgiste Robert Stirling en 1816, promettait de résoudre ces défaillances. Pour ce faire, et afin de résoudre ces problèmes d'explosion il conçut un moteur ne nécessitant pas de chaudière pressurisée. Pour que le moteur fonctionne, il fallait une source d'énergie extérieure (d'où l'appellation « moteur à combustion externe »). En 1870, grâce aux progrès de la thermodynamique, on a pu étudier le mécanisme du moteur et comprendre son fonctionnement. Vers 1930 ce moteur suscita l'intérêt, pour qu'il soit utilisé dans le plus d'applications technologiques possible [2] En effet, pour le faire fonctionner, il suffit d'avoir une source de chaleur externe comme l'énergie solaire (concentrée ou non), et il ne nécessite pas l'utilisation d'un carburant spécial et polluant : il peut très bien

fonctionner avec une énergie verte, renouvelable et non polluante.

Le cycle thermodynamique des moteurs Stirling [3] (dit cycle de Stirling) est composé de 4 transformations que subit le gaz et constituent un apport et un rejet de chaleur à températures constantes permettant au cycle de Stirling théorique d'avoir un rendement identique à celui du cycle de Carnot

Il existe plusieurs façons d'utiliser l'énergie solaire (le solaire photovoltaïque, l'aérovoltaïque ou encore le thermique). Les systèmes solaires à concentration (ou encore solaire thermodynamique) permettent la production de l'électricité à partir de l'énergie solaire, les températures sont très élevées pouvant facilement dépasser les 500 °C et le rendement de conversion est lui aussi important de manière générale. Ces concentrateurs solaires présentent une alternative très intéressante permettant de réduire la consommation d'énergie fossile et polluante : elles exploitent le rayonnement solaire direct capté et transformé en énergie après avoir été réfléchi sur une surface. Ce rayonnement est par ailleurs très considérable à l'échelle planétaire. [4]

Il existe deux types de concentrateurs solaires qui permettent de maximiser les performances de l'installation solaire : les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques et les concentrateurs solaires paraboliques.

Le concentrateur solaire parabolique est constitué de deux éléments : un Réflecteur, c'est un miroir parabolique concave, qui grâce à un dépôt métallique possède une propriété réfléchissante. Une des propriétés importantes de ces miroirs : lorsqu'un faisceau lumineux arrive parallèlement à l'axe de la parabole, les rayons réfléchis convergent tous en un point unique situé sur l'axe, il s'agit du foyer du miroir.

Par ailleurs, le concentrateur solaire parabolique est composé d'un récepteur qui absorbe autant de flux solaire concentré que possible, et le convertit en chaleur. Cette énergie thermique est ensuite transférée dans un fluide sous forme liquide ou gazeuse. Le récepteur doit satisfaire quelques conditions pour permettre un bon fonctionnement des concentrateurs. En effet, il ne doit pas être ni trop grand pour ne pas risquer de faire de l'ombre au réflecteur, ni trop petit pour pouvoir capter la totalité des rayons concentrés au foyer. [5].

## **Problématique retenue**

Afin de présenter un moteur Stirling performant et surtout écologique, il s'agit d'étudier et de modéliser son fonctionnement ainsi que son rendement en présence d'une source d'énergie renouvelable : l'énergie solaire collectée par des concentrateurs paraboliques.

## **Objectifs du TIPE**

1. Etudier théoriquement et modéliser le cycle Stirling et son rendement.
2. Analyser les différentes concentrations d'un concentrateur parabolique.

3. Faire un bilan thermique d'un concentrateur parabolique afin de déterminer la température reçue au récepteur.
4. Modéliser l'équation de chaleur et l'évolution de la température du récepteur en fonction du flux solaire avec python.
5. calculer le rendement théorique du moteur à plusieurs instants durant une journée.

## Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] Transport routier et pollution : <http://www.vedura.fr/environnement/transports/transport-routier>
- [2] M. LLORCA : Objet scientifique : Zoom sur le moteur Stirling vieux de 200 ans, simple mais toujours utilisé ! : <https://sciencepost.fr/objet-scientifique-zoom-sur-le-moteur-stirling-vieux-de-200-ans-simple-mais-toujours-utilise/>
- [3] B. SEBASTIEN : Moteurs thermiques à apport de chaleur externe: étude d'un moteur STIRLING et d'un moteur ERICSSON : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00110117/document>
- [4] G. AMOR, H. MOURAD, M. ALI : Etude et réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique avec poursuite solaire aveugle : [https://www.researchgate.net/publication/242083993\\_Etude\\_et\\_realisation\\_d%27un\\_concentrateur\\_cylindro-parabolique\\_avec\\_poursuite\\_solaire\\_aveugle](https://www.researchgate.net/publication/242083993_Etude_et_realisation_d%27un_concentrateur_cylindro-parabolique_avec_poursuite_solaire_aveugle)
- [5] K. NABIL, H. JUGURTHA : Etude et réalisation d'un concentrateur solaire parabolique : <https://dl.ummto.dz/bitstream/handle/ummto/4419/Kherous%20Nabil,%20Hamzaoui%20Jugurtha.pdf?sequence=1>

## DOT

- [1] *Fin Aout et Début septembre : rechercher un sujet de travail qui a abouti au choix du moteur de Stirling comme domaine d'étude. Les recherches bibliographiques m'ont faite découvrir les concentrateurs solaires utilisés dans les moteurs Stirling.*
- [2] *Début Octobre : décision finale concernant le choix du sujet : étude et simulation d'un moteur Stirling solaire.*
- [3] *Novembre : Etudier le rendement du cycle de Stirling et réaliser plusieurs modélisations en rapport avec son diagramme pv et son rendement.*
- [4] *Décembre : étudier la théorie d'un concentrateur solaire parabolique et les différentes concentrations du concentrateur et donc le transfert thermique également.*
- [5] *Janvier et Février : idées d'expérimentation : utiliser python pour simuler une animation d'une équation de chaleur en 2D, quelques difficultés ont été rencontrées lors de la modélisation.*
- [6] *Avril et Mai : modéliser en python le rayonnement solaire, la température ambiante à plusieurs instants afin de déterminer les différentes températures reçues par le récepteur du concentrateur pour enfin modéliser l'évolution de la température du récepteur en fonction du flux solaire et calculer le rendement du moteur.*

