|  |  |
| --- | --- |
| Une image contenant texte, carte  Description générée automatiquement | |
| **Stage Assistant Ingénieur**  **-**  **Ingénieur des Études et Techniques de l’Armement Maxime BARRET** | |
| Une image contenant chemise  Description générée automatiquement | École Royale Militaire  Rue Hobbema, 8  1000 Bruxelles, Belgique  BARRET, Maxime, maxime.barret@ensta-bretagne.org |

# Remerciements

Je tiens à remercier Mr Ali Kenchaf, de m’avoir orienté vers l’École Royale Militaire pour ce stage. Malgré le contexte actuel, j’en retiens de bonnes expériences qui ont permis de développer mon esprit d’initiative.

Merci au Pr. Xavier Neyt de m’avoir donné ce sujet, et avoir encadré mon stage d’assistant ingénieur.

De plus, je tiens à remercier Élie et François pour le soutien, la solidarité et l’esprit d’entraide dont ils ont su faire preuve durant ce stage.

Enfin je remercie ma compagne, Julia, de m’avoir soutenu dans mes initiatives et pour sa patience sans faille.

# Résumé

Mon stage d’assistant ingénieur s’est entièrement déroulé en ligne, et sur ordinateur. Axé sur la formation de faisceaux et la simulation, mon travail a été réalisé sur l’outil Jupyter Notebook[[1]](#endnote-1).

Dans ce rapport, nous considérerons que nous sommes aux commandes d’un drone aérien ou terrestre dont la discrétion est primordiale. La position et la vitesse de ce drone peuvent être déterminée par un ou plusieurs RADAR « ennemis » : le but est ici d’utiliser la formation de faisceaux pour tromper ces RADAR, et ainsi transmettre des informations contradictoires ou effacer la présence du drone. Après détermination du domaine d’application des différentes méthodes de formation de faisceaux, plusieurs simulations sur Jupyter ont été faites pour correspondre à des situations réalistes, et analyser les résultats.

# Abstract

My internship as a deputy engineer was solely remote, on my computer. Based on beamforming and simulation, the results of my work were coded on Jupyter Notebooks.

In this report, we will consider ourselves to be in charge of a UAV or UGV of which stealth is primordial. The drone’s position and speed can be determined by enemy RADAR systems : our goal is to make use of beamforming in order to send contradictory information or even make the drone disappear. After determining the validity domain of the many beamforming methods available, several Jupyter simulations were conducted to be as close as possible to reality and draw conclusions.

Sommaire

[Remerciements 2](#_Toc51596175)

[Résumé 3](#_Toc51596176)

[Abstract 3](#_Toc51596177)

[Introduction 4](#_Toc51596178)

[I. Contexte académique et sanitaire 5](#_Toc51596179)

[1. École Royale Militaire 5](#_Toc51596180)

[2. Département d’accueil 5](#_Toc51596181)

[3. Déroulement du stage 5](#_Toc51596182)

[4. Actions prises et outils utilisés 6](#_Toc51596183)

[II. Objectifs du stage 7](#_Toc51596184)

[III. Théorie – Beamforming 7](#_Toc51596185)

[1. Introduction 7](#_Toc51596186)

[IV. Simulation – Les notebooks 7](#_Toc51596187)

[Conclusion 7](#_Toc51596188)

[Annexes 7](#_Toc51596189)

[Glossaire technique 7](#_Toc51596190)

# Introduction

Dans l’industrie de défense, les ingénieurs civils ou militaires sont amenés à travailler sur des systèmes complexes ayant des capacités toujours plus à la pointe de la technologie : cela permet de s’adapter aux différents contextes opérationnels pouvant être rencontrés sur les différents théâtres.

Dans un contexte opérationnel, il est nécessaire de pouvoir s’affranchir des capacités d’un appareil ennemi. Dans notre cas, nous souhaiterions être capable de tromper un RADAR ennemi. Des solutions passives permettent de réduire la *RADAR Cross Section* [[2]](#endnote-2) ou même d’absorber une grande partie des ondes reçues, mais il est aussi possible d’utiliser des solutions actives. Émettre un signal dont la fréquence, la phase et l’amplitude sont générées de façon à imiter un écho RADAR provenant d’un autre endroit permettrait d’être tout aussi furtif. Afin de pouvoir émettre le signal dans une direction intéressante vis-à-vis de la situation, il est préférable de disposer d’outils à forte directivité. Cette directivité doit aussi s’adapter au contexte électromagnétique en présence, et aux positions des sources éclairant notre système. Les *Uniform Linear Arrays[[3]](#endnote-3)* (ULA) remplissent ces prérequis.

Le Professeur Xavier Neyt m’a proposé le sujet suivant :

« **Conception d’un banc de contre-mesure RADAR – Production d’un faux écho par Beamforming** »

Le but de ce stage a été de confronter les compétences acquises en cours d’année aux activités du département d’accueil, ainsi que de se familiariser avec les techniques de formations de faisceaux avec les ULA, les algorithmes de détection de directions d’arrivée, dans le but de créer une contre-mesure RADAR.

# Contexte académique et sanitaire

## École Royale Militaire

L’École Royale Militaire est un établissement militaire d’enseignement universitaire, chargé de la formation militaire, académique et physique des officiers de toutes les composantes belges. Fondée par le roi Leopold 1er en 1834 afin de fournir à la Belgique des officiers professionnels et bien formés, dont les qualités sont à la fois athlétiques et intellectuelles. L’École Royale Militaire dispense une formation pluridisciplinaire répondant aux exigences de la défense et de la société.

Ce modèle de formation, semblable en de nombreux point à la formation des Officiers des Corps de l’Armement[[4]](#endnote-4), m’a tout de suite attiré afin d’obtenir de nouvelles compétences et aptitudes dans les domaines qui me seront d’une grande utilité dans mon parcours professionnel.

Une image contenant extérieur, bâtiment, grand, rue

Description générée automatiquement

Figure 1 : École Royale Militaire de Belgique

L’établissement possède aussi un centre de recherche dans les domaines vastes de la défense et de la sécurité. Ce centre permet de développer des systèmes technologiquement avancés à partir des différentes recherches des départements le composant.

## Département d’accueil

Le département m’ayant accueilli durant l’été est le CISS : *Communication, Information, Systems & Sensors*.

Mon tuteur, le Dr. Ir. Xavier Neyt, fait partie de ce département, et dirige l’unité de recherche sur le traitement d’image.

Les recherches et les travaux d’ingénierie effectués dans ce département se concentrent sur l’acquisition, le traitement, et l’interprétation de données multimodales dans le but d’assister une prise de décision. Répondant au besoin constant de montée en niveau technologique, ce département est particulièrement sollicité de par l’évolution du contexte opérationnel. Les équipements et infrastructures dont le département bénéficie sont multiples et variés, tout comme les sujets traités par les unités de recherche : une chambre semi-anechoïque, une plateforme de réception RADAR bistatique, un cluster de calcul, et bien d’autres.

## Déroulement du stage

Le début du stage était initialement prévu le 5 Mai, cependant la COVID-19 a bouleversé les conventions établies, et nous a obliger à faire preuve d’inventivité et de résilience afin que le stage se déroule sans encombre. L’établissement n’était pas disposé à nous accueillir début Mai, et n’ayant pas l’autorisation de sortir du territoire à ce moment-ci, mes camarades[[5]](#footnote-1) et moi-même avons préféré consolider nos connaissances académiques et suivre la seconde partie du semestre 4.

Cette partie terminée, nous avons recontacter notre tuteur début Juin afin de commencer à réfléchir à nos sujets respectifs. Nous devions faire une réunion en visio-conférence, mais les indisponibilités du Pr. Neyt ne nous ont pas permis de nommer les objectifs, ni d’avoir une base de notations et de termes en commun, développant ainsi notre esprit d’initiative.

## Actions prises et outils utilisés

Le télétravail s’étant imposé comme la solution la moins contraignante pour mener à bien ce stage en faisant fi des difficultés sanitaires, il était nécessaire d’utiliser des outils en ligne collaboratifs. En effet, travailler sur des fichiers stockés localement augmenterait considérablement la quantité d’échanges de mails, et aurait été une perte de temps.



Figure - Logo de Jupyter, outil utilisé durant le stage

Après un succinct échange avec le Pr. Xavier Neyt, j’ai pris l’initiative de simuler les situations sur des notebooks, et de mettre en place un *repository*[[6]](#endnote-5) GitHub®[[7]](#footnote-2) afin de garder une trace de mon travail, mais aussi faciliter les éventuelles interventions de mon tuteur sur le code déjà réalisé.

Afin de rester joignable en tout temps et en tout lieu, j’ai utilisé Skype Entreprise®, logiciel préconisé par mon tuteur, mais aussi Discord® pour pouvoir discuter avec mes camarades sur des questions techniques. Ces outils sont tout particulièrement adaptés au contexte du télétravail.

# Objectifs du stage

## Comprendre la situation décrite

Afin de m’expliquer au mieux quelles étaient ses attentes vis-à-vis de moi, le Pr. Xavier Neyt m’a proposé une mise en situation. Un drone terrestre, aérien, ou maritime, se déplace dans un plan, et se fait éclairer[[8]](#footnote-3) par un ou plusieurs RADAR hostiles. Cette situation n’est pas souhaitable, car un RADAR peut dévoiler notre position, notre vitesse et certaines propriétés intrinsèque de notre drone. Ces informations peuvent mettre à mal la discrétion d’une mission dans un contexte opérationnel, mais aussi alimenter les autodirecteurs d’engins anti-drones.

L’idée pour contrer l’acquisition de données par le camp adverse sera de falsifier les données reçues par le RADAR. Pour cela il faut envoyer un signal perturbateur : ce dernier peut augmenter le RSB[[9]](#endnote-6), ou interférer de manière destructive avec la réflexion du signal RADAR.

Pour illustrer ses propos, je me suis proposé de modéliser cette situation en utilisant le langage Python.

## Processus de contre-mesure

Le principe de contre-mesure que l’on souhaite mettre en place a été expliqué précédemment, il faut toutefois détailler le procédé, et le décortiquer en plusieurs phases.

* Dans un premier temps, on va d’abord estimer les directions d’arrivés des signaux RADAR hostiles. Il existe plusieurs algorithmes d’estimation de *DoA[[10]](#endnote-7)*
* Dans un second temps, ces signaux vont être analysés dans le but de savoir quels signaux envoyer pour brouiller les pistes.
* Enfin, un écho trompeur sera émis par notre drone, dans les directions d’arrivées

Dans cette situation, nous utiliserons des *ULA*. Contrairement à une simple antenne omnidirectionnelle, un ULA va nous fournir les outils d’estimation *DoA*, mais aussi la directivité souhaitée pour émettre l’écho trompeur vers les RADAR

## Attentes du stage

Compte-tenu de la situation et de l’objectif décrit, une contre-mesure sera efficace si chaque étape se déroule correctement. Nous simulerons une situation simple, avec plusieurs RADAR et une source, afin de nous familiariser avec les diverses notions et notations à adopter. Aussi, étant donné que toutes les notions sont nouvelles pour moi, il est nécessaire de poser un cadre simple pour commencer, et ne pas s’éparpiller à vouloir faire une simulation complète d’un bout à l’autre.

L’objectif du stage était toujours de concevoir un banc, et donc d’utiliser des équipements pour générer et recevoir des signaux : deux solutions étaient proposées par le Pr. Neyt.

Tout d’abord, le HackRF.

**INSERER INFOS HACKRF**

Mais aussi une solution NI.

**INSERER INFOS National Instruments**

# Théorie – Beamforming

## Introduction

Le *Beamforming*, ou formation de faisceaux, est une technique de traitement du signal utilisée avec des réseaux de capteurs afin d’émettre ou de recevoir des signaux directionnels. Dans le cas où le réseau d’antenne est utilisé pour recevoir un signal, on l’appellera *beamformee*, et *beamformer* dans le cas contraire. Les signaux peuvent être sonores, mais aussi électromagnétiques, ce qui est le cas pour nous.

# Simulation – Les notebooks

# Conclusion

# Table des figures

[Figure 1 : École Royale Militaire de Belgique 6](#_Toc51922577)

# Annexes

Tout est dans le git, mais bon.. le Readme, le suivi du travail effectué, les fichiers Matlab permettant de simuler une antenne.

# Glossaire technique

1. Jupyter Notebook : Calepin contenant à la fois du code exécutable et du texte de type *Markdown* [↑](#endnote-ref-1)
2. RADAR Cross Section : Aussi appelée Surface Équivalente RADAR, elle représente l’importance relative de la surface de réflexion d'un faisceau électromagnétique qu’un objet provoque. [↑](#endnote-ref-2)
3. ULA : Un Uniform Linear Array est une succession de capteurs disposés linéairement et à distances égales. Dans notre cas, les capteurs utilisés sont des antennes RADAR [↑](#endnote-ref-3)
4. OCA : Les Ingénieurs de Études et Techniques de l’Armement et les Ingénieurs de l’Armement constituent les Officiers des Corps de l’Armement [↑](#endnote-ref-4)
5. Élie Nguyen-Huy-Thuy et François Schmidt ont effectué leur stage au même département CISS, ainsi qu’avec le même tuteur. [↑](#footnote-ref-1)
6. Github : Entreprise américaine développant l’outil de suivi de version et de stockage éponyme, le dossier où sont enregistrés les fichiers utilisés s’appelant un repository. [↑](#endnote-ref-5)
7. [Repository Github](https://www.github.com/MaxENSTAB/Stage2A) [↑](#footnote-ref-2)
8. Ici, « éclairer » est une expression militaire correspondant à « viser avec une pulsation électromagnétique » [↑](#footnote-ref-3)
9. RSB : Rapport signal sur bruit [↑](#endnote-ref-6)
10. DoA : *Directions of Arrival,* littéralement directions d’arrivée d’un signal. [↑](#endnote-ref-7)