

Antennes à commande de phase

Dans le cadre de la surveillance spatiale, il est nécessaire de détecter les objets dangereux comme les débris spatiaux. C'est justement ce que permettent de faire les antennes à commande de phase en balayant un secteur de l'espace sans mouvement de l'antenne.

Les antennes à commandes de phase ont de multiples applications pour la société telles que la détection de débris spatiaux (risques de pollution et d'endommagements), l'utilisation militaire, la surveillance du ciel. Elles deviennent alors un enjeu majeur afin de garantir la sécurité et la détection de potentiels dangers.

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

Liste des membres du groupe :

- MOLINO Léa

Positionnement thématique (ETAPE 1)

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

Mots-clés (ETAPE 1)

Mots-Clés (en français)	Mots-Clés (en anglais)
<i>Réseau d'antennes</i>	<i>Antenna array</i>
<i>Diagramme de rayonnement</i>	<i>Radiation pattern</i>
<i>Commande de phase</i>	<i>Phase control</i>
<i>Déphasage</i>	<i>Phase shift</i>
<i>Fonction réseaux</i>	<i>Diffraction grating</i>

Bibliographie commentée

L'étude d'objets dans l'espace comme par exemple les débris spatiaux est devenue avec le temps une discipline scientifique à part entière du fait des risques liés à leur propagation : pollution et collisions avec les autres systèmes en orbite [1]. Être capable de les localiser est donc un enjeu majeur.

Parmi les dispositifs actuels pour recueillir ces données, les antennes à commande de phase ont permis une avancée technologique majeure dans l'étude des détections d'objets. En effet, elles permettent de balayer toutes les zones de l'espace sans mouvement de l'antenne. Le principe est d'aligner plusieurs émetteurs et d'introduire un déphasage entre eux, créant un réseau avec N émetteurs colinéaires équidistantes [2]. Le rôle d'une antenne est de convertir l'énergie électrique d'un signal en énergie électromagnétique transportée par une onde électromagnétique [3][4]. Nous pouvons visualiser la puissance rayonnée par l'onde émise en traçant le diagramme de rayonnement du dispositif.

Sur ce diagramme de rayonnement, on observe que la directivité augmente avec le nombre d'émetteurs et que le lobe principal change de direction en fonction du déphasage. On retrouve ce résultat avec une modélisation informatique en utilisant la fonction réseaux [5].

Ainsi, des antennes comme GRAVE sur Terre ou comme Gaia dans l'espace [8] ont été développées et sont aujourd'hui un outil indispensable à l'acquisition de données permettant de cartographier les corps dans le Ciel.

Expérimentalement, avec le matériel à notre disposition au lycée, il est très contraignant de reproduire une antenne à commande de phase avec des ondes électromagnétiques. Cependant, les ondes acoustiques obéissent à la même relation des réseaux, c'est donc ce que nous choisissons pour notre expérience. Nous pouvons modéliser l'antenne à balayage électronique en réalisant un déphaseur analogique à l'aide d'amplificateurs opérationnels [6].

Il faut respecter des contraintes théoriques : nous devons faire un compromis entre échantillonnage spatial et champ lointain. Pour cela, nous espaçons les émetteurs d'un quart de longueur d'onde [3][7], ce qui est possible avec des ondes acoustiques. Et nous pouvons vérifier nos résultats avec notre modélisation informatique. Puis, avec ce programme, nous réalisons l'expérience pour une antenne idéale avec un très grand nombre d'émetteurs.

Enfin, notre antenne à balayage électronique nous a permis de détecter la direction dans laquelle se trouvait un objet dans la pièce.

Problématique retenue

Afin de détecter des objets, comment balayer l'espace sans mouvement de l'antenne ?

Comment mettre en œuvre un système d'antenne à commande de phase ?

Objectifs du TIPE

Mon objectif est de modéliser une antenne à commande de phase avec le matériel présent au lycée dans le but de détecter un objet.

Pour cela, je souhaite :

- réaliser une antenne sans déphasage et observer l'évolution de la directivité en fonction du nombre d'émetteurs,
- agir électroniquement pour introduire un déphasage entre les émetteurs avec un déphaseur analogique,
- utiliser Python afin comparer les résultats de notre antenne à la théorie pour une antenne idéale avec un grand nombre d'émetteurs (diagrammes de rayonnement théoriques grâce à la fonction réseau),
- détecter un objet avec notre antenne

Références bibliographiques (ETAPE 1)

- [1] DAN FALK : Débris spatiaux : une menace toujours plus grande : <https://www.nationalgeographic.fr/espace/2020/10/debris-spatiaux-une-menace-toujours-plus-grande>
- [2] ROGER JOSEPH : Antennes - Techniques : *Technique de l'ingénieur*, n° E3284 V1, 10 mai 199. p. 28-34
- [3] BOYER ALEXANDRE : Antennes : INSA Toulouse. 5ème année Réseaux et Télécoms, Support de cours - Enoncé de travaux dirigés, Octobre 2011, p. 52-55
- [4] BEGAUD XAVIER : Conception d'antennes -Fondamentaux : *Technique de l'ingénieur*, n° E3280 V2, 10 novembre 2015. p. 1-40
- [5] H PRÉPA : Optique ondulatoire : 2e année MP-MP*, PC-PC*, PSI-PSI* : *Hachette Supérieur*, 2004. 288 p.
- [6] AUBERT DANIEL : Réseau d'un déphaseur analogique : *Dictionnaire de physique expérimentale*, Tome III - L'électronique
- [7] SCHIMTT FRANÇOISE : Localisation de sources de bruit industrielles par des méthodes d'antennerie acoustique : *Echange avec Françoise SCHIMTT, chercheur et maître de conférence à l'université Paris Nanterre*
- [8] ESA : Gaia Phased Array Antenna delivered and integrated : <https://sci.esa.int/web/gaia/-/50523-gaia-phased-array-antenna-delivered-and-integrated>

DOT

- [1] Septembre 2020 : Lecture de [2]/[3]/[4] pour connaître les résultats attendus sur notre antenne. Premières tentatives de montage de notre antenne et premières mesures.
- [2] Octobre 2020 : Discussion avec Françoise SCHIMTT, chercheur et maître de conférence à l'université Paris Nanterre, cela nous a amené à prendre en compte des contraintes théoriques pour réussir notre première antenne.
- [3] Novembre 2020 : Résolutions des problèmes de bruit et de réflexion dans la salle grâce à des émetteurs de fréquence de résonance plus petite (2833Hz). Obtention de diagrammes cohérents pour notre antenne sans déphasage.
- [4] Janvier 2020 : Création d'un programme python pour afficher les résultats théoriques avec la fonction des réseaux comme indiqué dans le cours de physique [5]. Le diagramme obtenu fonctionne pour tous les déphasages.
- [5] Février 2021 : Introduction d'un déphasage entre les émetteurs de notre antenne à l'aide de six amplificateurs opérationnels en s'inspirant de [7]. Régler le déphasage des émetteurs en fonction du premier ne donne pas un résultat précis, on règle donc les déphaseurs en cascade.
- [6] Mars 2021 : Tracé des diagrammes de rayonnement avec notre antenne pour différentes valeurs de déphasage. La directivité du signal est cohérente avec les calculs et avec notre programme python théorique.
- [7] Fin Mars et début Avril 2020 : Expérience avec une cible. Deux méthodes différentes nous permettent de trouver sa direction.