

CAHIER DES CHARGES
RELATIF AU PROJET DE FIN D'ETUDES
DES ELEVES INGENIEURS DE L'ECOLE ROYALE DE L'AIR

*Conception et réalisation d'une antenne réseau à
commande de phase*

- UNITÉ : DAT
- SERVICE : SGMSD/GST
- ENCADRANT DU PROJET : LCL YASSINE GHERIDAN

1. Description générale :

Auparavant, l'antenne possédait une forme fixe, avec des diagrammes de transmission et de réception généralement identiques. Aujourd'hui, l'antenne réseau phasé permet une indépendance entre les diagrammes de transmission et de réception. De plus, elle peut être inclinée en élévation pour s'adapter aux variations du paysage, ce qui évite les obstacles tels que les crêtes et permet de diriger le faisceau vers des vallées. Cette flexibilité améliore l'adéquation du diagramme aux besoins spécifiques.

Ces antennes réseau à commande de phase représentent ainsi une avancée technologique majeure dans le domaine des radars. Leur capacité à former des faisceaux très directifs et à les orienter rapidement dans différentes directions leur confère un avantage décisif. En investissant dans la recherche et le développement de ces technologies, nous renforçons notre capacité à détecter et à suivre les menaces aériennes de manière toujours plus précise et efficace.

2. BUT ET OBJECTIFS :

Ce projet de fin d'études a pour objectif de concevoir et de simuler le comportement de rayonnement de l'antenne réseau du radar TPS77 MRR ou GM 403, ainsi que de réaliser un modèle réduit d'une antenne à balayage électronique (composée de 4 dipôles). L'objectif principal est de comprendre le fonctionnement de ce type d'antenne, d'explorer la conception optimale de ses éléments, et de simuler les performances du faisceau en fonction de différentes configurations de phase. Ce travail permettra également d'évaluer l'impact des variations de phase sur la directivité, le gain et la largeur du faisceau, dans le but d'optimiser la couverture et la précision de l'antenne en fonction du mode de détection choisi, que ce soit pour une surveillance à longue ou courte portée, multi-clutter ou pour contrer des missiles tactiques balistiques.

Ce projet s'inscrit dans une démarche prometteuse visant à développer un radar entièrement marocain. Les officiers ingénieurs de la DAT ont jusqu'à présent acquis des compétences en traitement du signal et des données radar grâce à divers projets de modernisation des chaînes de réception des radars TPS-43 et TPS-63. Des initiatives ont également été lancées pour moderniser la chaîne d'émission du radar TPS-63, encadrant trois projets de fin d'études d'élèves officiers de l'OISA. Ce projet aborde pour la première fois l'un des équipements clés d'un radar, à savoir l'antenne.

3. Description technique :

❖ Conception

Une antenne réseau à commande de phase fonctionne en utilisant plusieurs éléments rayonnants, chacun alimenté par un signal RF dont l'amplitude et la phase peuvent être ajustées individuellement. Cette modulation de phase permet de contrôler la direction et la forme du faisceau émis ou reçu. En synchronisant les phases des signaux émis, les ondes peuvent interférer de manière constructive dans une direction ciblée, créant ainsi un faisceau directif, tandis que des décalages de phase dans d'autres directions entraînent une interférence destructive, réduisant les signaux indésirables. Cette capacité à ajuster le diagramme de rayonnement en temps réel permet de suivre des cibles mobiles et d'optimiser la réception, offrant une flexibilité et une efficacité énergétique supérieures. Les applications de cette technologie incluent le radar, les communications sans fil et la surveillance, où la rapidité de réponse et la précision sont essentielles.

Ci-dessous, le schéma d'un réseau de N sources rayonnantes :

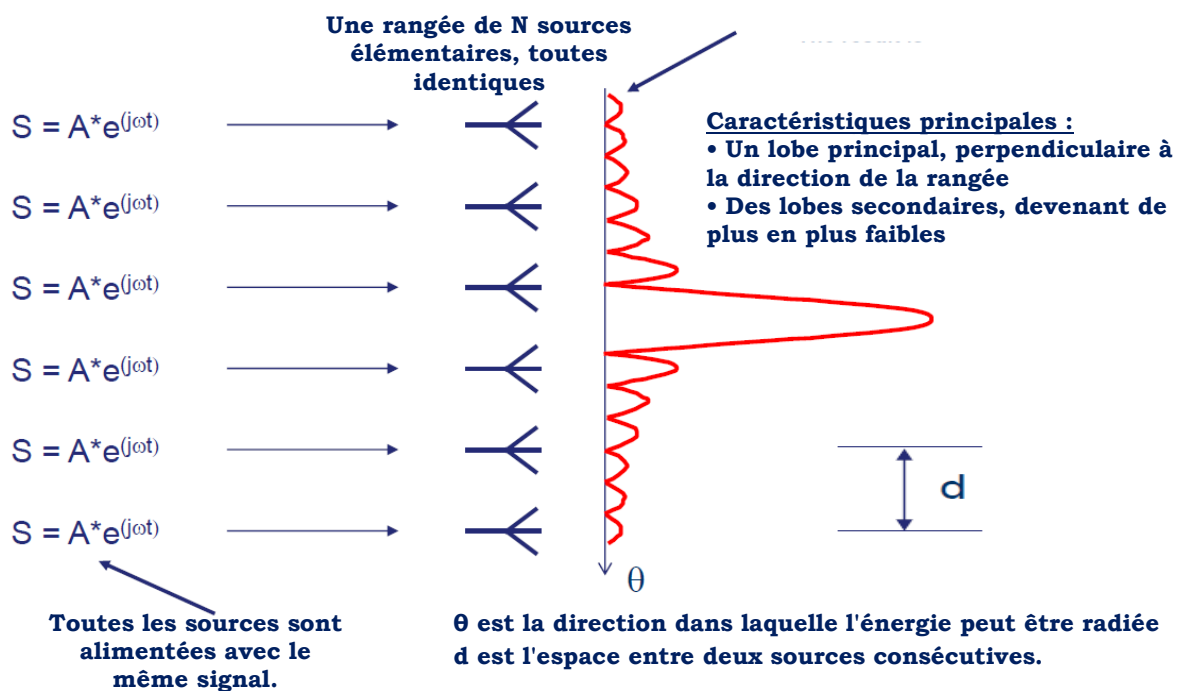


Figure 1 : Situation initiale

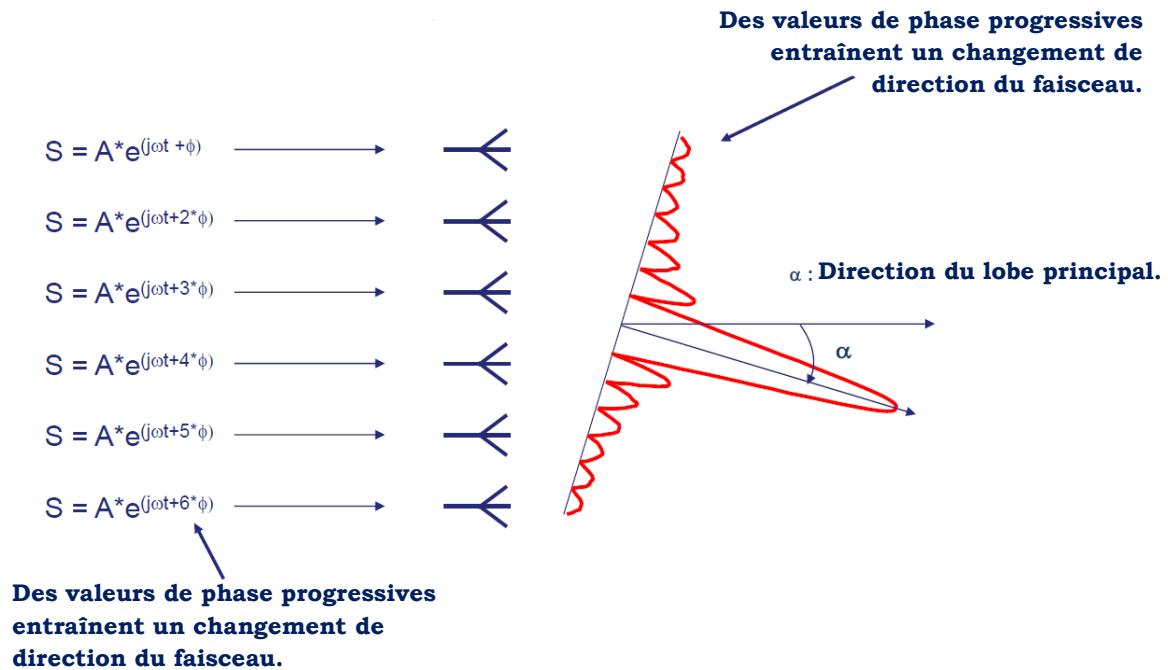


Figure 2 : Contrôle de phase → orientation du faisceau

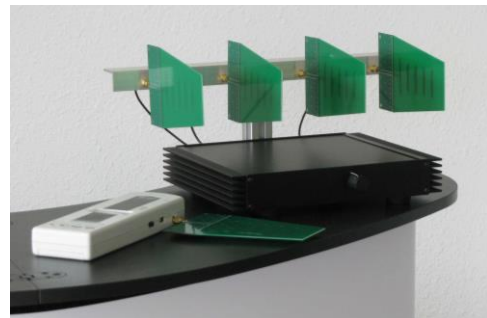
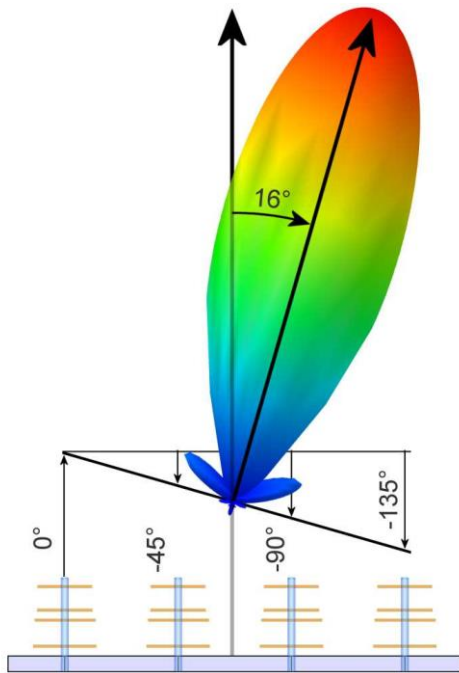
❖ Simulation : MATLAB Antenna Toolbox

Après avoir exploré les caractéristiques techniques d'une antenne réseau, il est crucial de souligner l'importance des outils de simulation dans cette conception. En particulier, le MATLAB Antenna Toolbox se révèle indispensable pour modéliser, simuler et analyser ces antennes de manière efficace. Grâce à ses fonctionnalités avancées, les ingénieurs peuvent créer et optimiser des réseaux à commande de phase, évaluant précisément leur performance en termes de directivité, de gain et de rayonnement. Ce Toolbox facilite également les simulations électromagnétiques, permettant d'anticiper les effets de l'environnement et d'améliorer les interactions entre les éléments. Ainsi, en intégrant ces outils dans le processus de conception, les élèves officiers ingénieurs peuvent développer des systèmes d'antennes plus performants et adaptés aux défis contemporains.

La MATLAB Antenna Toolbox offre un environnement complet pour la conception et l'analyse des antennes. Ses fonctionnalités avancées permettent aux utilisateurs de modéliser avec précision le comportement des antennes dans des configurations complexes, facilitant ainsi le développement et l'optimisation de systèmes de communication modernes.

❖ Réalisation d'une antenne réseau phasé à base de quatre dipôles yagi :

L'antenne réseau à commande de phase est composée de quatre dipôles Yagi, qui sont connus pour leur haute directivité et leur gain. Chaque dipôle Yagi comprend un dipôle actif (élément radiateur) et un ou plusieurs éléments réactifs (directeurs et réflecteurs) qui améliorent les performances du rayonnement.



Configuration des Dipôles : Dans cette conception, les quatre dipôles Yagi peuvent être disposés en ligne ou en grille, selon les exigences spécifiques de l'application. L'espacement entre les dipôles est crucial, généralement établi à environ 0,5 à 1 longueur d'onde, pour maximiser l'interaction constructive entre les éléments et minimiser les lobes secondaires. Chaque dipôle Yagi est alimenté par un signal RF avec des amplitudes et des phases ajustables. Cela peut être réalisé à l'aide de réseaux de répartition ou de lignes de transmission qui permettent de contrôler précisément les décalages de phase pour orienter le faisceau dans la direction souhaitée.

Ajustement des Phases : La commande de phase est essentielle pour orienter le faisceau. En modifiant les phases des signaux alimentant chaque dipôle Yagi, on peut créer un lobe principal dans la direction souhaitée, tout en minimisant les lobes secondaires. Cette technique améliore la directivité et la qualité du signal.

Simulation Électromagnétique : Avant la fabrication, des simulations sont réalisées avec des logiciels comme MATLAB ou des outils de simulation électromagnétique. Ces simulations permettent d'analyser les performances

de l'antenne, y compris le diagramme de rayonnement, le gain, et les effets d'interaction entre les dipôles Yagi.

Fabrication et Assemblage : Après validation de la conception, les dipôles Yagi sont fabriqués avec des matériaux conducteurs appropriés. Les techniques d'assemblage doivent respecter les spécifications d'espacement et d'alignement, afin d'assurer un fonctionnement optimal du réseau.

Tests et Validation : Une fois assemblée, l'antenne est testée dans des conditions contrôlées pour évaluer ses performances. Les mesures portent sur le diagramme de rayonnement, le gain, l'impédance, et d'autres caractéristiques critiques. Les résultats expérimentaux sont ensuite comparés aux prévisions de simulation pour confirmer la validité de la conception.

La réalisation d'une antenne réseau à commande de phase à base de quatre dipôles Yagi nécessite une approche rigoureuse combinant conception, simulation, fabrication et tests. Cette méthode garantit la création d'antennes performantes, capables de répondre aux exigences strictes des applications modernes.

4. CALENDRIER DE REALISATION DU PROJET :

Le projet décrit par le présent Cahier des Charges se déroulera, sauf modification ultérieure, selon l'ordonnancement suivant :

Étapes	Parties à traiter	Description
1	Visite à la DAT	Présentation du SDA ; Présentation systèmes radars ;
2	Sous Groupement de Maintenance Système de Détection	Familiarisation avec les radars GM 403 et TPS 77 MRR
3	Etude de de l'antenne du TPS 77 et GM 403	La maîtrise du fonctionnement de l'antenne réseau.
4	Simulation	Simulation du rayonnement du GM 403 ou TPS 77
5	Conception d'une antenne réseau réduite	Etude de la directivité d'une antenne réseau a quatre sources
6	Réalisation et test	Réalisation de l'antenne et vérification de son orientation
7	Production	Rédaction et présentation du mémoire.