

# Outil pédagogique pour l'analyse des systèmes d'imagerie RADAR

F. VINCENT<sup>1</sup>, B. MOUTON<sup>2</sup>, C. NOUALS<sup>3</sup>

Département Avionique et Systèmes, ENSICA, 1, Place Emile BLOUIN, 31056 Toulouse.

<sup>1</sup> [vincent@ensica.fr](mailto:vincent@ensica.fr), <sup>2</sup> [mouton@ensica.fr](mailto:mouton@ensica.fr), <sup>3</sup> [nouals@ensica.fr](mailto:nouals@ensica.fr)

## Résumé :

Dans le cadre d'un enseignement spécialisé sur les systèmes d'observation de la terre, le Département Avionique et Systèmes de l'ENSICA (Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Constructions Aéronautiques) a développé une réplique ultrasonore d'un système d'imagerie radar. Ce banc de d'essai permet aux étudiants de tester leurs propres algorithmes de calcul de l'image et de mieux appréhender les paramètres limitant la résolution de celle-ci.

**Mots clés :** outil pédagogique, traitement du signal, ultrason, radar, SAR.

## 1 INTRODUCTION

L'ENSICA (Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs de Constructions Aéronautiques) est une des Grandes Ecoles européenne dans le domaine de l'aéronautique et de l'espace. Les futurs ingénieurs civils et militaires qu'elle forme suivent une formation pluridisciplinaire. Ceux-ci peuvent toutefois se spécialiser dans une dizaine de domaines au cours des 2 derniers semestres de leur formation. L'une des ces spécialités s'intitule « RADAR et Télécommunications ». Elle est composée de 11 modules de 30 heures et ouvre également droit au diplôme de master recherche Signal Image Acoustique et Optimisation. Dans le cadre de cette formation spécialisée, les étudiants abordent les systèmes radar d'observation de la terre, plus connus sous le nom de système SAR [1] (Synthetic Aperture Radar – Radar à synthèse d'ouverture). Pour mieux appréhender le fonctionnement de tels systèmes, le département avionique et systèmes de l'ENSICA a développé un outil pédagogique capable de réaliser des images de scènes de 2x3 mètres dans une salle de travaux pratiques. Contrairement aux systèmes satellitaires ou aéroportés qui utilisent des ondes électromagnétiques à très haute fréquence, notre système utilise des ondes ultrasonores de fréquence beaucoup plus faible (40 KHz) qui facilitent l'acquisition et le traitement du signal reçu.

## 2 QU'EST-CE QU'UN SAR ?

La maquette que nous avons développée est une réplique simplifiée d'un système d'imagerie radar visant à mieux comprendre le fonctionnement de ce dernier, nous allons décrire au cours de cette première partie le fonctionnement des SAR existant à l'heure actuelle. Il existe 2 grands types de systèmes d'observation de la terre. Les systèmes optiques (visibles ou infrarouges) et les systèmes radar. Ils peuvent être aéroportés ou

embarqués à bord de satellites évoluant en orbite basse. Les systèmes optiques (comme le satellite spot par exemple) sont des systèmes passifs. Ils ont donc besoin d'une source lumineuse (le soleil) pour pouvoir réaliser des prises de vue. De plus, pour pouvoir comparer des images prises à différentes dates, il faut que la source lumineuse se trouve toujours à la même position. Ceci implique une orbite spéciale (dite héliosynchrone) pour réaliser de telles prises de vue. D'autre part ces systèmes n'ont pas la possibilité de voir les sols masqués par une couverture nuageuse. Toutes ces contraintes ont motivé le développement de systèmes actifs. Ceux-ci génèrent leur propre énergie et ne sont donc plus dépendants d'une source extérieure naturelle. De plus, les systèmes radar actuels utilisent des ondes électromagnétiques de quelques Ghz qui traversent facilement les nuages. Ces systèmes sont ainsi capables d'effectuer des prises de vue sous une couverture nuageuse.

Ces systèmes étant simplement constitués d'un seul émetteur-récepteur (contrairement aux systèmes optiques qui ont en général une matrice de capteurs CCD), la difficulté est de passer d'un signal monodimensionnel dépendant du temps à une image bidimensionnelle dépendant de l'espace. Pour cela on exploite le mouvement du porteur du radar et on suppose que la zone à imager ne contient pas d'éléments mobiles. Ainsi chaque écho reçu par le radar sera affecté d'un retard de propagation et d'une variation de fréquence (effet doppler) caractéristique d'une position au sol. En effet, à un retard de propagation on peut associer une distance radar-sol. Celle-ci décrit une courbe au sol (Fig. 1). Or tous les points de cette courbe ont une vitesse relative par rapport au radar différente. Par conséquent, chaque point de cette courbe renverra au radar une fréquence doppler différente. Ainsi, tous les points au sol sont caractérisés par un unique couple (retard, fréquence doppler). Le traitement du signal consiste simplement à mesurer l'amplitude correspondant à chacun de ces points. Il suffit ensuite

d'opérer une transformation géométrique pour passer du couple (retard, doppler) au couple (X,Y) correspondant aux variables spatiales de la zone à imager (Fig 2). Une première approche approximative consiste simplement à considérer X comme la projection de la distance radarcible au sol et Y comme proportionnel au doppler (Fig 1).

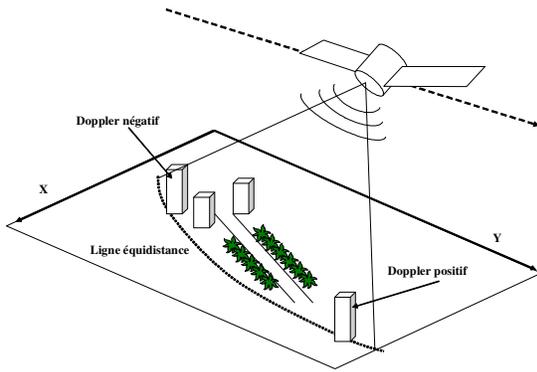


fig 1

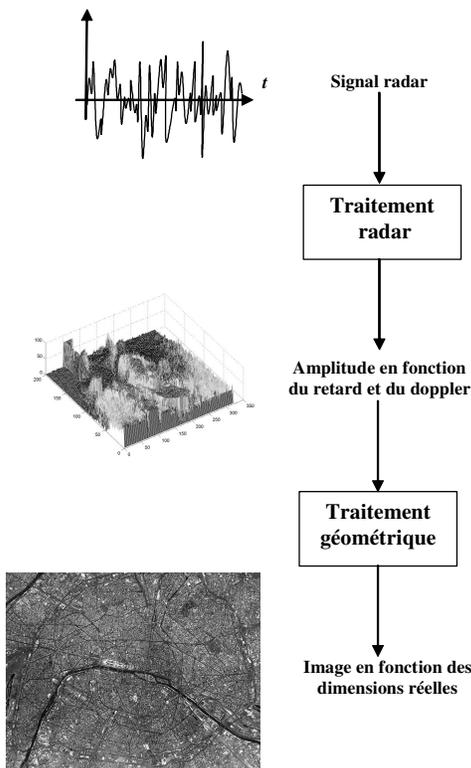


fig 2

### 3 L'OUTIL PEDAGOGIQUE

Ces appareils d'imagerie sont assez complexes tant d'un point de vue système (contrôle d'attitude, systèmes de génération électromagnétique, électronique, ... ) que d'un point de vue traitement du signal. C'est pourquoi une approche expérimentale est particulièrement utile dans leur analyse. Cependant à cause des coûts très élevés et de la complexité des systèmes opérationnels, il est impossible de réaliser une expérimentation en vraie grandeur. C'est pourquoi, nous avons développé un système d'imagerie analogue mais utilisant des ondes ultrasonores. Du fait de la différence des vitesses de propagation entre les ondes électromagnétiques et les ondes acoustiques, nous pouvons réaliser une miniaturisation de ce type de système tout en utilisant des basses fréquences. Ainsi, toute l'électronique de génération, de réception et de traitement des signaux est standard. Les figures 3 et 4 montrent le dispositif expérimental.

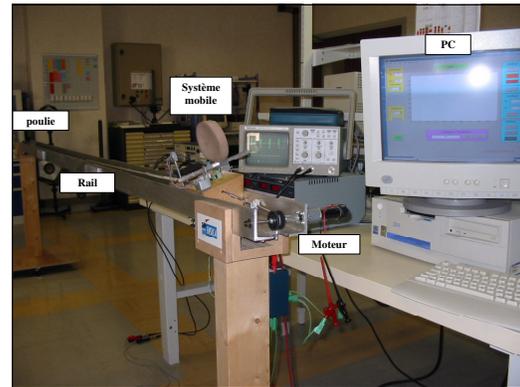


fig 3

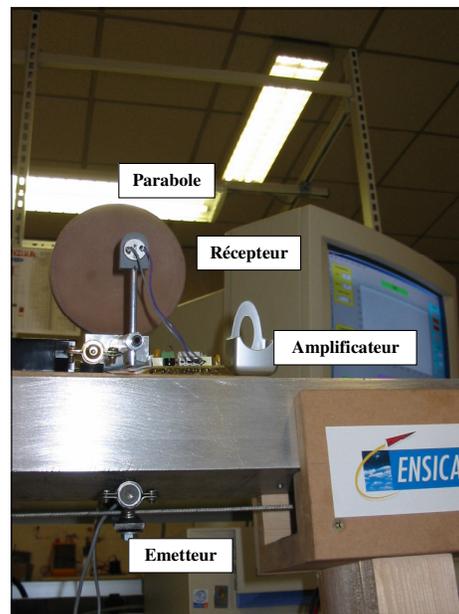


fig 4

Il est composé d'un guide métallique de 3 mètres de long sur lequel vient glisser le système imageur actionné par un système moteur-poulies. Le mobile est constitué d'un émetteur à ultrason, d'une parabole de 10 cm de diamètre et d'un capteur situé à son foyer. Le signal recueilli est filtré et amplifié avant d'être envoyé vers un PC.

Le signal émis est un signal impulsionnel dont la fréquence est modulée linéairement (chirp) comme le montre la figure 4. La largeur d'impulsion  $T$  et la période de répétition  $T_r$  sont réglables. Les valeurs classiquement utilisées sont 5 ms et 30 ms respectivement. La fréquence centrale est de 40 KHz et la bande de fréquence est de 4KHz autour de cette fréquence.

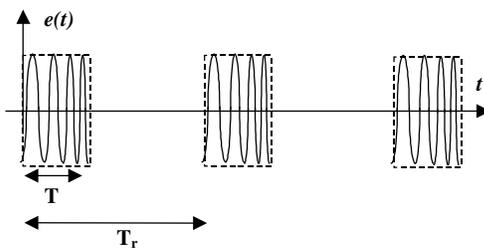


fig 5

Le signal reçu est démodulé et échantillonné par l'intermédiaire d'une carte d'acquisition National Instruments (NiDaq 6064E). Cette carte est directement gérée par matlab, ce qui facilite l'acquisition et le traitement des données ainsi que la commande du moteur. Nous avons également créé une interface utilisateur facilitant la définition des paramètres de l'expérience (zone à imager), la visualisation des résultats (image générée) ainsi que la sauvegarde et le rappel de fichiers d'expérience (fig 6).

Le traitement des données classiquement réalisé sur les systèmes satellitaires ou aéroportés peut alors être directement appliqué aux données acoustiques ainsi recueillies. Le traitement le plus simple pour obtenir une image consiste à découpler le traitement distance (mesure de l'amplitude des échos en fonction de la distance) du traitement doppler (mesure de l'amplitude des échos en fonction des vitesses relatives par rapport au radar).

Le traitement distance est réalisé par corrélation du signal reçu avec le signal émis (compression d'impulsion). Ces retards sont ensuite convertis en distance puis projetés au sol pour obtenir la dimension X (fig 1).

Dans le cas où le radar se déplace en ligne droite avec une vitesse constante, la variation fréquentielle due à l'effet doppler est une fonction linéaire du temps. Le traitement doppler consiste à mesurer le décalage de cette variation linéaire en fonction du temps d'avancée

de l'antenne; celui-ci étant caractéristique d'une position sur l'axe Y (fig 1).

#### 4 DEMARCHE PEDAGOGIQUE

Après avoir compris le fonctionnement de ce système, les étudiants doivent développer leur propre programme (sous matlab) de traitement du signal radar pour obtenir une image focalisée. Ils doivent comparer la résolution obtenue par rapport à la résolution théorique du système. Celle-ci est égale à  $\frac{c}{2B} \times \frac{L}{2}$  où  $c$  est la célérité de l'onde ( $c = 340$  m/s),  $B$  est la bande du signal émis ( $B = 4$  KHz) et  $L$  est la taille de l'antenne ( $L = 10$  cm). On obtient donc ici une résolution théorique de  $4 \times 5$  cm. Les dégradations éventuellement observées sont liées à l'utilisation de systèmes électroniques réels et donc non parfaits mais également aux approximations du modèle de propagation du signal acoustique. Ainsi, en fonction de la précision désirée sur l'image finale, plusieurs traitements plus ou moins complexes peuvent être envisagés.

La figure 6 montre un exemple de résultat obtenu avec un traitement basique.

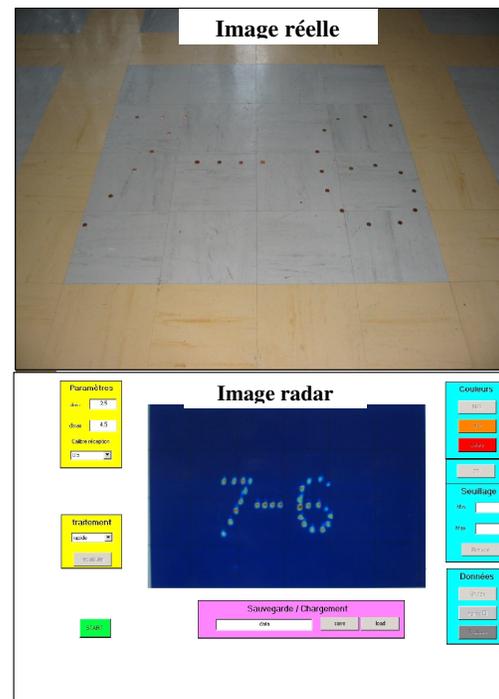


fig 6

Pour aller plus loin et se rapprocher des défauts des systèmes opérationnels du monde militaire ou civil, le banc de test est monté sur roulettes. Celles-ci permettent de perturber la trajectoire du mobile pendant la phase d'acquisition. Le traitement du signal à envisager doit alors prendre en compte le fait que la trajectoire n'est

plus parfaitement connue. Les étudiants peuvent alors tester certaines méthodes dites « d'autofocus ».

## 5 CONCLUSION

La mise en pratique d'un système d'imagerie radar permet aux étudiants de mieux comprendre les contraintes et limitations d'un système réel et d'observer certaines différences par rapport à ce que prédisait la théorie. Le banc expérimental d'imagerie ultrasonore développé dans ce cadre permet également de comprendre quels sont les paramètres qui limitent les performances (bande du signal, taille de l'antenne, puissance émise, linéarité du signal, ...) et comment les choisir en fonction de la résolution désirée. Ce dernier point est la clef du métier d'ingénieur auquel ces étudiants sont destinés.

D'autre part, cette expérience leur permet d'appréhender le système dans sa globalité (mécanique, électronique, traitement du signal) et de mieux comprendre son fonctionnement ce qui ne sera pas toujours le cas lorsqu'ils travailleront sur un projet de plus grande envergure.

Enfin ce projet permet de décloisonner les différentes disciplines formant l'enseignement EEA et de montrer, de façon ludique, les liens entre elles.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Philippe Lacomme, Jean-Philippe Hardange, Jean-claude Marchais, Eric Normant. *Air and Spaceborne Radar Systems- An introduction*. William Andrew publishing 2001.