

Intérêt d'outils de simulation à modélisation microscopique pour la conception de systèmes radar navals

On the new generation of simulation tools in the design of naval radar systems and related research

Einar WENSINK¹, Pierre SAULAIS²

¹THALES Naval Nederland

PO Box 42, NL-7550 GD Hengelo, Pays Bas

einar.wensink@nl.thalesgroup.com

²THALES Naval France

7-9 Rue des Mathurins, 92221 Bagneux Cedex, France

pierre.saulais@fr.thalesgroup.com

Résumé – Dans ce papier est montrée l'importance croissante des simulations dans la conception de nouveaux systèmes radar à haute résolution. L'évolution des besoins opérationnels se traduit par un besoin d'une nouvelle échelle de représentation dans les simulations. Pour satisfaire ces besoins, les modélisations macroscopiques classiques ne fournissent plus suffisamment d'information. Non seulement les cibles et l'environnement mais aussi la chaîne radar doivent être décrits par une modélisation à échelle microscopique permettant une représentation plus fine et plus détaillée.

Abstract – *The purpose of this paper is to explain the increasing importance of adequate simulation tools in the design of new high-resolution radar systems for defence purposes. Changing demands on radar performance imply the need for a new scale of representation in simulations. To meet this new demands the classical macroscopic descriptions do no longer provide enough information. The radar chains as well as the targets and environments have to be represented on a microscopic scale, allowing for more detail.*

1. Introduction

Les besoins changent pour la prochaine génération de systèmes radar pour applications navales. Ceci provient d'un nouveau besoin opérationnel lié à la détection de petites cibles en présence d'un environnement fortement dominé par le fouillis de mer. Ces besoins ne concernent pas uniquement les applications d'opérations en zone littorale, mais également des tâches comme la surveillance côtière.

L'environnement des opérations en zone littorale est beaucoup plus compliqué que celui de la pleine mer qui a constitué la référence des dernières décades. La nature des signaux rétrodiffusés par la surface de la mer est plus complexe, ce qui est dû, entre autres, à l'interaction de la mer et de la côte dans les eaux moins profondes. Dans la zone littorale opèrent de nouvelles cibles plus petites, aussi bien aériennes que de surface. Ces cibles ont généralement une petite surface équivalente radar, comme des dinghies, et sont de ce fait difficiles à détecter puisqu'elles vont avoir tendance à se confondre avec les échos de rochers, vagues ou côtes. Pour pouvoir discriminer les cibles du fouillis, une image radar plus détaillée est nécessaire, ce qui demande donc une modélisation plus fine du fouillis de mer puisque les modélisations macroscopiques existantes se révèlent insuffisantes.

La tendance générale va également dans le sens de la réduction de la surface équivalente radar. Non seulement les cibles d'intérêt ont des dimensions plus petites, mais elles sont plus furtives et plus véloces, comme les missiles rasants. Le radar doit donc être plus sensible, sans pour autant augmenter sa fausse alarme. Les modèles d'environnement doivent pouvoir être décrits avec la même échelle.

On peut noter également que la quantité d'information nécessaire à la caractérisation des signaux rétrodiffusés augment avec la résolution nécessaire à la détection de petites cibles se distinguant peu de leur environnement, ce qui fait que les représentations et statistiques classiques ne sont plus suffisamment adaptées. Le développement et le test d'algorithmes nouveaux tirant parti au mieux de toutes ces données nécessite des simulations à une échelle plus fine.

2. Modélisation à échelle macroscopique

Jusqu'à récemment les radaristes se sont surtout intéressés à ce que l'on peut appeler une performance moyenne. On peut parler de point de vue macroscopique quand la modélisation part d'une représentation idéale à laquelle sont ajoutés quelques défauts. Un bon exemple de cette démarche est la représentation idéale fournie par l'équation radar où l'on ajoute un terme de perte L pour représenter toutes les pertes

(comme la perte par modulation de lobe représentée par un terme forfaitaire). Un autre exemple est fourni par la représentation de la mer comme un miroir plan, avec l'adjonction d'un coefficient de rugosité. Un troisième exemple de modélisation moyenne est celui de la représentation du fouillis de mer par une distribution de Weibull ou une distribution en K.

La représentation macroscopique décrite dans ces exemples, dans lesquels les caractéristiques du radar, des cibles et de l'environnement sont représentées par une modélisation moyenne, est insuffisante pour répondre à l'évolution du besoin. Un changement dans la simulation est nécessaire également d'un point de vue opérationnel : dans la conception fonctionnelle de la tête radar et des traitements associés, les entrées simulées doivent être représentatives de données réelles. Pour la conception de l'architecture, des modèles détaillés sont nécessaires pour analyser comment satisfaire aux exigences fonctionnelles du radar. Dans la phase de validation, des descriptions détaillées sont également nécessaires pour garantir que les exigences sont tenues.

Pour en revenir à la description du fouillis de mer, on peut noter que les modèles basés sur des distributions d'amplitude ne fournissent pas assez de détails pour déterminer si les

objets nouvellement détectés constituent de nouvelles cibles ou des parties de fouillis. Pour une modélisation précise du fouillis, la corrélation spatiale et temporelle doit être incluse dans la représentation.

3. Modélisation à échelle microscopique

L'incorporation de corrélation spatiale et temporelle dans la modélisation de fouillis de mer constitue le point de départ de l'élaboration d'un modèle de fouillis à échelle microscopique. Cette échelle de modélisation microscopique ne concerne pas seulement le fouillis, mais également les cibles qui nécessitent une représentation plus fine que celle d'un écho ponctuel. Il en va de même de la chaîne d'émission et de réception du radar, qui doit être décrite par des modèles suffisamment détaillés et représentatifs des limitations ou des défauts des sous-ensembles, de façon à pouvoir évaluer l'impact de ces imperfections sur les performances du radar. De plus, le niveau de représentation doit être homogène entre les différents éléments constitutifs de la simulation. En effet, si une représentation plus fine est mise en œuvre pour l'environnement, les modèles des sous-ensembles de la chaîne radar, en plus de leurs propres limitations, doivent pouvoir rendre compte des éléments plus fins décrivant les signaux

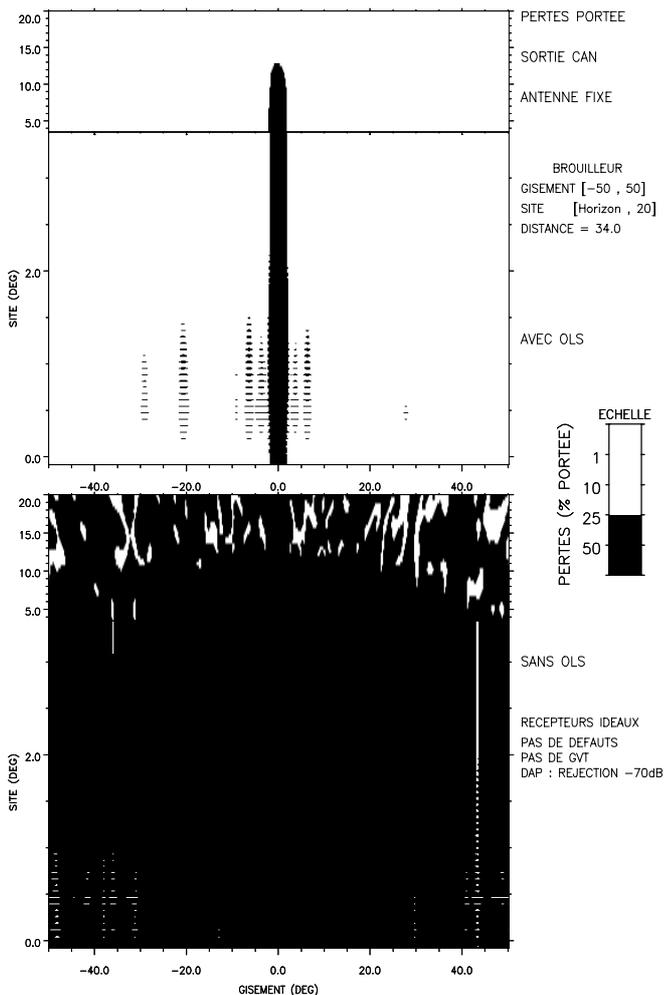


FIG. 1 : Cas du récepteur idéal

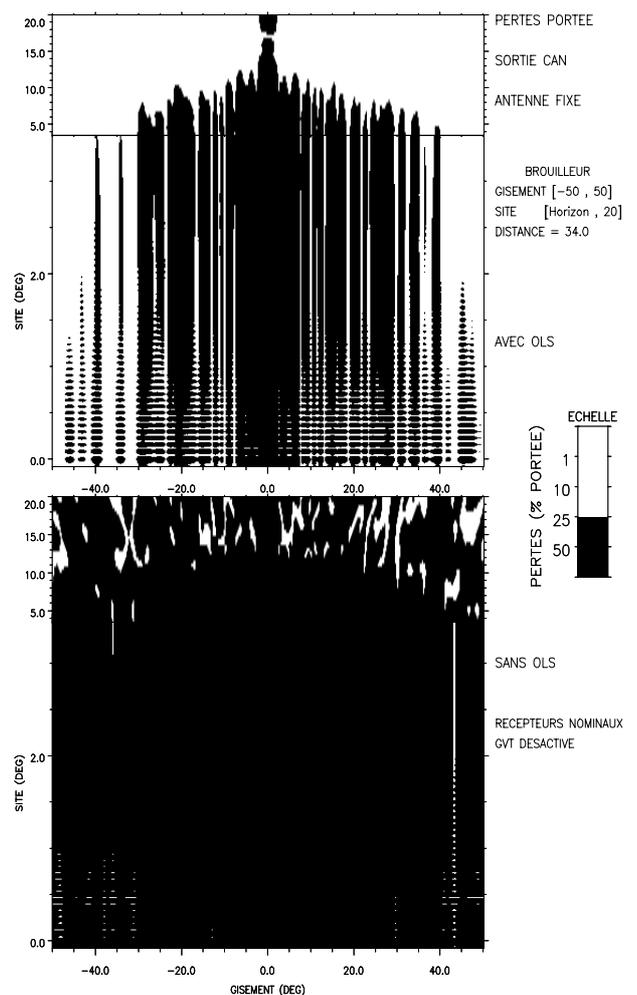


FIG. 2 : Cas du récepteur nominal

radar.

Les données synthétiques doivent être aussi représentatives que possible de données réelles. Un générateur de signaux synthétique est en cours de développement à THALES NAVAL FRANCE pour représenter des signaux radar plus finement. Ce générateur fait partie de la Bibliothèque de signaux radar (BSR). De son côté, THALES NAVAL NEDERLAND a développé la Generic Golden Reference (G2R) capable de tester des chaînes de traitement de signal existantes ou récemment développées. Les bibliothèques BSR et G2R pourront être utilisées pour le développement d'algorithmes ainsi que pour tester la qualité de chaîne radar.

4. Exemple de réalisation

La construction de la bibliothèque de génération de signaux permet de moduler le niveau de finesse de l'application visée. Par exemple, en commençant par une représentation classique de cible comme un rétrodiffuseur ponctuel, elle propose également une représentation en matrice de rétrodiffusion nécessaire pour modéliser des points brillants multiples avec un grand niveau de détails.

L'exemple suivant illustre la prise en compte des défauts de la chaîne radar pour un fonctionnement sans ou avec opposition des lobes secondaires (OLS) face à un brouilleur. La figure 1 représente le cas d'un récepteur idéal, la figure 2 celui d'un récepteur nominal (avec défauts). On peut noter que, sans OLS, le niveau de brouillage masque les défauts de la chaîne. Avec OLS, le haut de la figure 2 fournit la réponse souhaitée (cas idéal) et le haut de la figure 1 la réponse obtenue (cas avec défauts). Les courbes sont graduées en ratio de portée avec et sans brouilleur.

5. Méthodologie

Une des difficultés rencontrées dans la définition et le test d'algorithmes récemment développés est le choix d'une situation appropriée pour tester et évaluer leur performance. En effet ces algorithmes sont définis et conçus pour réaliser une tâche spécifique dans un environnement complexe, dont les caractéristiques doivent être prises en compte dans leur

développement et leur test.

Si l'on dispose de données affinées, aussi bien synthétiques qu'issues d'enregistrements, on peut développer une méthodologie efficace pour l'analyse de chaînes de traitement radar. Les algorithmes de traitement du signal peuvent alors tenir compte des imperfections des différents sous-ensembles de la chaîne radar.

Dans l'exemple suivant, des signaux réels issus d'enregistrements en haute résolution ont été utilisés pour comparer deux chaînes de traitement. Les données réelles sont injectées dans la chaîne de traitement G2R, qui décrit la chaîne de traitement radar depuis le filtre de Hilbert jusqu'à la formation de plot (cf. figure 3). La simulation est organisée par modules et tous les modules figurant sur le bloc-diagramme doivent être parcourus en cascade.

Les interfaces d'entrée et de sortie des modules sont conçues pour pouvoir aisément remplacer un ou plusieurs modules par un traitement récemment développé. On peut ainsi aisément évaluer les performances du nouveau traitement et les comparer à celles du traitement de référence. Les chaînes de traitement définies sur la base de cette simulation peuvent être excitées par des signaux de synthèse comme par des signaux réels enregistrés.

Dans l'exemple qui est décrit, la chaîne de référence est comparée à une chaîne où le module de l'estimation Doppler a été modifié. L'estimation d'une vitesse Doppler est classiquement réalisée par une FFT. La version modifiée utilise une méthode d'estimation paramétrique à haute résolution, qui estime la distribution Doppler par une méthode autorégressive et qui permet de dimensionner un filtre blanchissant le fouillis [5], [6], [7], [8] et de récupérer des cibles dans le fouillis. Les résultats des figures 4 et 5 ont été obtenus en utilisant des enregistrements réalisés à partir d'un radar à haute résolution fonctionnant en bande X.

Toutefois, il n'est pas toujours possible de réaliser des enregistrements de données réelles, surtout si les scénarios à tester sont complexes (faisant intervenir des missiles, par exemple). C'est pourquoi la génération de signaux synthétiques représentatifs des cibles, de l'environnement et de la tête radar devient indispensable, en se rapprochant

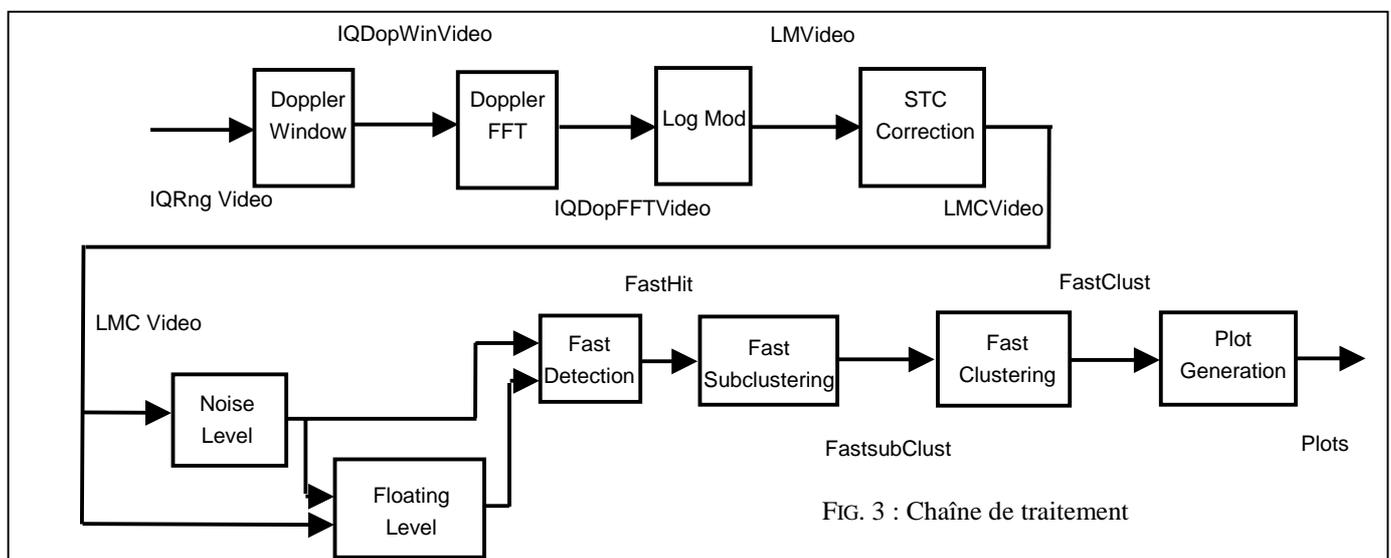


FIG. 3 : Chaîne de traitement

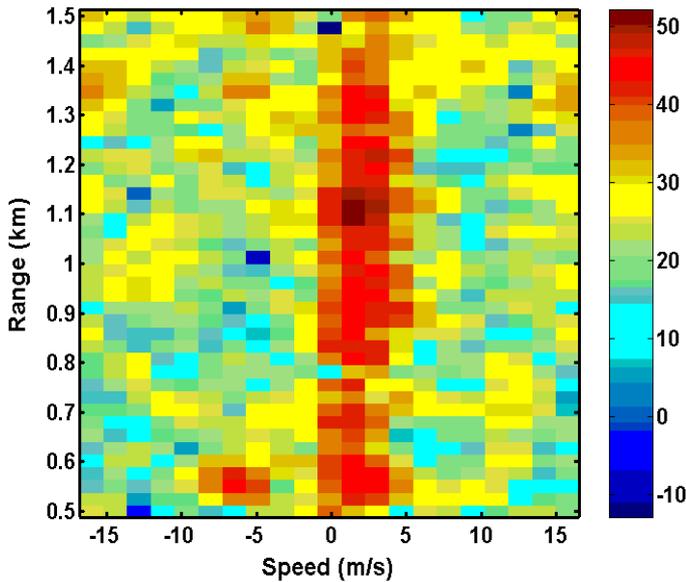


FIG. 4 : Résultat d'un traitement Doppler classique

autant que faire se peut des données réelles. Pour satisfaire aux besoins nouveaux, ces signaux synthétiques doivent permettre de représenter les nouvelles situations et les cibles nouvelles de façon suffisamment représentative pour remplacer les signaux réels quand ceux-ci ne sont pas disponibles. La bibliothèque permet de valider les modèles de signaux synthétiques à partir de signaux réels. De ce fait, la capacité de la bibliothèque à affiner les modélisations utilisées grâce à des signaux réels conforte la fiabilité des résultats obtenus sur les signaux synthétiques en l'absence de signaux enregistrés. Cette validation et cet affinage des modèles de signaux synthétiques décrivant l'environnement aussi bien que la chaîne radar représentent une étape importante de la méthodologie. On constitue ainsi une base solide pour la définition et le réglage fin des algorithmes de traitement du signal. De bons modèles permettent ainsi d'avoir une prévision fiable des performances du radar avant sa réalisation complète et ses essais.

6. Conclusion

Le Générateur de signaux élabore une scène radar à base de scénarios, afin de simuler le contexte d'un radar spécifié. Cette scène ne prend pas seulement en compte la description de l'environnement et des cibles, mais aussi les caractéristiques du radar lui-même. L'influence de la tête radar sur les exigences du traitement du signal peuvent être simulées en relation avec les algorithmes récemment développés. De la sorte, on peut aboutir à une bonne compréhension de la relation entre tête radar et chaîne de traitement.

Le passage de la modélisation à échelle macroscopique à la modélisation à échelle microscopique représente un grand défi. L'utilisation de données synthétiques pour évaluer les performances d'algorithmes nouvellement développés est prometteuse, en permettant de tester les algorithmes dans

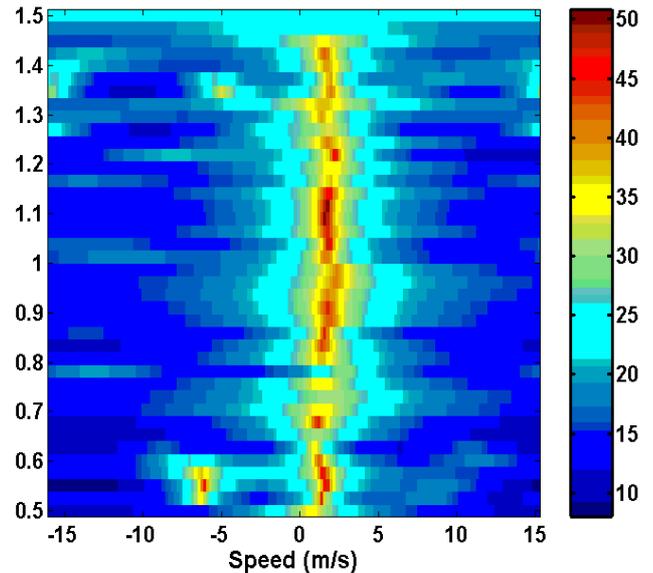


FIG. 5 : Résultat d'un traitement Doppler avec filtrage du fouillis

différents scénarios et environnements. De même, des caractéristiques particulières de la tête radar, comme la polarisation, peuvent également être prises en compte.

Ainsi, les radaristes manifestent un intérêt croissant à tester sur des données synthétiques différentes parties de la chaîne radar, ce qui leur permet d'avoir une vue prévisionnelle des performances du radar en développement.

Références

- [1] D.K. Barton, *Radar system analysis*, Prentice-Hall inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1964.
- [2] F.E. Nathanson, *Radar design principles*, Mc Graw-Hill Book Company, New York,
- [3] M.I. Skolnik, *Hand book radar*, Prentice Hall inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1972.
- [4] P. Saulais et L. Chouilly, *Model for small targets geometrical visibility in rough seas*, Proceedings of PSIP'2001, SEE, Marseille, France, January 2001.
- [5] H.E. Wensink et A.M. Bazen, *On stochastic parametric modelling of radar sea clutter for identification purposes*, Proceedings of PSIP'99, SEE, Paris, France, pp. 80-85, January 1999.
- [6] H.E. Wensink et A.M. Bazen, *On radar detection with automatic clutter rejection*, NATO-RTO meeting proceedings 40: « High Resolution Radar Techniques », Granada, Spain, March 1999, pp.18/1-18/10, published November 1999.
- [7] H.E. Wensink et A.M. Bazen, *On automatic clutter identification and rejection*, Proceedings of Radar'99, Brest, France, May 1999.
- [8] H.E. Wensink, *On parametric detection of small targets in sea clutter*, Proceedings of FUSION-2000, Paris, July 2000.