

## FORME D'ONDE DE VEILLE RADAR ADAPTEE A L'ANTIFURTIVITE ET AUX CONTRE-MESURES

N. Gonget\*, L. Martinet\*, P.Y. Arquès\*#, M. Artaud\*

\* DCN / CTSN - Lutte Surface Air - Service Traitement du Signal et de l'Information,  
83000 TOULON NAVAL

# I.S.I.T.V., Université de Toulon et du Var, B.P.32, 83957 LA GARDE CEDEX - FRANCE

Dans le contexte actuel, où la furtivité des cibles et les contre-mesures électroniques ont fait des progrès importants, les radars navals de veille sont confrontés au problème d'améliorer conjointement leur pouvoir de détection et leur robustesse aux contre-mesures. Cet article propose une forme d'onde à caractères aléatoires tentant de répondre à ces difficultés.

In the present context where both stealth target and electronic countermeasure techniques have made important progress, naval surveillance radars are faced with the problem to jointly improve their detection capacity and their countermeasure robustness. In this paper we propose a new radar random waveform, attempting to resolve these difficulties.

### 1. INTRODUCTION

On considère ici des radars navals de veille embarqués sur des bâtiments de surface se devant d'opérer dans des situations complexes caractérisées par une furtivité croissante des cibles et des contre-mesures importantes. On cherche à améliorer conjointement leur pouvoir de détection pour compenser la furtivité et leur agilité d'émission pour lutter contre les contre-mesures.

#### 1.1 Furtivité

Actuellement, les solutions employées pour la lutte contre les "cibles furtives" sont, entre autres, le multistatisme, ou l'utilisation de basses fréquences d'émission [2] (mais ces solutions sont difficilement exploitables sur des bâtiments de surface), ou l'augmentation de l'énergie rayonnée. Cette augmentation est classiquement obtenue par la mise en oeuvre de formes d'onde permettant un temps d'émission plus long. Pour ce faire, il est possible de modifier le facteur de forme en utilisant des fréquences de récurrence plus élevées (mode Haute Fréquence de Répétition) ou des impulsions plus longues [4]. De même, un temps d'observation plus long (pointage du

faisceau sur la cible [3] ou balayage plus lent de l'antenne) peut être employé dans certaines applications et permet alors d'émettre un nombre plus important de rafales.

Ces techniques sont d'une part peu discrètes, d'autre part très répétitives: elles tendent donc à favoriser les contre-mesures électroniques et se révèlent peu adaptées au contexte considéré.

#### 1.2 Contre-mesures

Pour lutter contre les contre-mesures (outre les traitements d'antenne, la réduction des lobes secondaires, etc., qui tentent de limiter le domaine angulaire d'efficacité des brouilleurs [1]), l'agilité de fréquence est un moyen efficace [5]. Cependant, la variation de fréquence ne permet pas d'effectuer une intégration cohérente, ce qui limite les gains de traitement (les formes d'onde totalement agiles ne procurent que de médiocres capacités de détection). Par ailleurs, la fluctuation naturelle des cibles [1, 6] ainsi que les procédés de réduction de S.E.R. [7] sont fortement dépendants de la fréquence émise. Des compromis sont alors nécessaires. Certaines études [8, 9, 10] présentent des solutions avec des rafales entrelacées de fréquences différentes, solutions



qui permettent ainsi de maintenir un niveau de signal suffisant par une intégration cohérente. Malheureusement des aspects périodiques sont ainsi conservés et rendent, de ce fait, le radar vulnérable aux nouvelles techniques de brouillage. Certaines formes d'onde apériodiques ont été étudiées et leurs avantages exposés en termes de résolution des ambiguïtés [11] ou de réduction des effets des vitesses aveugles [12].

### 1.3 La solution proposée

Ici, on reconsidère le compromis sur la forme d'onde émise de façon à satisfaire à la fois à des exigences de détection et de robustesse aux contre-mesures.

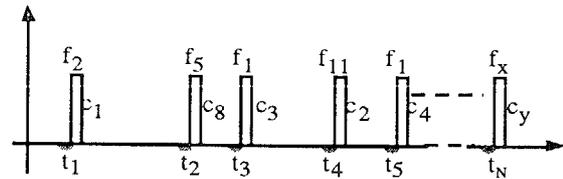
On propose donc une forme d'onde utilisant l'agilité de fréquence et des impulsions à caractères aléatoires, imprévisibles pour les contre-mesures: l'efficacité des brouilleurs, même répondeurs, devrait être fortement diminuée. Cette forme d'onde devrait conduire, par un bilan énergétique suffisant, à la détection de cibles de faibles S.E.R., c'est à dire furtives; pour ce faire, elle passe par la formation de motifs d'impulsions dont les caractéristiques (périodes de répétition, largeurs d'impulsions, fréquences, modulations..) suivent des lois aléatoires bien définies et par l'imbrication aléatoire de ces motifs.

On propose aussi une structure de réception associée permettant d'exploiter au mieux la complexité de cette forme d'onde (cf. figure 1). Une de ses caractéristiques est de comporter une réception en parallèle sur plusieurs fréquences. L'état actuel des avancées technologiques (capacité et vitesse des mémoires, intégration des circuits) semble compatible avec la réalisation d'un tel traitement. Ce dernier répond, en plus des besoins imposés par la furtivité et les contre-mesures, aux contraintes permettant d'acquérir les informations distance et vitesse de la cible sans ambiguïté, très important pour le traitement du signal, en permettant l'utilisation de traitements cohérents pour l'amélioration

du gain et permettant le traitement des zones aveugles en vue d'un pistage en aval de la chaîne. C'est dans le rassemblement de toutes ces facultés que réside l'originalité de la structure proposée. Sa validation passe par l'étude de ses performances (ambiguïtés distance et Doppler, probabilités de détection et fausses alarmes...).

## 2. FORME D'ONDE

La forme d'onde est une suite d'impulsions dont le contenu et les instants d'émission sont tirés suivant des lois aléatoires. Ces lois respectent deux grandes contraintes: la fonctionnalité du radar, et le compromis détection - robustesse aux contre-mesures.



- instants aléatoires d'émission:  $t_j$
- fréquences aléatoires d'émission:  $f_i$
- codes de compression aléatoires:  $c_k$

### 2.1 Principe

Trois tirages aléatoires sont en fait à gérer: instants d'émission des impulsions, fréquences et codes de compression de chacune des impulsions de même fréquence.

L'aspect aléatoire de ces trois caractéristiques répond, d'une part, au besoin des contre-mesures et présente, d'autre part, les caractéristiques suivantes:

- Le caractère aléatoire des instants d'émission permet de résoudre le problème des ambiguïtés distance et présente l'avantage de ne pas être aveugle sur une zone fixe.

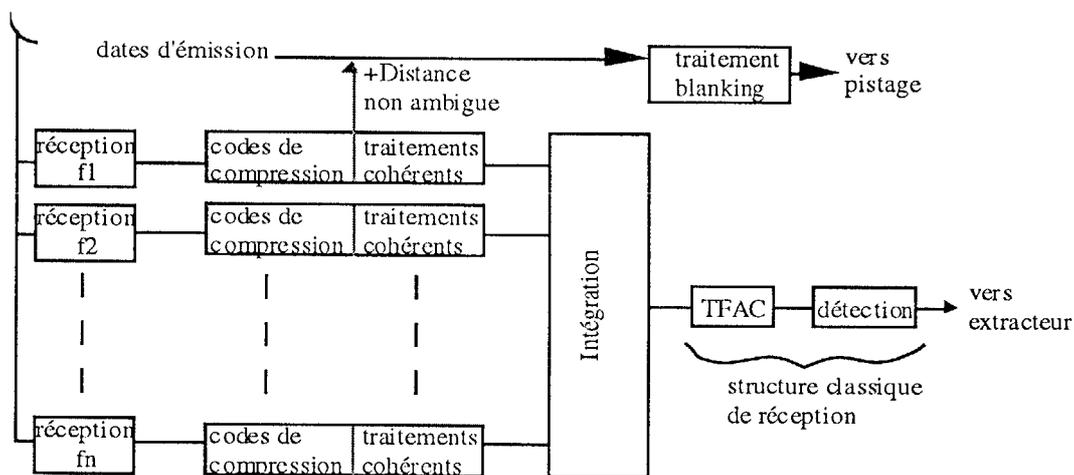


figure1: Structure de réception

- La forme d'onde possède les avantages de l'agilité de fréquence qui ont été présentés dans l'introduction.

- L'utilisation de nombreux codes de compression (codes de phase et/ou de fréquence) permet la reconnaissance individuelle de chaque impulsion et complète de ce fait l'aspect aléatoire des instants d'émission pour ôter l'ambiguïté en distance.

## 2.2 Contraintes

- La loi de tirage des instants d'émission est choisie uniforme. Ce choix se justifie par la volonté de ne privilégier aucun instant particulier pour lutter contre le brouillage dit intelligent. Néanmoins, les bornes minimales et maximales sont choisies pour respecter:

- la "capacité aléatoire": l'écart entre la borne minimale (Min) et la borne maximale (Max) doit être suffisamment grand pour respecter le caractère aléatoire du tirage.

- une faible probabilité de recouvrement: les impulsions ne doivent pas être trop proches pour réduire la probabilité de voir leurs échos masqués par l'émission d'une nouvelle impulsion.

- une puissance moyenne suffisante: ces mêmes impulsions doivent être suffisamment nombreuses pour engendrer la puissance moyenne nécessaire à la détection.

- La loi de tirage des fréquences est choisie discrète de forme gaussienne (elle permet d'avoir suffisamment d'impulsions à une même fréquence pour permettre le gain nécessaire à la détection). Pour ne pas être prévisible, la fréquence centrale de la gaussienne est elle-même tirée aléatoirement après chaque temps de stationnarité de la cible; la méthode de tirage dépend de l'environnement et n'est pas détaillée ici.

- L'emploi de codes différents permet l'identification individuelle des impulsions (sans ambiguïté) et l'association de leurs fonctions d'ambiguïté conduit à une meilleure fonction d'ambiguïté globale. La loi de tirage des codes est uniforme dans des banques de stockage distinctes. Chacune de ces banques contient une famille de codes répondant à une caractéristique précise de la fonction d'ambiguïté: résolution en temps, résolution en fréquence, compromis temps-fréquence, précision (lobes secondaires bas)...

## 3. MESURES DE PERFORMANCES

Les résultats sont présentés avec le choix d'une portée maximale de 150 km et des performances en puissance comparables à une forme d'onde classique de fréquence de répétition de 6 kHz (facteur de forme proche de 16).

## 3.1 Gain de traitement

Il dépend de deux facteurs, le nombre total d'impulsions émises pendant le temps d'observation et le nombre d'impulsions ayant la même fréquence d'émission.

- Le nombre total d'impulsions peut être important, le facteur de forme est choisi équivalent à celui d'une forme d'onde MFR classique (cf. Figure 2), mais ne présente pas ici, comme on l'a vu précédemment, l'inconvénient d'une ambiguïté distance. C'est un avantage de la solution proposée.

- Le nombre d'impulsions pour une même fréquence reste déterminant pour le gain de traitement; il dépend de la loi de tirage des fréquences: les impulsions les plus fréquentes sont émises à la fréquence centrale et conduisent donc au gain "cohérent" le plus élevé.

Le facteur de forme est directement lié au choix des bornes (Min et Max) de la loi uniforme de tirage des instants aléatoires.

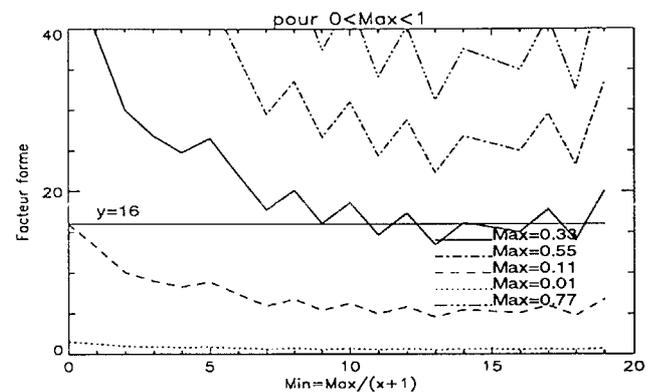


figure 2: facteur de forme moyen en fonction du paramètre x tel que:  $\text{Min}=\text{Max}/(x+1)$ .

Pour l'exemple de la figure 2, on obtient un facteur de forme moyen équivalent à celui d'une forme d'onde classique, avec des bornes maximale et minimale telles que:  $\text{Max}=0.33\text{ms}$  ( $1/3D_{\text{max}}$ ),  $\text{Min}=0.0238\text{ms}$ .

## 3.2 Probabilité de réception

La probabilité de réception représente la probabilité de bien réceptionner les échos des impulsions émises. A ce niveau de l'étude elle se distingue de la probabilité de détection car elle ne prend pas en considération, le bruit, la cible et l'environnement, et donc la probabilité de fausse alarme. Cette probabilité de réception est ici simplement représentée par la probabilité de recouvrement exprimant le risque de retour de l'écho durant une période d'émission (radar monostatique, une même antenne à l'émission et à la réception). Elle dépend de la loi de tirage des instants aléatoires d'émission, loi uniforme, et elle peut être calculée ou simulée.

La probabilité de recouvrement est exprimée en fonction de la position de la cible. Un exemple de courbe pour un choix typique de paramètres apparaît figure 3.

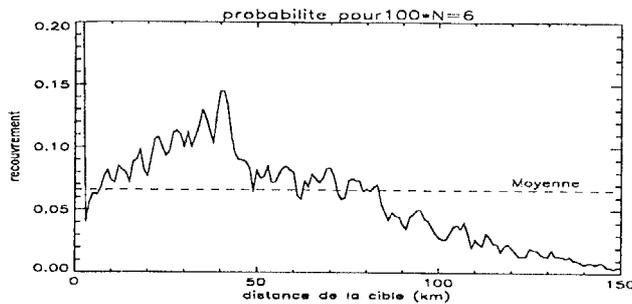


figure 3: Probabilité de recouvrement

On constate, sur cet exemple, une dispersion des recouvrements, avec une probabilité maximale très acceptable sur l'ensemble de la portée (premiers kilomètres exclus).

### 3.3 Précision de mesure

Les résolutions temporelles et fréquentielles dépendent respectivement de la largeur d'impulsion et du temps d'observation. L'utilisation de codes de compression permet de l'améliorer d'une manière caractérisée par la fonction d'ambiguïté que l'on cherche à rendre "optimale" pour l'ensemble des impulsions de même fréquence (cf. Figure 4). Ainsi, on choisit pour ces impulsions des codes dont les performances sont complémentaires, (par exemple, une pic principal très fin et des lobes secondaires importants pour un code et un pic principal plus large et des lobes secondaires très bas pour un autre).

On représente figure 4, pour un exemple de codes de compression (code de Frank  $Q=5$  et  $Q=6$ ) la fonction d'ambiguïté globale de deux impulsions émises à la même fréquence; on constate sur cette exemple une amélioration d'environ 5% sur le lobe secondaire maximal.

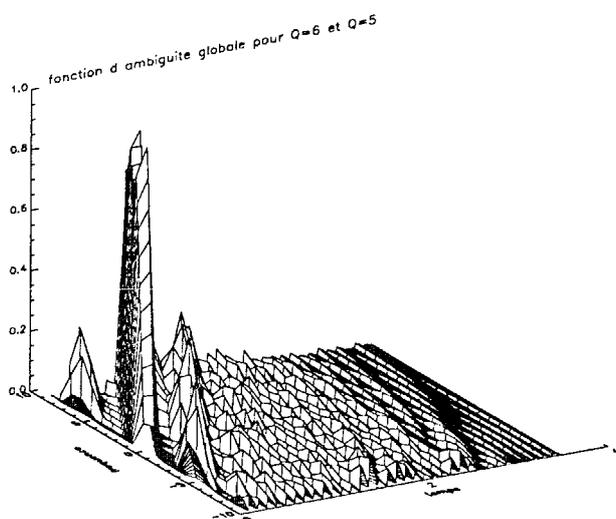


figure 4: Fonction d'ambiguïté globale.

## 4. CONCLUSION

En conclusion, on a présenté ici une méthodologie de construction d'une forme d'onde radar à caractéristiques aléatoires supposée adaptée aux problèmes des contre-mesures et de la furtivité, ainsi qu'une structure associée possible, dont les performances à travers un exemple apparaissent prometteuses.

## REFERENCES

- [1] J. Darricau, Physique et théorie du radar: principes et performances de base. Tome 2, 3<sup>ème</sup> éd. Sodipe, p. 70-72, p. 148-166, p. 187-190, 1993.
- [2] G. Bobillot, La furtivité radar. *L'aéronautique et l'astronautique: Environnement et recherche* n°148-149, 1991.
- [3] F. Le Chevalier, Bases physiques du radar. *Revue Technique Thomson-CSF* vol 25 n°4, p. 1166-1174, Décembre 1993.
- [4] A.W. Rihaczek, Principles of high resolution radar. McGraw-Hill, New York, p. 192-221, 1969.
- [5] F. E. Nathanson, Radar design principles. McGraw-Hill, New York, p. 448-451, 1969.
- [6] G. R. Cooper, R. B. Chadwick, Measurement of distributed targets with the random signal radar. *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-8, n°6, p. 743-750, novembre 1972.
- [7] J. Darricau, Physique et théorie du radar: concepts de traitement du signal. Tome 3, 3<sup>ème</sup> ed. Sodipe, p. 581-586, 1993.
- [8] L. I. Ruffe, G. F. Stott, LPI considerations for surveillance radars. *IEE Proceeding of international conference "radar 92"*, p. 200-202, Brighton, Octobre 1992.
- [9] H. J. Krizek; G. M. Johnsen, Frequency agile radar. United States Patent n°5,347,283, Septembre 1994.
- [10] D. B. Koch, W. H. Tranter, Processing considerations for hybrid waveforms utilizing complementary phase coding and linear frequency stepping. *IEEE international radar conference*, p. 606-611, Arlington, mai 1990.
- [11] N. J. Porter, R. J. A. Tough, K. D. Ward, Properties and application of a randomly interrupted, random radar waveform. *IEE Proceeding of international conference "radar 92"*, p. 5-8, Brighton, Octobre 1992.
- [12] P. L. Owen, The effect of random PRF staggering on MTI performance. *IEEE international radar conference*, p. 73-78, Arlington, avril 1975.