

RAPPORT 914-2*

**UTILISATION EFFICACE DU SPECTRE RADIOÉLECTRIQUE
PAR LES STATIONS DE RADAR DU SERVICE DE RADIOREPÉRAGE**

(Question 35/8)

(1982-1986-1990)

1. Introduction

1.1 La Question 35/8 porte sur l'étude des points suivants: efficacité, pour le service de radiorepérage, de l'utilisation des techniques PRFD dans les stations de radar (DÉCIDE 1); caractéristiques techniques des stations de radar (DÉCIDE 2); et services de radiorepérage qui pourraient utiliser efficacement les techniques PRFD (DÉCIDE 3).

1.2 Le présent Rapport étudie les aspects de cette question qui concernent les techniques de réduction du brouillage pour les radars de radionavigation maritime, les radars fixes du service de radiorepérage et les balises radar maritimes (racons) dans le cas de brouillages provenant de balises radar aéronautiques.

1.3 On trouvera dans ce Rapport une analyse de la bande d'ondes millimétriques correspondant aux fréquences comprises entre 30 GHz et 150 GHz, dans le contexte général de l'utilisation probable de cette portion du spectre pour les applications du radar.

2. Réduction des brouillages : généralités

2.1 Il existe plusieurs techniques qui permettent de réduire les brouillages mutuels et, dans le cas de stations du service de radiorepérage très proches les unes des autres, d'utiliser les mêmes fréquences.

Certaines de ces techniques, qui sont applicables:

- aux radars de navire;
- aux radars fixes;
- à l'utilisation en partage des fréquences de la bande 9300-9320 MHz par les balises radar aéronautiques au sol et maritimes, sont ci-après décrites.

Cependant, ces techniques ne peuvent pas être utilisées indifféremment par tous ces systèmes: en effet, si les techniques de réduction des brouillages décrites pour les radars de navire peuvent être appliquées aux radars fixes, cas par cas, la réciproque n'est pas nécessairement vraie.

2.2 Les techniques pouvant permettre de réduire les brouillages entre radars peuvent être classées comme suit:

- les techniques appliquées à un émetteur de radar pour réduire le nombre des signaux non désirés susceptibles de causer ou de créer du brouillage (essentiellement la réduction des brouillages entre radars de navire);
- les techniques appliquées à un récepteur de radar pour réduire les effets des signaux qui causent ou qui créent un brouillage (essentiellement la réduction des brouillages entre radars de navire);
- les techniques appliquées à un récepteur de radars pour lui permettre de faire la distinction entre impulsions utiles et impulsions brouilleuses (essentiellement la réduction des brouillages entre balises radar fixes et aéronautiques).

* Le Directeur du CCIR est prié de porter ce Rapport à l'attention de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI), de l'Organisation maritime internationale (OMI) et de l'Association internationale de signalisation Maritime (AISM).

3. Techniques de réduction des brouillages : systèmes de navire

3.1 Les techniques grâce auxquelles il est possible en principe de réduire les brouillages mutuels entre systèmes de radar primaires de navire peuvent être utilisées séparément ou simultanément pour réduire, soit la production de signaux brouilleurs (ou leur intensité) par l'utilisateur, soit les effets du brouillage sur l'utilisateur. Les méthodes qui peuvent être appliquées font appel aux techniques suivantes:

- spectre pulsé émis par magnétron;
- profil des impulsions dans le modulateur de l'émetteur et à fréquence radioélectrique;
- émissions non essentielles des radars;
- sélectivité des récepteurs de radar;
- traitement vidéo;
- variation aléatoire de la fréquence de répétition des impulsions;
- gain d'antenne et caractéristiques des lobes latéraux.

3.2 Spectre pulsé émis par magnétron

On peut s'attendre que les magnétrons utilisés dans les systèmes de radar maritime aient une largeur de bande spectrale qui ne soit jamais meilleure que 10 à 13 dB en dessous de la crête, à

$$\pm \frac{5}{4 \times \text{durée d'impulsion } (\mu\text{s})} \text{ MHz}$$

par rapport à la fréquence centrale naturelle et ne sera encore pas meilleure que 26 dB environ à ± 100 MHz par rapport à la fréquence centrale, dans la bande X (9 GHz environ). Lorsque l'on rapporte cela à la largeur de la bande attribuée aux systèmes de radionavigation maritime dans la bande X ainsi qu'au grand nombre toujours croissant des systèmes qui fonctionnent dans cette bande, il est évident en premier lieu que toute mesure propre à réduire le spectre d'émission de ces magnétrons entraînerait un affaiblissement du niveau des brouillages mutuels entre radars; en second lieu, une réduction spectaculaire des niveaux d'émission spectrale et des largeurs de bande actuels – même au prix très élevé d'un remplacement des dispositifs à magnétrons par des klystrons, par exemple – serait une entreprise considérable. En tout cas, en réduisant les largeurs de bande et les spectres d'émission d'un type d'émetteur de radar, on améliorera toujours la qualité de fonctionnement des récepteurs connexes et on réduira les brouillages causés aux autres utilisateurs de radars.

3.3 Profil des impulsions émises

On dispose de techniques de commande du profil des impulsions émises. La précision des mesures de distance au moyen des radars dépend dans une large mesure de la pente du front avant des impulsions émises. Par conséquent, si le degré de précision des mesures de distance a été prescrit, cette condition déterminera le temps d'établissement minimal nécessaire des impulsions. Une réduction du temps d'établissement au-delà du minimum nécessaire entraînera une émission d'énergie de bande latérale qui

- ne sera pas utilisée par le radar qui l'a produite et
- causera des brouillages à d'autres radars.

Il suffit que le front avant des impulsions soit seulement aussi court qu'il est strictement nécessaire pour obtenir la précision requise pour la mesure des distances.

Une autre raison vient s'ajouter à la précédente au sujet des conditions requises pour la discrimination de distance. Celle-ci dépend dans une large mesure de la pente du front arrière des impulsions (et aussi de leur durée). Pour obtenir la qualité de discrimination voulue, on devra agir sur le temps minimal nécessaire de descente des impulsions ainsi que sur leur durée. Diminuer le temps de descente d'une impulsion au-delà de ce qui est nécessaire entraînera une émission d'énergie de bande latérale qui

- ne sera pas utilisée par le radar qui l'a produite et
- causera des brouillages aux radars similaires.

Le front arrière des impulsions devrait être simplement aussi court qu'il est nécessaire pour obtenir le degré de discrimination voulu.

Le profil spectral des émissions des radars primaires s'étend maintenant largement de part et d'autre des fréquences centrales. Seule une portion limitée du spectre d'énergie est utilisée par les récepteurs de radar et il n'est pas nécessaire d'émettre le reste.

3.4 *Emissions non essentielles de radiodétection*

Les magnétrons à impulsions produisent de l'énergie radioélectrique sous forme de rayonnements sur des fréquences parasites n'ayant aucun rapport avec les fréquences de fonctionnement. Ces rayonnements non essentiels peuvent être évités si l'émetteur a été bien conçu. Le brouillage pourrait être réduit si des niveaux acceptables étaient adoptés par accord international.

3.5 *Sélectivité des récepteurs de radar*

A une précision spécifiée de la détermination des distances correspond une largeur de bande minimale requise. D'autres considérations, par exemple la limitation des échos de vagues et les conditions requises pour la commande automatique de fréquence (CAF) ont conduit à concevoir des récepteurs dont les caractéristiques spéciales imposent des largeurs de bande plus étendues que celles qui satisfont uniquement aux exigences de la précision de la détermination des distances. Ces récepteurs sont donc plus sensibles aux brouillages causés par les émissions d'autres radars. Il serait en principe possible de spécifier des largeurs de bande minimales. Au-delà de cette largeur de bande, les récepteurs devraient rejeter complètement autant de rayonnements que possible puisqu'ils ne sont pas nécessaires. On pourrait y arriver en utilisant les techniques existantes.

3.6 *Techniques de corrélation vidéo et autres techniques de traitement vidéo*

Les techniques de corrélation vidéo des récepteurs de radar peuvent être appliquées pour réduire au minimum les effets de certains types de brouillage. Le signal vidéo d'écho résultant d'une impulsion radar (impulsion du même système) est enregistré. Le signal vidéo d'écho provenant de l'impulsion radar suivant immédiatement (impulsion du même système) est alors enregistré et comparé avec le précédent.

Plusieurs systèmes de ce genre sont utilisés en pratique. Le principal défaut de cette technique est qu'elle n'est pas efficace contre les échos de vagues parce que ceux-ci sont en corrélation pendant des périodes qui sont longues par rapport aux intervalles de répétition typiques des impulsions radar. De plus, sa capacité de détection des échos de faible intensité risque quelque peu d'être diminuée.

Un autre défaut important de cette technique est qu'elle neutralise la réponse d'un racon à balayage par échelons (voir le § 2.1.2 du Rapport 774) qui est communément exploité aux Etats-Unis d'Amérique. La réponse d'un racon à balayage par échelons restera en principe plus longtemps sur l'écran d'un radar de navire qu'une réponse de racon à balayage lent. Toutefois, puisque le radar recevra au plus une impulsion sur quatre du racon, tout radar utilisant des techniques de corrélation vidéo neutralisera la réponse du racon.

Les techniques de traitement vidéo utilisant des circuits de différenciation, comme le circuit de suppression des échos dus à la pluie contre les signaux parasites ou le circuit CFAR (Constant False Alarm Rate), sont également efficaces pour limiter les brouillages. Toutefois, ces techniques font apparaître uniquement le front avant d'une réponse de racon. Sauf s'il s'agit d'un racon à balayage rapide (difficile à coder avec un identificateur Morse et limité à un petit nombre d'installations), l'identificateur Morse ne sera pas discernable sur l'écran d'un radar de navigation de navire utilisant cette technique de traitement vidéo et, dans de nombreux cas, la réponse ne sera pas visible sur l'écran. On notera que ce défaut inhérent à l'utilisation des circuits de différenciation apparaît sur presque tous les radars actuellement en service dans le monde.

Pour éviter la perte de réponse du racon, on pourrait moduler la première impulsion du racon avec un code unique et détecter le code à la fréquence intermédiaire du radar, omettant ainsi les circuits de traitement vidéo. On poursuit en ce moment au Royaume-Uni l'étude détaillée d'un tel système (voir également le § 5 du Rapport 774).

3.7 *Fréquence aléatoire de répétition des impulsions*

La variation arythmique, ou pseudo-aléatoire, de la fréquence de répétition des impulsions (FRI) pourrait contribuer à la réduction des brouillages mutuels entre radars, notamment si elle est utilisée en association avec les techniques de corrélation vidéo décrites précédemment. Si l'on diffuse l'émission des impulsions de son propre radar, la relation temporelle entre ces impulsions et toute impulsion en provenance de n'importe quel autre radar dans un environnement de brouillages potentiels sera aléatoire et, par conséquent, deviendra sujette aux effets du mécanisme de suppression du processus de corrélation vidéo.

Le principe est théoriquement commandé, dans cette application, au moins sous deux rapports:

- la FRI maximale sera limitée par l'échelle des distances choisie;
- la FRI minimale sera limitée par la nécessité d'éviter une perte inacceptable d'information. Un rapport d'arythmie d'environ 2 sur 1 représente la latitude théorique dont on dispose sans risque.

On ne connaît pas à l'heure actuelle de systèmes en service qui comportent cette technique pseudo-aléatoire, bien que celle de la FRI variable soit déjà appliquée pour d'autres raisons. Une réduction légère, mais commandée, du débit de l'information reçue comme il est indiqué plus haut, est le seul obstacle à son application.

3.8 Gain d'antenne et niveau dans les lobes latéraux

3.8.1 Les caractéristiques de fonctionnement des antennes de radar actuelles sont approximativement:

- gain: ~ 24-30 dB;
- niveau dans le premier lobe latéral à $\pm 10^\circ$ du point de visée de l'antenne: plus de 23 dB au-dessous du niveau du lobe principal;
- niveau dans tous les autres lobes latéraux à plus de $\pm 10^\circ$ du point de visée de l'antenne: plus de 30 dB au-dessous du niveau du lobe principal.

3.8.2 Les caractéristiques ci-dessus peuvent être améliorées comme suit:

- gain: 40 dB;
- premier lobe latéral: 33 dB au-dessous du niveau du lobe principal (gain = 7 dB);
- tous les autres lobes latéraux: plus de 40 dB au-dessous du niveau du lobe principal (gain = 0 dB).

L'application de ces caractéristiques à des antennes de navire signifierait une augmentation de volume et de poids et exigerait un resserrement considérable de toutes les tolérances mécaniques. L'utilisation de telles antennes serait restreinte aux grands navires. On se pose également la question de savoir si les largeurs plus étroites du faisceau principal qui iraient de pair avec ces améliorations seraient avantageuses, par exemple en ce qui concerne les échos de vagues.

En outre, l'antenne améliorée et le récepteur correspondant ne contribuent pas à améliorer la possibilité de diminuer les brouillages provenant d'autres radars.

3.8.3 On a obtenu des résultats similaires à ceux dont il s'agit au § 3.8.2 en appliquant les techniques de réduction des lobes latéraux aux antennes du type décrit au § 3.8.1, ce qui permettrait d'obvier aux inconvénients cités au § 3.8.2.

3.8.4 Afin de bénéficier des avantages des deux derniers types d'antenne (§ 3.8.2 et 3.8.3), il serait nécessaire de réduire la puissance de l'émetteur pour obtenir la même puissance isotrope rayonnée équivalente.

3.8.5 Résumé des techniques de réduction des brouillages (systèmes de navire)

Les différentes techniques de réduction des brouillages décrites dans le présent Rapport sont énumérées dans le Tableau I avec une indication des avantages et des inconvénients qu'elles sont susceptibles d'offrir. Aucune d'elles ne causera d'affaiblissement notable de la sensibilité des récepteurs. Cependant, certaines techniques entraînent la perte de l'affichage des signaux de balises radar et de cibles de faibles dimensions. Dans ces cas-là, il est souhaitable de prévoir, pour des raisons relevant de l'exploitation, d'assurer la possibilité de déconnecter le circuit de rejet du brouillage. Dans des circonstances données, certaines de ces techniques, individuellement ou en combinaison, amélioreraient la sensibilité et/ou la précision des mesures de distance et/ou la discrimination de distance. Ce bref exposé des techniques disponibles laisse à entendre qu'il existe plusieurs méthodes susceptibles de contribuer à la réduction des brouillages. Certaines peuvent paraître peu intéressantes pour diverses raisons techniques. Un critère technique important de toute méthode est que son application doit conserver intacte la compatibilité de tous les systèmes entre eux. Ce n'est que dans un seul cas (§ 3.8) que la technique de réduction du brouillage limiterait l'utilisation future d'une fréquence assignée. Plus étroite est la largeur du faisceau de l'antenne (c'est-à-dire plus le gain est élevé) et plus étroite devient la largeur de bande utilisable. Cela interdirait l'emploi d'une antenne à effet directif conjointement avec une balise radar et/ou un système de répondeurs de navire fonctionnant sur des fréquences voisines de seulement 3% de la fréquence propre du radar.

TABLEAU I – Limitation du brouillage pour les stations de radar de navire

Technique de limitation du brouillage	Facilité d'emploi et de fonctionnement	Fiabilité	Maintenance	Hors circuit quand non utilisé	Suppression des réponses de balise	Possibilités à long terme	Limitation de l'emploi de la large bande
1 Commande du front avant de l'impulsion émise	F	I	SE	NA	non	oui	non
2 Commande du front arrière de l'impulsion émise	F	I	SE	NA	non	oui	non
3 Réduction des rayonnements non essentiels	F	I	SE	NA	non	oui	non
4 Amélioration ou remplacement du magnétron	F	I	SE	NA	non	oui	non
5 Amélioration de la sélectivité du récepteur de radar	F	SE	SE	NA	non	L	non
6 Techniques de corrélation vidéo	F	SE	LA	oui	L	oui	non
7 Fréquence de répétition des impulsions aléatoires	F	SE	LA	oui	non	oui	non
8 Amélioration du gain d'antenne et/ou des lobes latéraux	F	I	SE	NA	L	L	oui

F : facile

I : inconnue

SE : sans effet notable

LA : légère augmentation (circuits supplémentaires)

NA : non applicable

L : limité

4. Techniques de réduction des brouillages : systèmes de radars fixes

4.1 Discrimination par la fréquence de répétition des impulsions

4.1.1 Dans certaines régions du monde où le trafic maritime ou aérien est très dense, il faut pouvoir exploiter plusieurs installations de radar fixes en deçà de la portée de brouillage actuel. Des conditions de propagation anormales peuvent, à certains moments, augmenter la portée de brouillage, notamment aux basses latitudes comme dans la région méditerranéenne.

4.1.2 Certaines des techniques décrites au § 3 ci-dessus peuvent être appliquées pour réduire les brouillages entre stations de radar fixes. Une autre technique, qui fait appel à la discrimination par la fréquence de répétition des impulsions, est décrite ci-après.

4.1.3 **Le brouillage entre stations de radar fixes peut être évité grâce à l'espacement des fréquences radioélectriques ou à la discrimination par la fréquence de répétition des impulsions (PRFD).** La bande de fréquences attribuée à la radionavigation n'est pas toujours suffisamment large pour qu'on puisse assigner des voies différentes à toutes les stations qui se trouvent en-deçà de la portée de brouillage. Cela est particulièrement vrai lorsqu'il s'agit de stations de radar mobiles, installées à bord de navires ou d'aéronefs.

4.1.4 On est en mesure de réduire les effets du brouillage lorsqu'on peut donner aux impulsions émises par un radar une certaine caractéristique, telle que seules apparaissent les impulsions qui présentent cette caractéristique. En utilisant pour la fréquence de répétition des impulsions des valeurs différentes selon la station, on peut faire en sorte qu'un signal n'apparaisse sur l'écran que si la cible renvoie deux impulsions successives séparées par l'intervalle de temps correct. Cette méthode a été appliquée avec succès dans le réseau de stations radar à 600 MHz utilisé pour le contrôle du trafic aérien par l'Aviation civile du Royaume-Uni.

4.1.5 Il existe des publications décrivant les méthodes qui permettent de choisir les fréquences de répétition des impulsions [Blythe, 1970]. Le choix est rendu difficile par le fait que les stations radar considérées utilisent un procédé appelé indication d'une cible en mouvement, pour distinguer les ondes réfléchies par des objets fixes ou se déplaçant lentement, comme les immeubles et les nuages, de celles qui proviennent d'un aéronef se déplaçant rapidement et qu'il faut percevoir même au milieu d'un «fouillis d'échos». Les méthodes d'indication d'une cible en mouvement utilisent la comparaison de phase entre impulsions réfléchies successives pour annuler les signaux qui sont renvoyés avec la même relation de phase que l'impulsion émise. Malheureusement, cette annulation des ondes réfléchies par des objets immobiles s'accompagne de l'annulation des ondes réfléchies par des cibles qui se déplacent avec certaines vitesses radiales, et les aéronefs qui se déplacent à de telles vitesses n'apparaissent pas sur l'écran du radar. Pour éviter la perte de ces cibles, on émet les impulsions du radar non pas à un rythme régulier mais en introduisant deux intervalles différents ou davantage dans le train des impulsions. C'est ce qu'on appelle le décalage des impulsions.

4.1.6 La planification des fréquences radioélectriques utilisées pour le radar et du rythme de répétition des impulsions, aussi bien pour le décalage des impulsions que pour la PRFD, dépend des emplacements relatifs des stations de radar et des conditions de propagation dans la région. En utilisant la PRFD, on parvient à augmenter considérablement le nombre des stations qui fonctionnent sans brouillage et, par conséquent, à améliorer l'utilisation économique du spectre.

4.1.7 Grâce à ces techniques, le Royaume-Uni a pu envisager l'exploitation d'un certain nombre de radars de 50 cm, de grande puissance, dans une bande de fréquences relativement étroite; c'est ainsi que sept radars de ce type fonctionnent sur la fréquence 591 MHz et cinq sur la fréquence 597 MHz. Ces techniques permettent également à deux radars de grande puissance de fonctionner dans le même aéroport et dans la même bande de fréquences sans que le brouillage dépasse un niveau acceptable.

4.1.8 Dans la bande de radiodétection des 600 MHz, la PRFD a été employée au Royaume-Uni pour éviter d'avoir à utiliser une région plus étendue du spectre et permettre au nombre voulu d'installations de radars de fonctionner dans la bande restreinte qui leur est attribuée sans causer, entre elles ou aux récepteurs de télévision d'autres pays, un brouillage inacceptable.

4.2 Limite du brouillage admissible causé à un radar affichant des images brutes

Il n'existe aucune méthode permettant d'éliminer complètement les brouillages sans dégradation de la probabilité de détection, c'est pourquoi il est important de connaître le niveau admissible de brouillage. Bien entendu, un niveau de brouillage admissible dépend beaucoup de la subjectivité des contrôleurs aériens, aussi faut-il prendre en compte l'opinion majoritaire des contrôleurs aériens par rapport à des échantillons d'images radar, comme suit:

FIGURE 1 - On peut voir des brouillages sous forme de "pointillés" dans une même direction sur un écran une fois toutes les quelques minutes.

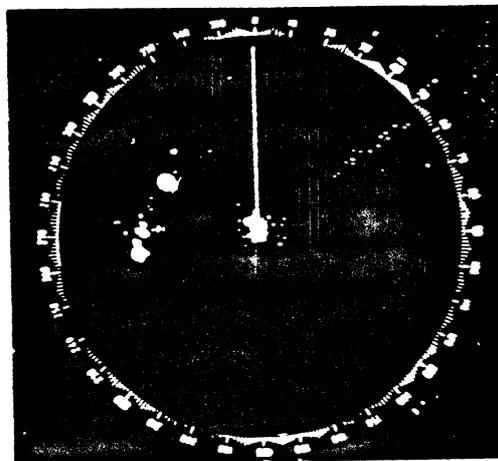
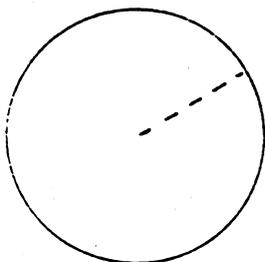


FIGURE 2 - Idem, mais le rythme augmente :
une fois tous les quelques balayages
(c'est-à-dire toutes les 10 à 30 secondes).

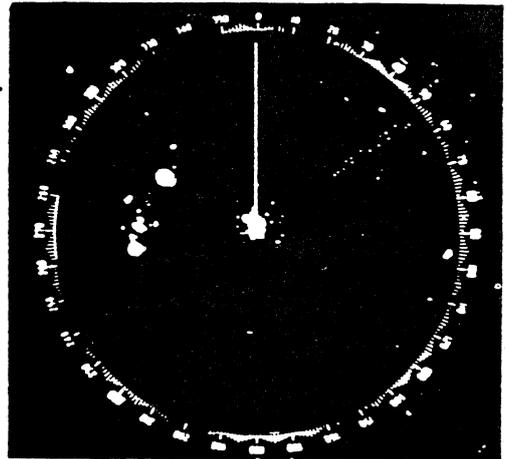
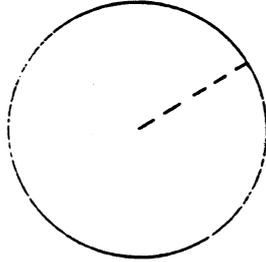


FIGURE 3 - Un brouillage sous forme de
"pointillés" peut être vu dans une même
direction et un autre brouillage dans une
direction indéfinie à chaque balayage.

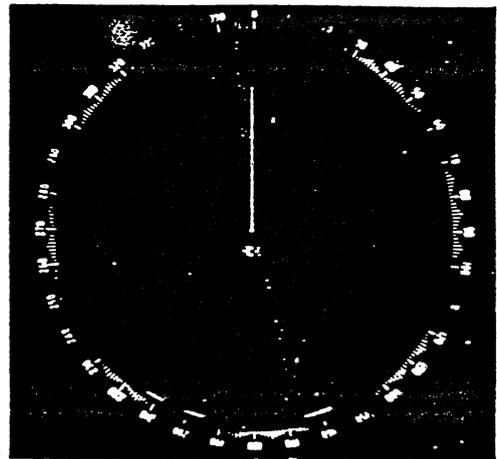
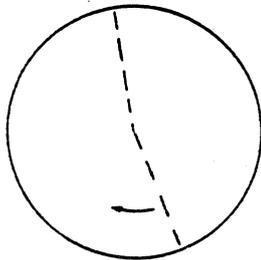


FIGURE 4 - Des "pointillés" peuvent être
vus dans une même direction et une autre
direction indéfinie à chaque balayage, et
un brouillage centré sur une autre direc-
tion et étalé sur un secteur de 30 à 40
degrés peut être vu tous les quelques
balayages.

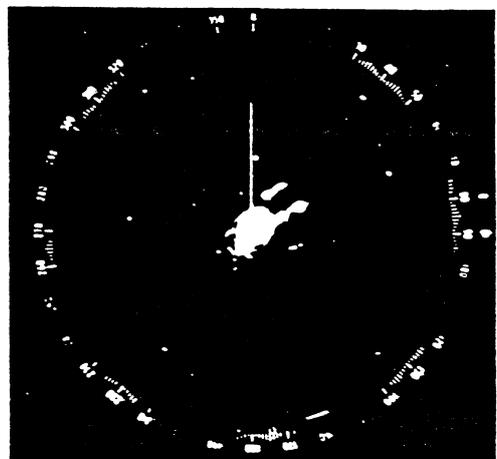
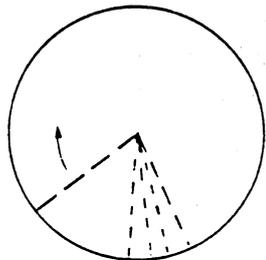


FIGURE 5 - Des brouillages centrés sur une même direction indéfinie sont étalés sur un secteur de 30 à 40 degrés à chaque balayage.

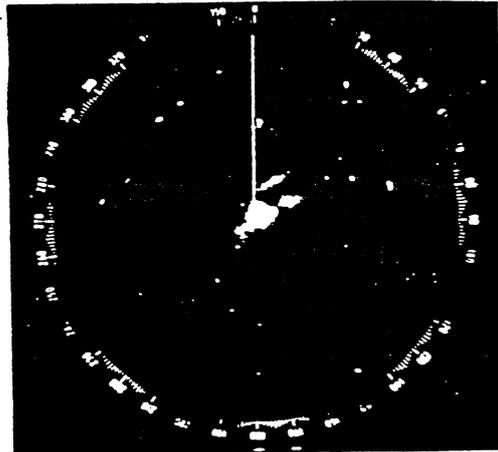
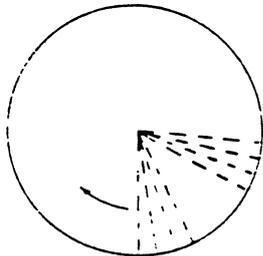
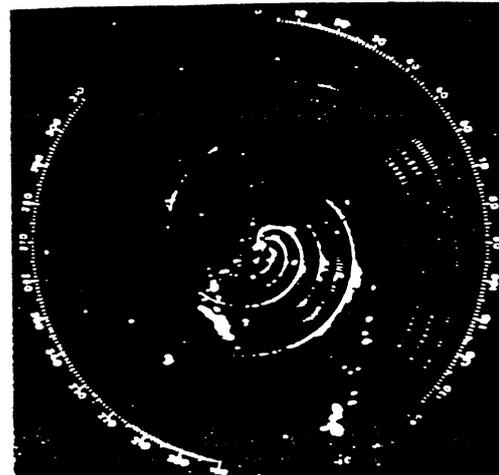
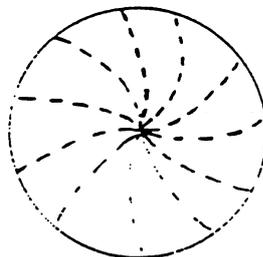


FIGURE 6 - Des brouillages sont visibles presque partout sur l'écran radar.



Au Japon, des exemples de Fig.1 à 6 ont été montrés à plus de 200 contrôleurs aériens. Compte tenu de leurs réponses, on est parvenu à la conclusion que les Fig. 1 et 2 constituent la limite du brouillage admissible causé à un radar affichant des images brutes.

Dans certaines administrations, la plupart des radars de contrôle aérien utilisent des images traitées. Les images brutes ne sont pas affichées sur l'écran. Pour ces types de radars, l'avis des contrôleurs n'est pas approprié et n'est pas un indicateur fiable de détermination du brouillage.

4.3 Techniques fréquentielles de réduction des brouillages radar

Les techniques fréquentielles de réduction des brouillages sont très importantes, surtout parce que le signal brouilleur proprement dit peut être supprimé, au contraire des techniques temporelles, appelées AIRT, qui ne permettent de supprimer que les impulsions de brouillage reçues.

A ce propos, avant d'appliquer des techniques temporelles (AIRT par exemple) il faudrait envisager les techniques fréquentielles ou une combinaison des deux types de techniques.

4.3.1 Niveau des rayonnements non essentiels des tubes des émetteurs

Les niveaux de rayonnements non essentiels inhérents à un émetteur de radar dépendent généralement des caractéristiques essentielles du type de tube de sortie du radar.

Il est important de connaître les niveaux et les variances des rayonnements non essentiels inhérents aux différents types de tubes de sortie d'émetteur pour évaluer les risques de brouillages entre radars. Ces renseignements sont importants pour identifier les types de tubes de radar hyperfréquence qui conduisent à une utilisation efficace du spectre et constituent un paramètre dans la prévision des brouillages.

Le bruit des rayonnements non essentiels inhérent aux tubes de radar hyperfréquence domine généralement pour des espacements de fréquence supérieurs à 100 MHz par rapport à la fréquence d'exploitation du radar. Ainsi, pour des espacements supérieurs à 100 MHz, le spectre des émissions de radar est indépendant des caractéristiques du système de radar telles que les paramètres de modulation par impulsions (par exemple, temps de montée et de descente, impulsions par onde entretenue, modulation de fréquence pulsée ("chirped modulation") ou modulation de phase codée). Compte tenu des mesures [Hinkle, 1983] faites dans plusieurs bandes de radiorepérage comprises entre 1,25 et 10 GHz et d'après l'examen des caractéristiques de tube conduit avec les principaux constructeurs de tubes de radar hyperfréquence, les niveaux des rayonnements non essentiels inhérents aux différents types de tubes hyperfréquence utilisés dans les radars sont les suivants:

TYPE DE TUBE	NIVEAU DES RAYONNEMENTS NON ESSENTIELS PAR RAPPORT A LA PORTEUSE, MESURE DANS UNE LARGEUR DE BANDE DE REFERENCE DE 1 MHz (dBc)
CHAMPS CROISES	
Amplificateurs à champs croisés	-40 à -70
Magnétrons (asservis)	-65 à -80
Magnétrons (non asservis)	-75 à -90
Magnétrons coaxiaux	-60 à -75
FAISCEAU LINEAIRE	
Tubes à ondes progressives à cavités couplées	-105 à -115
Klystrons	-110 à -120

Il est possible de réduire encore les niveaux des rayonnements non essentiels en utilisant des filtres passe-bande aux fréquences radioélectriques. Avec de tels filtres, on peut réduire le niveau des rayonnements non essentiels des amplificateurs à champs croisés, des magnétrons et des magnétrons coaxiaux en deçà de -100 dBc.

4.3.2 Dispositifs de filtrage applicables

Il existe de nombreux filtres applicables à l'émission et à la réception. Les filtres les plus efficaces sont ceux placés à l'émission; naturellement, l'affaiblissement d'insertion des dispositifs de filtrage devrait être pris en compte comme dégradation de la probabilité de détection.

Il convient de noter que, dans certains cas, le niveau d'émission hors bande d'un radar est supérieur au niveau prévu à l'autre fréquence radar ; dans ce cas, le présélecteur d'un autre radar soumis à brouillage n'est plus un dispositif à clavier sauf pour l'effet de rejet de l'image, parce que la composante d'émission hors bande d'un radar à une autre fréquence radar est reçue sans aucun affaiblissement par le présélecteur.

4.4 *Techniques de réduction du brouillage asynchrone (systèmes de radar fixes)*

4.4.1 *Introduction*

Le spectre d'émission de l'émetteur d'une station de radar à impulsions du service de radiorepérage est d'ordinaire beaucoup plus large que celui des systèmes de télécommunication en général. Il est parfois très difficile d'assurer un fonctionnement exempt de brouillage entre stations en appliquant uniquement des procédures d'assignation de fréquences, lorsque ces stations sont à une certaine distance les unes des autres. Par conséquent, outre les procédures d'assignation de fréquences, il est nécessaire d'utiliser des techniques de réduction du brouillage afin d'obtenir un fonctionnement exempt de brouillage. Une des techniques utilisées à cette fin pour les radars de contrôle de la circulation aérienne fonctionnant dans le service de radionavigation aéronautique est décrite ci-dessous.

4.4.2 Les techniques de réduction du brouillage dans le domaine temporel sont considérées comme étant les plus avantageuses dans la pratique pour les radars de contrôle de la circulation aérienne, compte tenu de la technologie actuelle de ces radars dans le monde et par rapport aux techniques intervenant dans le domaine fréquentiel et à celles qui combinent le domaine temporel et le domaine fréquentiel. La technique de réduction du brouillage asynchrone (AIRT) décrite ci-après intervient dans le domaine temporel. Elle est mise en œuvre au Japon où son efficacité est reconnue. Les techniques auxiliaires visant à en augmenter l'efficacité sont aussi décrites.

4.4.3 *Description des techniques AIRT*

Les signaux de données utiles renvoyés par un radar sont reçus à la même distance (ou au même moment) à l'intérieur d'un certain angle azimutal, tandis que les signaux brouilleurs provenant d'autres radars sont généralement asynchrones par rapport aux signaux utiles renvoyés. Par conséquent, on peut extraire les signaux utiles renvoyés, par exemple en stockant les signaux de données pendant deux à quatre périodes d'impulsion radar utile. Ces signaux de données renvoyés sont mis en mémoire et sont utilisés pour établir une corrélation de distance (ou de temps) entre les données stockées et les signaux de données renvoyés les plus récents. L'Annexe I décrit le système AIRT utilisé pour l'étude de simulation présentée ci-après.

4.4.4 *Facteurs réduisant la performance des techniques de réduction du brouillage asynchrone et mesures destinées à l'améliorer*

4.4.4.1 *Dégradation de l'efficacité des techniques AIRT*

Pour assurer l'efficacité du circuit AIRT, il est indispensable de fixer une valeur maximale à la durée de l'impulsion arrivant dans le circuit. Si cette condition n'est pas remplie, c'est-à-dire si la durée de l'impulsion est supérieure à la valeur limite, la corrélation temporelle nécessaire entre les signaux asynchrones augmente et l'efficacité de la technique AIRT diminue. Cela est dû à la durée excessive de l'impulsion et à la puissance trop élevée du signal brouilleur.



La Fig. 7 indique la relation entre la puissance du signal brouilleur (par rapport au niveau de bruit moyen) et la durée de l'impulsion de sortie. La Fig. 8 montre le diagramme du circuit de mesure. La détérioration de la performance due à la durée excessive de l'impulsion a été simulée par utilisation des signaux représentés à la Fig. 9. On a supposé que la durée de l'impulsion dans l'espace à la fois pour le signal utile et pour le signal brouilleur asynchrone est égale à une microseconde. Les limites au-delà desquelles se produit le brouillage sont indiquées par un trait continu dans les Fig. 10a et 10b.

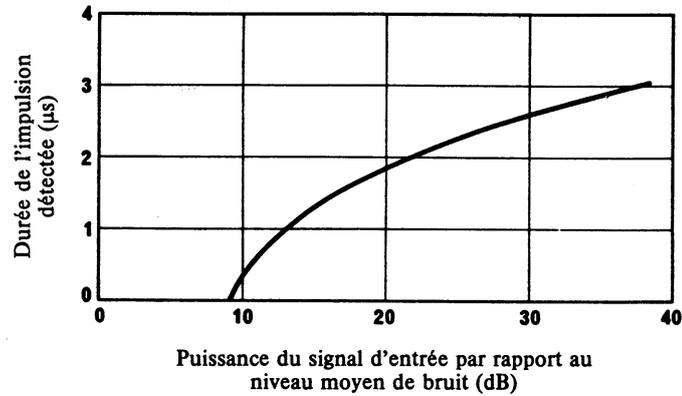


FIGURE 7 - *Durée de l'impulsion détectée par rapport à la puissance du signal d'entrée*

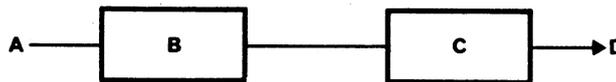


FIGURE 8- *Circuit de mesure*

- A : signal d'entrée à modulation d'impulsion, 1 µs
- B : filtre apparié
- C : circuit seuil, 10,8 dB par rapport au niveau du bruit moyen
- D : impulsion de sortie détectée

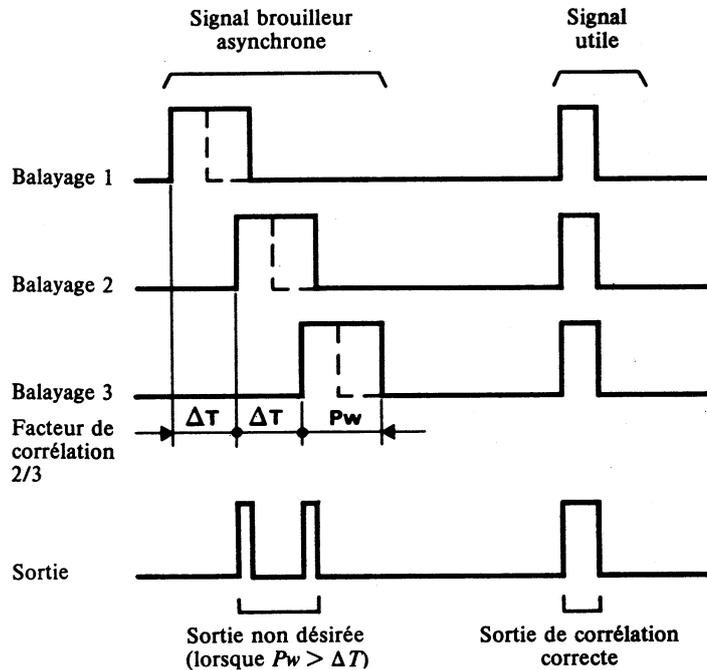


FIGURE 9 - Limitation de la technique d'élimination du brouillage

T : différence entre la durée de l'impulsion du signal utile et la durée de l'impulsion du signal brouilleur.

P_w : durée de l'impulsion détectée qui est fonction de la puissance du signal brouilleur comme indiqué sur la Fig. 1. (La forme d'onde de largeur limitée par discrimination de la durée de l'impulsion est indiquée par un trait tireté.)

4.4.4.2 Atténuation de la détérioration de performance des techniques AIRT

Pour atténuer la détérioration de performance des techniques AIRT due à la durée excessive de l'impulsion, il est nécessaire d'opérer une discrimination par la durée de l'impulsion avant le traitement des signaux par la technique AIRT. Cette discrimination est assurée par les circuits d'indication d'une cible en mouvement. La durée du signal brouilleur est ramenée à une valeur déterminée, quelle que soit la durée ou le niveau de l'impulsion d'entrée. Le circuit TFC (Fast Time Constant) et le circuit Log/CFAR (Logarithmic/Constant False Alarm Rate) constituent des exemples de circuits de mise en forme. Ce prétraitement, indiqué par un trait en pointillé sur les Fig. 10a et 10b, garantit le fonctionnement efficace des techniques AIRT lorsque la durée ou le niveau du signal brouilleur dépasse une certaine valeur.

4.4.5 Techniques d'amélioration de l'efficacité des techniques AIRT

4.4.5.1 Réduction du degré de corrélation

La technique AIRT assure une réduction du brouillage par corrélation de temps ou de distance entre les signaux utiles reçus et les signaux brouilleurs asynchrones. On peut améliorer l'efficacité de la technique AIRT en réduisant le degré de corrélation entre les signaux utiles et brouilleurs sans entraver la détection du niveau minimum des signaux utiles.

4.4.5.2 PRF décalée

Afin d'augmenter la vitesse de réaction de l'indicateur de cible en mouvement, le radar de contrôle de la circulation aérienne varie (selon un certain rapport) l'intervalle de temps entre les impulsions émises. C'est ce que l'on appelle le décalage de la fréquence de récurrence des impulsions (PRF). Si l'une des deux stations radar appliquant ce procédé inverse la succession des intervalles d'impulsions décalés, le degré de corrélation des signaux brouilleurs entre ces deux stations diminue, ce qui augmente l'efficacité de la technique AIRT.

4.4.5.3 Augmentation du nombre d'échantillons

En augmentant le nombre des échantillons sur lequel est établie la corrélation, on augmente l'effet de filtrage. Par exemple, la simulation a été effectuée dans le cas où les signaux utiles sont ceux qui présentent un rapport de corrélation de deux ou plus pour trois échantillons et dans celui où les signaux utiles sont ceux qui présentent un rapport de corrélation de trois ou plus pour cinq échantillons. Les techniques de filtrage se sont révélées plus efficaces dans ce dernier cas. Les résultats sont donnés aux Fig. 10a et 10b.

4.4.5.4 Dégradation de la probabilité de détection de la cible lors de l'application de techniques AIRT

Il est évident qu'il n'existe pas de technique AIRT sans dégradation de la probabilité de détection de la cible en raison d'une deuxième valeur de seuil fixée à la majorité et en raison d'impulsions coïncidentes.

Le facteur de dégradation est estimé simplement (mais dans le cas le plus défavorable) en recourant à un vote classique à la majorité des 2/3: dans ce cas, il atteint 4,8 dB. Le rapport signal/bruit nécessaire d'une impulsion étant de 14,8 dB pour l'AIRT, il faut 10 dB pour un intégrateur vidéo normal.

4.4.5.5 Amélioration de la probabilité de détection de la cible avec une technique AIRT

On peut obtenir une amélioration en appliquant la technique suivante sur une technique AIRT, qui présente généralement deux valeurs de seuil de l'amplitude et du vote.

Si le vote à la majorité est modifié comme indiqué ci-après, une amélioration de détection de la cible faible est possible :

Cas 1: "vote aux 2/3" ----- condition de sortie 0/3, 2/3, 3/3

Cas 2: "vote aux 3/5" ----- condition de sortie 0/5, 3/5, 4/5, 5/5

Ces modifications peuvent améliorer la probabilité de détection de la cible mais les faibles brouillages ne peuvent pas être supprimés.

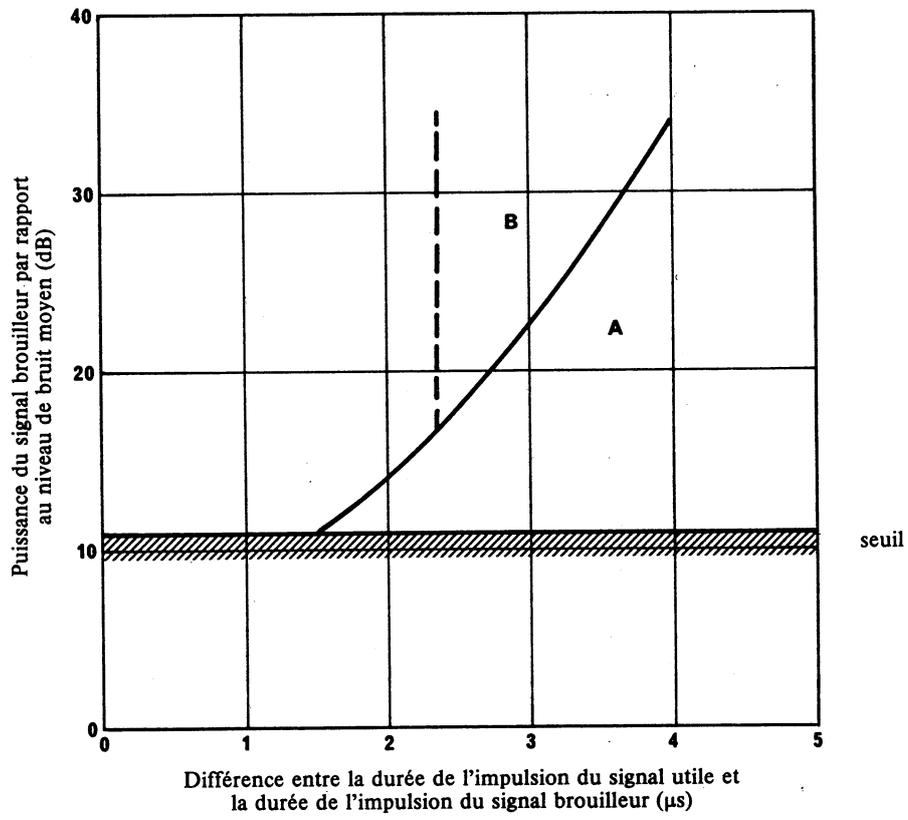


FIGURE 10a- Zones de suppression des signaux brouilleurs facteur de corrélation 2/3

A: zone de suppression sans discrimination par la durée de l'impulsion
A + B: zone de suppression avec discrimination par la durée de l'impulsion

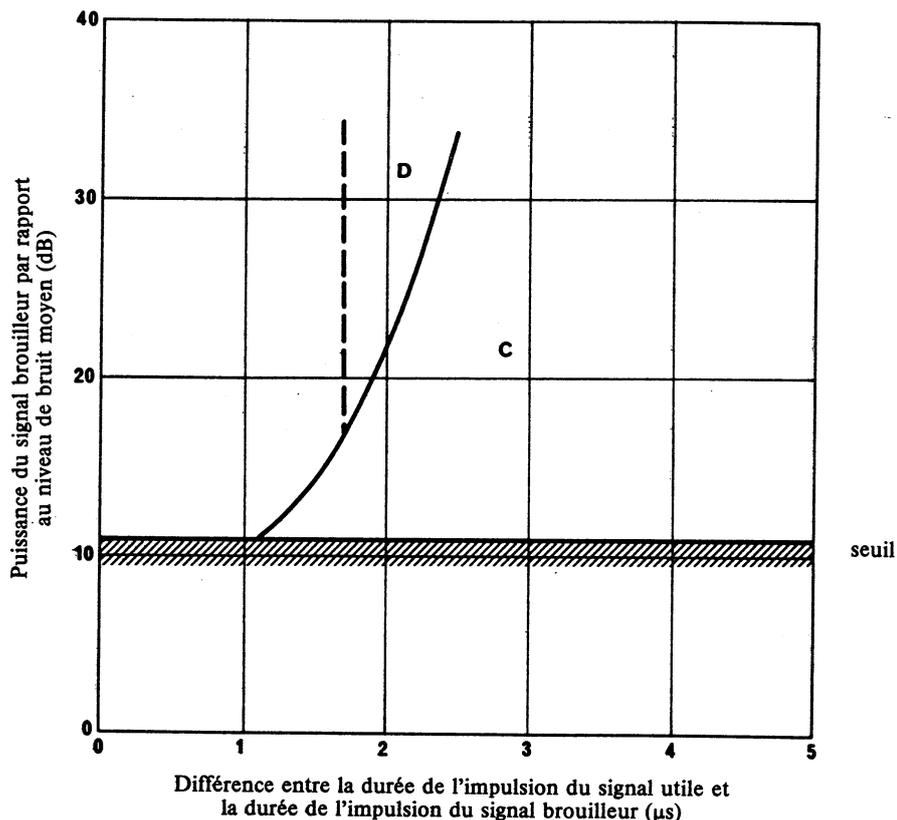


FIGURE 10b- Zones de suppression des signaux brouilleurs facteur de corrélation 3/5

C: zone de suppression sans discrimination par la durée de l'impulsion
C + D: zone de suppression avec discrimination par la durée de l'impulsion

4.5 Résumé des techniques de réduction des brouillages (systèmes fixes)

4.5.1 Discrimination par la fréquence de répétition des impulsions

La technique de la PRFD pourrait être utilisée dans d'autres bandes de fréquences afin d'améliorer l'utilisation du spectre et on pourrait en principe l'employer pour des applications du radar à impulsions autres que celles décrites dans le présent document. L'application de la technique PRFD doit être examinée en relation avec d'autres facteurs de la qualité du signal, tels que la sensibilité du récepteur. Dans le cas des radars mobiles, les avantages sont limités par l'impossibilité de prévoir la position relative des radars utilisant la même fréquence de répétition des impulsions.

4.5.2 Techniques de réduction du brouillage asynchrone

4.5.2.1 Les techniques AIRT utilisant le caractère asynchrone des signaux brouilleurs sont extrêmement efficaces dans les systèmes ordinaires de radar de contrôle de la circulation aérienne.

4.5.2.2 Les dispositions suivantes permettent d'améliorer l'effet de ces techniques:

- introduction de la discrimination par la durée de l'impulsion avant traitement par ces techniques;
- inversion de la séquence PRF dans le radar indicateur de cible en mouvement qui a une PRF décalée;
- augmentation du nombre d'échantillons pour le facteur de corrélation des techniques AIRT.

5. Techniques de réduction des brouillages : balises radar

5.1 Les balises radar maritimes (racons) fonctionnent dans la bande 9300 à 9320 MHz. Les balises radar aéronautiques (ARB) installées au sol sont autorisées à utiliser cette bande en partage à condition de ne causer aucun brouillage préjudiciable aux balises radar maritimes. Une balise radar aéronautique est un dispositif de réception et d'émission, installé à poste fixe pour servir d'aide à la radionavigation aéronautique. Lorsqu'elle est excitée (interrogée) par un radar d'aéronef, elle fonctionne comme répéteur et fait connaître automatiquement son identité par émission en retour d'un signal à codage distinctif.

5.2 Comme indiqué au numéro 825 du Règlement des radiocommunications, les balises radar au sol sont autorisées à fonctionner dans la bande 9300 à 9320 MHz à condition qu'elles ne causent aucun brouillage préjudiciable au service de radionavigation maritime. En utilisant les techniques de suppression du brouillage, on peut éviter que les balises radar aéronautiques causent des brouillages préjudiciables aux radars maritimes.

5.3 Les signaux d'une balise radar aéronautique risquent d'être interceptés par les radars de navire, supposés recevoir ceux des racons maritimes sur la même fréquence. Il peut en résulter des images parasites ou une dégradation de la performance des radars de navire si des mesures particulières n'ont pas été prises. Plusieurs techniques de partage du spectre ont été étudiées dans le cadre d'une analyse de compatibilité des balises aéronautiques et des balises maritimes: espacement des fréquences, interrogations par impulsions codées, discrimination par la fréquence de répétition des impulsions, espacement géographique, discrimination par polarisation de l'antenne, contrôle du diagramme d'antenne dans le plan vertical et discrimination par la durée des impulsions. Cette dernière est considérée comme la plus économique et la plus facile à mettre en œuvre. Il y a deux façons au moyen desquelles un radar maritime pourrait recevoir les signaux d'une balise radar aéronautique: le radar maritime excite lui-même la balise et en reçoit une réponse synchrone ou bien c'est un autre radar qui excite la balise et le radar maritime peut recevoir une réponse asynchrone. Le risque de brouillage est plus grave dans le premier cas, mais il peut être évité grâce à la discrimination par la durée des impulsions.

5.4 La balise radar aéronautique permet de faire une distinction entre radars aéronautiques et radars maritimes grâce à cette méthode de discrimination. Les radars maritimes fonctionnant dans la bande 9300 à 9500 MHz ont des durées d'impulsion inférieures à 2,0 μ s, tandis que les radars d'aéronef interrogent des balises radar aéronautiques dont les impulsions ont une durée de 2,35 μ s. Grâce à ses circuits de détection de la durée des impulsions, la balise radar aéronautique est en mesure de faire une distinction entre les deux types de radars.

5.5 Ce procédé permet de réduire les brouillages, car ainsi les radars maritimes n'actionnent pas les balises radar aéronautiques et par conséquent ne peuvent pas recevoir de réponse parasite. Il n'en reste pas moins qu'un radar maritime peut encore recevoir un signal asynchrone émanant d'une balise radar aéronautique si cette dernière a d'abord été excitée par un radar aéronautique. Il faut pour cela que les deux radars se trouvent en même temps à moins d'une certaine distance de la balise. Le caractère exceptionnel d'une telle situation devrait réduire considérablement le risque de brouillage. De plus, les balises radar aéronautiques et les racons sont, pour ce qui est de l'identification, codés de façon différente. Ce codage permet au radar maritime de soumettre le signal reçu à un traitement de nature à éviter qu'une balise radar aéronautique soit prise par erreur pour une balise radar maritime.

5.6 Indépendamment des techniques utilisées par la balise radar aéronautique pour réduire les brouillages, plusieurs méthodes destinées à assurer la compatibilité sont examinées dans le Rapport 774 intitulé «Caractéristiques techniques des balises de radiodétection à fréquence fixe (racons)».

5.7 *Résumé des techniques de réduction des brouillages causés par les ARBS aux racons*

5.7.1 Comme le stipule le Règlement des radiocommunications, les balises radar aéronautiques travaillent dans la bande 9300 à 9320 MHz. Ces appareils sont absolument nécessaires à la navigation par hélicoptère dans des conditions météorologiques défavorables et pour l'approche de nombreuses aires d'atterrissage critiques.

Ils sont exploités conformément aux attributions de fréquences du Règlement des radiocommunications. Leurs caractéristiques techniques ont été définies en tenant compte des performances d'exploitation dans des conditions météorologiques changeantes ainsi que de la compatibilité avec les balises radar maritimes. Le partage des fréquences entre les systèmes de balises radar aéronautiques et maritimes exigera une planification minutieuse pour assurer la compatibilité d'exploitation de ces deux systèmes. La discrimination par la durée des impulsions et le codage distinctif des balises aux fins d'identification constituent des méthodes permettant d'assurer cette compatibilité.

6. Caractéristiques des futurs équipements de radar

6.1 La Question 35/8 (§ 2 du dispositif) concerne les caractéristiques techniques des stations de radiodétection (radar). La présente section porte sur les bandes d'ondes millimétriques comprises entre 30 GHz et 150 GHz; on y trouvera un exposé général sur l'utilisation probable de cette partie du spectre en radiodétection.

6.2 *Avantages et inconvénients des ondes millimétriques pour la radiodétection*

6.2.1 Les principaux avantages de l'utilisation des ondes millimétriques sont les suivants:

6.2.1.1 Des ouvertures d'antenne relativement petites permettent d'obtenir des valeurs de gain élevées et des ouvertures de faisceau extrêmement faibles qui autorisent une bonne résolution angulaire et une atténuation maximale des effets indésirables de la réflexion et des signaux parasites du sol, même pour des angles de site très faibles.

6.2.1.2 On dispose de plus grandes largeurs de spectre qu'aux fréquences plus basses, ce qui permet d'obtenir une excellente résolution en distance. De plus, on pourra à plus long terme faire fonctionner dans une même bande plusieurs stations de radiodétection géographiquement proches les unes des autres et dotées éventuellement d'émetteurs à agilité de fréquence, sans risque sérieux de brouillages mutuels.

6.2.1.3 Moindre risque de brouillage des autres services, grâce aux effets de l'affaiblissement atmosphérique et à l'utilisation probable de faisceaux étroits.

6.2.2 Les principaux inconvénients de ces longueurs d'onde pour les stations de radiodétection – comme pour la plupart des autres applications possibles dans cette partie du spectre – sont les suivants:

6.2.2.1 L'affaiblissement résiduel par temps clair, qui affecte notamment la propagation au niveau de la mer et qui se manifeste même dans les «fenêtres» qui seront vraisemblablement assignées à la plupart des applications de radiodétection. (Voir les Rapports 719 et 721.)

6.2.2.2 L'affaiblissement additionnel élevé et la forte rétrodiffusion-radar par temps de pluie, même de faible intensité (l'utilisation de faisceaux d'antenne étroits et le bon pouvoir de résolution des distances habituellement employées contribuent cependant en général à réduire les effets de la rétrodiffusion). Cet inconvénient aura probablement pour effet d'interdire ces bandes aux radars météorologiques aéroportés à longue portée.

6.2.2.3 Avec des faisceaux très étroits (qui seront plus vraisemblablement utilisés dans ces bandes – voir le § 6.2.1.1), il sera plus difficile de trouver un compromis entre le nombre d'impulsions pour un éclairage donné et la cadence de renouvellement des données pour les radars à balayage continu, même avec les fréquences plus élevées de répétition des impulsions que les équipements à faible portée permettent de réaliser.

6.2.2.4 Les performances limitées de nombreux éléments constitutifs, actifs et passifs. D'une façon générale, les puissances de crête que l'on peut obtenir avec un tube d'émission donné décroissent en raison inverse du carré de la longueur d'onde au moins et les problèmes posés par l'évacuation des quantités de chaleur indésirables peuvent accélérer encore la diminution de la puissance moyenne; les facteurs de bruit du récepteur augmentent généralement avec la fréquence et les pertes dues à l'affaiblissement dans le guide d'ondes, etc., sont de plus en plus importantes.

6.2.2.5 Le coût relatif des éléments constitutifs est actuellement plus élevé que celui des éléments employés pour les longueurs d'onde supérieures, en raison essentiellement de la grande précision mécanique requise pour leur fabrication (et aussi en raison du faible volume de production).

Compte tenu des facteurs des § 6.2.2.1 à 6.2.2.4, on peut conclure que la quasi-totalité des applications potentielles des longueurs d'ondes millimétriques concernera des systèmes à portée relative-ment courte.

6.2.3 *Quelques applications possibles des techniques de radiodétection dans les bandes millimétriques*

Aux fins du présent Rapport, les applications possibles de la radiodétection dans les bandes d'ondes millimétriques peuvent être classées sous quatre rubriques:

6.2.3.1 Les stations de radiodétection au sol telles que les indicateurs de mouvements au sol sur les aéroports, qui tirent parti des grands pouvoirs de résolution en angle (environ $0,1^\circ$) et en distance que l'on peut obtenir dans ces bandes. Ces stations seraient utilisées de façon continue avec des temps de rotation d'antenne en général de l'ordre de quelques secondes.

6.2.3.2 Certains systèmes de radiodétection aéroportés comme ceux que l'on utilise sur les hélicoptères pour l'évolution en suivi de terrain et pour l'évitement des obstacles et des lignes électriques; ces systèmes exploiteraient la bonne résolution angulaire (environ $0,5^\circ$ à 1°) que l'on peut obtenir avec des antennes de dimensions modestes; les temps de balayage d'un secteur seraient de l'ordre de 1 s ou moins. Autre application possible: les stations de détection aéroportées à observation latérale (c'est-à-dire sans balayage et grand pouvoir de résolution (environ $0,1^\circ$)) employées pour la cartographie et pour d'autres utilisations. Exception faite peut-être de certains emplacements par exemple à proximité des héliports, ces systèmes ne causeraient probablement qu'assez peu de brouillage à d'autres équipements fonctionnant sur la même fréquence.

6.2.3.3 Quelques applications dans le domaine de la radiodétection au sol, telles que les systèmes de surveillance, de poursuite et de guidage à courte portée; cette dernière application tire parti de la réduction des effets de réflexion au sol, etc., jusqu'à des angles de site très faibles, grâce à l'emploi de faisceaux d'antennes étroits (environ $0,2^\circ$). Les probabilités de brouillage avec d'autres équipements semblent réduites.

6.2.3.4 Un très petit nombre de systèmes extrêmement puissants pour la poursuite dans l'espace, les systèmes de radiodétection planétaire et autres applications similaires, avec des antennes de grande taille présentant un gain élevé (environ 80 dB) et des faisceaux très étroits (environ $0,02^\circ$) et fonctionnant avec des émetteurs très puissants. Ces systèmes ne fonctionneraient pas continuellement en balayage mais seraient «pointés» dans des directions très élevées au-dessus de l'horizontale afin de réduire au minimum les effets d'affaiblissement imputables aux conditions atmosphériques.

6.2.3.5 Quelques autres applications possibles d'appareils de radiodétection à faible puissance comme les systèmes du type «barrière de sécurité» fonctionnant en ondes millimétriques, les détecteurs de distance libre sur autoroute, etc., pourraient également utiliser ces fréquences. Toutefois, étant donné leur faible p.i.r.e., et leur couverture très restreinte, il est peu probable que ces appareils causent de graves problèmes de brouillage, sauf aux abords de récepteurs extrêmement sensibles, tels que ceux utilisés par les observatoires radioastronomiques.

6.2.4 On voit que les systèmes de radiodétection fonctionnant en ondes millimétriques seront probablement très divers et que les caractéristiques de ces systèmes dépendront essentiellement de leur application. Ainsi, les radars à courte portée se caractériseront généralement par des gains d'antenne relativement modestes (environ 30 ou 35 dB) et de faibles puissances d'émission, fournies par des sources transistorisées; les systèmes à portée «moyenne» présenteront probablement des gains d'antenne de l'ordre de 40 à 50 dB (c'est-à-dire une ouverture de faisceau d'environ 1°) et seront dotés d'émetteurs à magnétron ayant une puissance de sortie de plusieurs kilowatts en crête et de quelques watts à moyenne puissance; de leur côté, les stations de radiodétection spatiale devront souvent avoir un gain $G_T \approx 80$ dB et être dotées d'émetteurs à gyrotron de forte puissance.

6.2.5 Toutes les stations de radiodétection auront pour caractéristique commune des durées d'impulsions très brèves (de l'ordre de $0,1 \mu\text{s}$ ou moins), ou bien elles obtiendront la bonne résolution équivalente en distance en appliquant des techniques de compression des impulsions, qui fournissent des valeurs relativement faibles de la densité de puissance spectrale maximale; une autre caractéristique commune sera une fréquence de récurrence des impulsions très élevée. Cette fréquence, qui dépend essentiellement de la portée maximale des stations de radiodétection, sera de 3000 imp./s ou plus, sauf pour les stations de radiodétection spatiale, pour lesquelles, néanmoins, on admettra une grande ambiguïté de repérage.

6.2.6 *Aperçu des puissances d'émission probablement réalisables dans des bandes d'ondes millimétriques*

6.2.6.1 Le plus prometteur des dispositifs à semi-conducteur pour émissions d'impulsions semble être la diode IMPATT. A cause de la chaleur dégagée pendant la durée de l'impulsion, on pense qu'à environ 100 GHz, la puissance maximale que l'on pourra vraisemblablement obtenir d'un seul de ces dispositifs, dans l'avenir prévisible, se situera aux alentours de 10 W en crête, la durée d'impulsion maximale étant limitée à $0,1 \mu\text{s}$ environ. Il sera, bien entendu, possible d'obtenir des puissances plus élevées, en utilisant des longueurs d'onde plus grandes et, en combinant la puissance de plusieurs diodes, il est probable qu'on obtiendra une puissance de sortie cinq fois plus élevée que pour un seul dispositif.

6.2.6.2 La meilleure façon de résumer les performances des émetteurs avec tubes à vide est de donner les niveaux de puissance déjà obtenus dans différentes bandes de fréquences. Sauf indication contraire, la durée d'impulsion pour ces tubes est inférieure à $1 \mu\text{s}$; les fréquences et les niveaux de puissance indiqués n'ont qu'une valeur approximative.

Oscillateurs à ondes rétrogrades (OOR): plus de 50 W en ondes entretenues à 35 GHz; 40 W en ondes entretenues à 75 GHz.

Klystrons: 800 W en ondes entretenues à 55 GHz; 500 W en ondes entretenues autour de 80 GHz. On estime également qu'à environ 80 GHz, il devrait être possible d'obtenir 10 kW en crête, avec des impulsions de 10 μ s et avec un quotient d'utilisation allant jusqu'à 0,005.

Tubes à ondes progressives (TOP): 1 kW en ondes entretenues à 35 GHz; 150 à 200 W en ondes entretenues, ou 5 kW en crête, à 55 GHz; 100 W en ondes entretenues, ou 1 kW en crête, autour de 80 GHz.

Magnétrons: jusqu'à 100 kW en crête à 35 GHz; 5 à 10 kW en crête, pour des impulsions de 50 ns, autour de 80 GHz; 2,5 kW en crête, à 120 GHz.

Gyrotrons: 100 kW en ondes entretenues, ou au moins 250 kW en crête, pour des impulsions de longue durée avec un quotient d'utilisation de 0,05, à 35 GHz; 50 kW en ondes entretenues à 55 GHz; 15 kW en ondes entretenues aux alentours de 80 GHz. Actuellement, ces dispositifs ont tendance à être «bruyants».

6.2.6.3 On voit que, dans toutes les bandes de fréquences, le gyrotron fournit les puissances les plus élevées enregistrées jusqu'à présent, mais il convient de souligner qu'il s'agit là d'un dispositif de dimensions relativement importantes, dont l'électronique est alimentée par une tension de l'ordre du mégavolt et que l'on ne peut guère loger que dans les grandes installations fixes de radiodétection.

6.2.6.4 On s'avancerait beaucoup en affirmant qu'aucun autre type d'émetteur à semi-conducteur ou à tube à vide ne sera mis au point dans les vingt prochaines années, pour les fréquences considérées ici; il convient de noter cependant qu'il y aura toujours des limitations fondamentales aux puissances de sortie en crête et aux puissances de sortie moyennes du fait des dimensions des appareils et des problèmes de dissipation de chaleur. Il existe également des limitations aux niveaux de puissance en crête, limitations auxquelles on peut remédier grâce aux guides d'ondes classiques fonctionnant à la pression atmosphérique (5 kW en crête dans le guide d'ondes WR 12 entre 70 et 90 GHz, par exemple): on peut surmonter ces difficultés, dans une certaine mesure, par pressurisation ou en remplissant le guide d'ondes avec, par exemple, de l'hexafluorure de soufre gazeux; une autre solution – à appliquer avec précaution – consiste à utiliser un guide d'ondes à modes multiples (c'est-à-dire surdimensionné).

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BLYTHE, J. H. [1970] Separation of radars on common frequencies by pulse-repetition frequency discrimination. *GEC J. Sci. and Tech.*, Vol. 37, 4, 157.

HINKLE, Robert L., Background Study on Efficient Use of the 2700-2900 MHz Band, NTIA Report 83-117, août 1983, NTIS # PB 83-214288.

ANNEXE I

1. Description de la technique de réduction du brouillage asynchrone (AIRT)

La Fig. 8 montre un diagramme de ces techniques. Le signal d'entrée est envoyé au circuit porte de commutation vidéo et au détecteur de seuil. Seul un signal dont le niveau est supérieur à une certaine valeur (par exemple le niveau de bruit moyen +10 dB) est décelé par le détecteur de seuil et envoyé à la mémoire à balayage à deux étages.

Les données A les plus récentes et les deux données de balayage (période d'émission) sont ensuite envoyées au circuit de corrélation à balayage qui détecte l'absence ou la présence d'un signal brouilleur dans la même gamme des trois signaux (une durée déterminée après l'impulsion émise) et un signal qui neutralise le signal vidéo est déclenché seulement en présence d'un signal brouilleur.

Ce circuit fonctionne de la même façon avec des signaux analogiques ou des signaux numériques.

2. Conditions de la simulation

- On admet que la réponse en amplitude du filtre de réception de la Fig. 11 est une courbe gaussienne.
- Les critères du circuit de corrélation de balayage permettent d'établir une corrélation pour les données dans un intervalle de 0,5 μ s (la moitié de la durée de l'impulsion) avant et après (le long de l'axe de temps) le signal d'entrée en raison des possibilités de détection de la cible.
- Le détecteur de seuil sera réglé en fonction des probabilités de fausse alarme et des probabilités de détection spécifiées à la sortie vidéo.

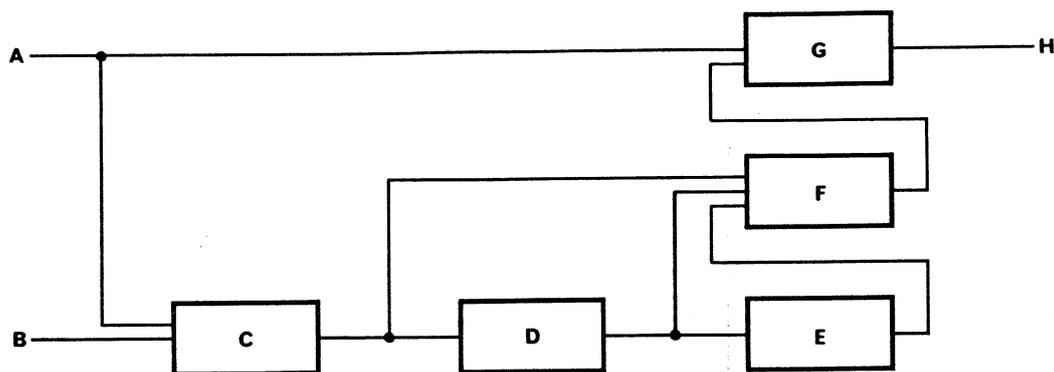


FIGURE 11- Diagramme du circuit de réduction du brouillage asynchrone

A: signal vidéo radar d'entrée
 B: données de contrôle du seuil
 C: détecteur de seuil
 D: mémoire à balayage
 E: mémoire à balayage
 F: corrélation de balayage
 G: commutateur vidéo
 H: signal vidéo radar de sortie

RAPPORT 1039*

UTILISATION ACTUELLE ET UTILISATION FUTURE DE LA BANDE 9320-9500 MHz PAR LES RADARS MOBILES DU SERVICE DE RADIONAVIGATION

(Question 63/8)

(1986)

1. Introduction

1.1 Le considérant g) de la Question 63/8 attire l'attention sur l'augmentation des brouillages préjudiciables qui se produisent dans la bande de fréquences 9300-9500 MHz en raison du nombre croissant de radars maritimes, du besoin croissant d'aides à la navigation et de répondeurs fonctionnant avec des radars primaires et du nombre croissant de stations du service de radionavigation aéronautique.

1.2 Le présent Rapport est le résultat d'études et de mesures (Royaume-Uni et Etats-Unis d'Amérique) sur l'utilisation actuelle et l'utilisation future de la bande 9320-9500 MHz par les radars mobiles du service de radionavigation.

2. Utilisation actuelle de la bande 9320-9500 MHz

2.1 La bande 9320-9500 MHz est attribuée dans le monde entier à titre primaire au service de radionavigation; elle est très largement utilisée par les radars maritimes primaires. Elle est aussi utilisée couramment par les radars terrestres et aéroportés du service aéronautique. L'utilisation du radar primaire par les navires est une aide précieuse à la navigation en haute mer et dans les eaux portuaires; elle est reconnue comme telle par l'Organisation maritime internationale, qui modifie actuellement la Convention internationale de 1974 pour la sauvegarde de la vie humaine en mer pour y inclure des spécifications supplémentaires concernant les radars embarqués.

* Le Directeur du CCIR est prié de porter le présent Rapport à l'attention de la Commission d'études 1, de l'Organisation maritime internationale (OMI), de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et de l'Association internationale de signalisation maritime (AISM).