

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
3 septembre 2015 (03.09.2015)

WIPO | PCT

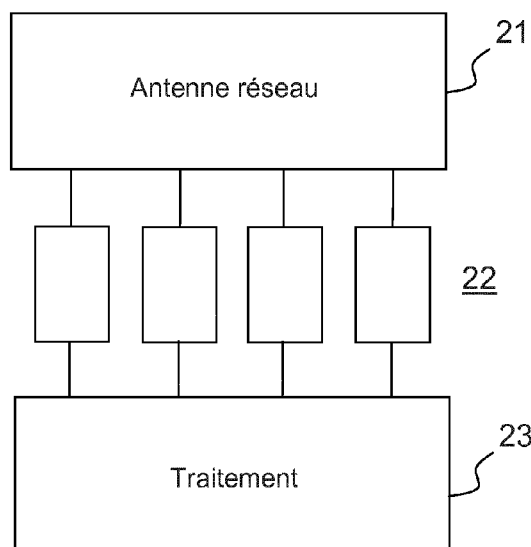
(10) Numéro de publication internationale
WO 2015/128351 A1

- (51) Classification internationale des brevets :
G01S 7/02 (2006.01) *G01S 3/46* (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2015/053892
- (22) Date de dépôt international :
25 février 2015 (25.02.2015)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1400514 28 février 2014 (28.02.2014) FR
- (71) Déposant : **THALES** [FR/FR]; Tour Carpe Diem, Place des Corolles, Esplanade Nord, F-92400 Courbevoie (FR).
- (72) Inventeurs : **CORNIC, Pascal**; 85 rue Henri Queffelec, F-29820 Guilers (FR). **AUDIC, Yves**; TSA Brest, Avenue de la 1ère DFL, F-29238 Brest Cedex 3 (FR). **LE BIHAN, Patrick**; 20 rue Léocadie Penquer, F-29870 Lannilis (FR).
- (74) Mandataires : **LUCAS, Laurent** et al.; Marks & Clerk France, Immeuble Visium, 22, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : RADAR DEVICE SUITABLE FOR EQUIPPING A COASTAL MONITORING SYSTEM, AND COASTAL MONITORING SYSTEM INCORPORATING SUCH A DEVICE

(54) Titre : DISPOSITIF RADAR APTE A EQUIPER UN SYSTEME DE SURVEILLANCE COTIERE, ET SYSTEME DE SURVEILLANCE COTIERE INTEGRANT UN TEL DISPOSITIF



(57) Abstract : The radar device comprises at least: - an antenna (21) operating at the polarisation of marine navigation radars and comprising at least three receiving channels in the horizontal plane, - for each channel, a receiver (22), the bandwidth of which is tunable in the frequency range of said marine navigation radar; - a processing unit (23) simultaneously making a plurality of detections, each adapted to a type of received signal. The processing unit compares parameters of the detected radar signals with standard parameters defining marine navigation radars in order to deduce therefrom the nature of the vessels fitted with the radars emitting said signals.

(57) Abrégé : Le dispositif radar comporte au moins : - une antenne (21) fonctionnant dans la polarisation des radars de navigation maritime et comprenant au moins trois voies de réception dans le plan horizontal, - pour chaque voie, un récepteur (22) dont la bande passante est accordable dans le domaine de fréquence desdits radar de navigation maritime; - une unité de traitement (23) réalisant simultanément plusieurs détections adaptées chacune à un type de signal reçu; L'unité de traitement effectue une comparaison de paramètres des signaux radar détectés avec des paramètres normés encadrant la définition de radars de navigation maritime afin d'en déduire la nature des navires équipés des radars émettant lesdits signaux.

FIG.2

FIG. 2:
21 Network antenna
23 Processing

WO 2015/128351 A1

WO 2015/128351 A1 

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG). **Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

**Dispositif radar apte à équiper un système de surveillance côtière,
Et système de surveillance côtière intégrant un tel dispositif.**

La présente invention concerne un dispositif radar apte à équiper un système de surveillance côtière. Elle concerne également un système de surveillance côtière intégrant un tel dispositif.

5

L'invention s'applique notamment dans le domaine de la surveillance côtière où l'on cherche non seulement à détecter, à localiser et à identifier tous types de navires à partir de la côte, mais aussi à analyser le trafic et détecter d'éventuels comportements suspects.

10

Les stations de surveillance côtière, pour la sécurisation des approches maritimes et la surveillance du trafic, utilisent des systèmes de détection et de poursuite à base de radars et de systèmes d'interception de type AIS et des chaînes de goniométrie pour la détection, la localisation et l'identification

15 de plateformes navales. Leur capacité est limitée aux performances physiques de ces équipements et à la volonté de discrétion des cibles, ce qui induit des incertitudes et des difficultés de gestion des trafics.

Par exemple, la sensibilité d'un radar peut s'avérer insuffisante pour détecter de petites embarcations, en particulier par mer forte, celles-ci se confondant

20 avec le fouillis de mer ou pouvant être masquées par les vagues. De même, à grande distance, et selon la hauteur d'installation du radar de surveillance côtière, une partie importante du navire peut disparaître sous l'horizon, ce qui tend à réduire de façon importante sa surface équivalente radar, empêchant de ce fait sa détection.

25 Par ailleurs le système d'identification automatique, encore appelé AIS, a une portée limitée :

- Pour les navires de fort tonnage, comme les cargos ou les navires de la marine marchande, les équipements AIS dits de classe A, ont une portée maximum de 20 Nm ;
- 30 - Pour les bateaux de pêche de moins de 15 mètres ou les bateaux de loisir, les équipements AIS dits de classe B ont une portée de 5 à 10 Nm, selon le type et le fournisseur.

De plus, tous les navires ne sont pas équipés d'AIS et certains le neutralisent dans une volonté de discrétion. L'AIS peut même être brouillé volontairement. Cela entraîne des risques de collision ou de non détection d'embarcations malveillantes ou non.

- 5 Il faut noter également que les équipements actuels de type ESM, au niveau de l'état de l'art pour la détection, la classification et l'identification de navires par l'interception de leur émission radar représentent un investissement trop important pour être généralisé. De plus, la prolifération à venir des radars de navigation à technologie état solide et à faible puissance crête limite
10 l'efficacité de l'utilisation de ces équipements traditionnels vis-à-vis de ce type de radars.

Un but de l'invention est notamment de pallier les inconvénients précités, en permettant la réalisation d'un système de surveillance côtière à très haute
15 sensibilité. A cet effet, l'invention a pour objet un dispositif radar apte à équiper un système de surveillance côtière, ledit dispositif comportant au moins :

- une antenne fonctionnant dans la polarisation des radars de navigation maritime et comprenant au moins trois voies de réception
20 dans le plan horizontal,
- pour chaque voie, un récepteur dont la bande passante est accordable dans le domaine de fréquence desdits radar de navigation maritime ;
- une unité de traitement réalisant simultanément plusieurs détections adaptées chacune à un type de signal reçu.

25 L'unité de traitement effectue une comparaison de paramètres des signaux radar détectés avec des paramètres normés encadrant la définition de radars de navigation maritime afin d'en déduire la nature des navires équipés des radars émettant lesdits signaux.

Dans un mode de réalisation, l'unité de traitement réalise simultanément une
30 détection adaptée à des signaux radars impulsionnels et une détection adaptés à des signaux radar de faible puissance crête, et réalisant la localisation angulaire des radars émettant les signaux détectés.

La détection des signaux radar est par exemple effectuée selon plusieurs étages successifs de filtrage fréquentiel montés en cascade, correspondant

3

aux différentes bandes de fréquences possibles propres aux radars de navigation maritime.

La détection des signaux radars impulsionnels est par exemple effectuée par détection quadratique. La détection des signaux radars de faible puissance crête est par exemple effectuée par autocorrélation des signaux reçus sur une même voie. La détection des signaux radars de faible puissance crête peut aussi être effectuée par inter corrélation des signaux reçus sur différentes voies de réception.

L'antenne est par exemple une antenne réseau de type interférométrique en azimut. Dans un autre mode de réalisation possible, l'antenne est une antenne réseau de type monopulse.

L'antenne peut-être positionnée sur un axe rotatif vertical de façon à couvrir par rotation continue un domaine angulaire déterminé dans le plan horizontal.

Dans un autre mode de réalisation possible, l'antenne est positionnée sur un axe rotatif vertical de façon à couvrir par positions angulaires successives fixes et alternées un domaine angulaire déterminé dans le plan horizontal.

L'antenne est par exemple composée de quatre réseaux antennaires plans comprenant chacun au moins trois sous-réseaux, un seul sous-réseau de chaque réseau étant connecté au récepteur à un instant donné, les autres sous-réseaux étant connectés successivement.

Dans un autre mode de réalisation possible, l'antenne est composée de quatre réseaux antennaires plans comprenant chacun au moins trois sous-réseaux, seuls les quatre sous-réseaux d'un même panneau antennaire étant connectés au récepteur à un instant donné, les sous-réseaux des autres panneaux étant successivement connectés au récepteur.

Avantageusement, le dispositif est par exemple apte à coopérer avec d'autres moyens de détection, lesdits autres moyens étant du type radars et/ou de type AIS.

30

L'invention a également pour objet un système de surveillance côtière comportant un dispositif tel que décrit précédemment.

Dans un mode de réalisation possible, ce système comporte d'autres moyens de détection, lesdits moyens étant de type radars et/ou de type AIS.

Les paramètres des signaux détectés par ledit dispositif sont par exemple fusionnés avec les informations recueillies par lesdits autres moyens afin d'améliorer la classification des navires ou d'en assurer l'identification. Lesdites informations recueillies sont par exemple du type « range profile »
5 et/ou de type image ISAR.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit faite en regard de dessins annexés qui représentent :

- la figure 1, une illustration du principe selon l'invention ;
- 10 - la figure 2, une présentation des composants d'un dispositif selon l'invention ;
- la figure 3, un premier exemple d'antenne utilisée dans un dispositif selon l'invention ;
- les figures 4a et 4b, deux autres exemples d'antennes pouvant être
15 utilisées dans un dispositif selon l'invention ;
- la figure 5, un autre exemple d'antenne susceptible d'être utilisée dans un dispositif selon l'invention ;
- la figure 6, une présentation des étapes possibles mises en œuvre par l'unité de traitement d'un dispositif selon l'invention ;
- 20 - la figure 7, un exemple de séparation fréquentielle et de détection des signaux reçus effectué par l'unité de traitement précitée ;
- la figure 8, un exemple d'estimation de la direction d'arrivée des signaux reçus effectué par l'unité de traitement précitée.

25 La figure 1 illustre le principe de l'invention. Un dispositif selon l'invention détecte les émissions des radars de bords 1 qui sont positionnés sur un point haut des bateaux 2, souvent en tête de mat. Cela garantit avantageusement pour un radar de surveillance situé à une hauteur H, une visibilité au-dessus de l'horizon à distance R' plus lointaine que la distance R obtenue par un
30 radar de station de surveillance côtière classique percevant la surface équivalente radar des bateaux à une hauteur plus faible, comme le montre la figure 1.

Un objet de l'invention est donc un dispositif de surveillance côtière à très haute sensibilité, basé sur la détection passive des radars de navigation des
35 navires, quel que soit leur type, y compris les radars à faible puissance

crête, dits LPI. Un dispositif selon l'invention permet ainsi de renforcer les capacités de surveillance côtière des stations conventionnelles.

Comme les autres équipements constituant une station côtière, il est apte à être positionné en bordure de mer sur un point élevé 3 pour bénéficier d'une distance à l'horizon la plus grande possible. Combiné avec les autres moyens de géolocalisation comme le radar de réception AIS, un dispositif selon l'invention apporte un gain de robustesse et de redondance en matière de surveillance du trafic maritime et offre de nouvelles possibilités de classification et d'identification de navires, ainsi que de nouvelles capacités de détection des comportements anormaux.

La figure 2 illustre de façon schématique les composants d'un dispositif selon l'invention. Un dispositif selon l'invention détecte les ondes émises par les radars maritimes, capable de détecter simultanément des radars à impulsions de forte puissance crête, typiquement plusieurs kilowatts, et des radars à ondes continues ou quasi continues à très faible puissance crête, typiquement quelques milliwatts à un watt. Le dispositif comporte au moins :

- une antenne réseau directive 21 comprenant au moins trois voies de réception en polarisation rectiligne horizontale, correspondant à la polarisation des antennes des radars de navigation ;
- pour chaque voie, un récepteur hétérodyne 22, voire superhétérodyne, dont la bande passante est accordable et limitée au domaine de fréquence des radars de navigation, de façon préférentielle entre 9,3 et 9,5 GHz, mais pas uniquement ;
- une unité 23 de traitement de détection réalisant simultanément la détection des signaux radars impulsions et de type LPI, le type de traitement étant fonction de la nature des signaux reçus.

Ainsi, un dispositif selon l'invention reçoit à l'aide de l'antenne directive multivoies les signaux issus des radars de navigation, transpose ces signaux en fréquence puis les code dans un récepteur hétérodyne ou superhétérodyne 22 à haute dynamique et à faible facteur de bruit. Enfin, ces signaux sont traités 23 dans un calculateur, par exemple dédié, afin d'en extraire les caractéristiques principales et la direction d'arrivée, le traitement étant différencié selon la nature des signaux, impulsions ou LPI.

La figure 3 illustre un mode de réalisation possible de l'antenne 21, représentée dans un plan vertical. Cette dernière fonctionne par exemple en polarisation horizontale, ce qui correspond à la polarisation des radars de navigation maritime.

5 Dans cet exemple de réalisation, l'antenne 21 comporte quatre voies de réception 31, 32, 33, 34 répartis sur sa longueur L. Cette longueur L est par exemple de quelques dizaines de centimètres, typiquement 50 cm, pour permettre par mesure de phase l'estimation de la direction d'arrivée avec une grande précision, typiquement meilleure que 1°. Son faisceau est pincé en
10 élévation de façon à éclairer la surface de la mer sur une distance étendue. A cet effet, l'ouverture est par exemple de l'ordre de 20°. De façon préférentielle, l'antenne présente un diagramme plus étroit et co-sécanté en élévation de façon à optimiser simultanément son gain et sa couverture sur la surface de la mer. L'antenne peut avantageusement être réalisée en circuit
15 imprimé afin de réduire son coût de réalisation.

L'antenne 21 est par exemple de type interférométrique, c'est-à-dire composée de plusieurs sous-réseaux 35, 36, 37, 38 directif dans le plan vertical et d'ouverture large, typiquement 90° dans le plan horizontal, ces sous-réseaux étant répartis de façon non uniforme sur la longueur de
20 l'antenne comme le montre la figure 3.

Un tel réseau présente une ouverture angulaire instantanée de l'ordre de 90° dans le plan horizontal. Afin d'augmenter la couverture angulaire dans le plan horizontal, potentiellement jusqu'à 360°, cette antenne 21 peut être installée sur un système mécanique apte à se mouvoir en rotation, permettant une
25 couverture angulaire complète par balayage mécanique sectoriel. Dans ce cas, l'antenne est positionnée immobile successivement dans plusieurs directions de pointage, de façon à couvrir au cours d'une même séquence temporelle l'ensemble du domaine de surveillance, cette séquence temporelle étant programmée selon la configuration du lieu d'implantation du
30 système.

L'augmentation du domaine angulaire peut également être obtenue par la juxtaposition de plusieurs panneaux, du type de celui de la figure 3, orientés dans des directions différentes, ces panneaux étant associés chacun à un récepteur, ou bien commutés séquentiellement sur un même récepteur.
35 Dans ce dernier cas, toujours dans une solution à quatre voies de réception,

il est possible de couvrir 360° en reliant, par l'intermédiaire d'une matrice de commutation, quatre antennes 21 à quatre voies à un récepteur unique comportant lui-même quatre voies, avec deux états possibles de fonctionnement. Les figures 4a et 4b illustrent ces deux états possibles de fonctionnement avec quatre panneaux antennaires du type de l'antenne 21 de la figure 3.

La figure 4a présente un mode veille sur 360° . Dans cette configuration, sur chaque panneau antenne 211, 212, 213, 214 un sous-réseau 37 sur quatre est connecté au récepteur quatre voies 41 à un instant donné, les autres sous-réseaux 35, 36, 38 étant successivement commutés un par un sur ce récepteur 41. Les quatre ouvertures angulaires 40 couvrent l'ensemble du secteur 360° .

La figure 4b, présente un mode dit DOA. Dans cette configuration, seuls les quatre sous-réseaux 35, 36, 37, 38 d'un même panneau antenne 214 sont connectés au récepteur 41 à un instant donné. Les quatre sous-réseaux des autres panneaux sont séquentiellement connectés au récepteur 41.

La figure 5 présente un autre exemple de réalisation possible de l'antenne 21. Dans cet exemple, l'antenne est de type monopulse de phase. Elle est composée de plusieurs sous-réseaux directifs 45, 46, 47, 48, dans le plan vertical et dans le plan horizontal de même ouverture angulaire. Ces sous-réseaux, ayant chacun un point centre d'alimentation 55, 56, 57, 58, sont adjacents et répartis de façon uniforme sur la longueur de l'antenne. Dans l'exemple de la figure 5, l'antenne comporte quatre sous-réseaux d'ouverture angulaire égale à 20° par 20° .

Dans le mode de réalisation de la figure 5, l'antenne est placée en rotation autour d'un axe vertical 49 de façon à couvrir un secteur angulaire donné, pouvant atteindre 360° . La rotation peut être continue ou non, selon un sens de rotation unique ou selon un sens de rotation alterné.

Le récepteur 41 utilisé en sortie de l'antenne 21, quel que soit le mode de réalisation de cette dernière, peut être réalisé classiquement. Il peut être superhétérodyne, c'est-à-dire comportant deux étages de fréquence intermédiaire, effectuant deux transpositions de fréquence. Le récepteur peut être intégré au dos de l'antenne de façon à minimiser les pertes dans les

liaisons hyperfréquence. Son domaine de fonctionnement est accordable en fréquence dans la bande des radars de navigation.

Le récepteur comporte par exemple les fonctionnalités suivantes :

- Limitation et amplification faible bruit ;
- 5 - Filtrage, amplification et transposition en fréquence en première fréquence intermédiaire à l'aide d'un premier oscillateur local commandé en fréquence ;
- Filtrage, par exemple dans une bande passante de 100 MHz, amplification et transposition en deuxième fréquence intermédiaire à l'aide d'un deuxième oscillateur local à fréquence fixe ;
- 10 - Atténuation programmable des voies de réception, par exemple sur une dynamique de 50 dB ;
- Codage numérique, par exemple sur 12 bits, à 500 MHz ;
- Mise en forme et transposition des données vers le calculateur de traitement 23 via une liaison série à très haut débit, par exemple en
- 15 technologie à fibre optique.

La figure 6 présente les différentes étapes possibles effectuées par l'unité de traitement 23 en sortie du récepteur. Le traitement s'effectue sur les

20 signaux numérisés en sortie du récepteur, pour chacune des différentes voies antennaires. A cet effet, l'unité 23 comporte par exemple un calculateur PC équipé d'une carte de traitement du signal à base FPGA.

Le traitement comporte une première étape 61 ayant pour but de séparer les signaux reçus, en effectuant par exemple une séparation fréquentielle des

25 signaux par filtrage numérique appliquée sur chaque voie antennaire. Avant l'étape suivante de détection 62, cette opération vise notamment à optimiser le rapport signal sur bruit, à isoler les uns des autres les différents signaux présents dans l'environnement pour en faciliter la détection et éliminer les intermodulations qui peuvent être sources de fausses détections et enfin à

30 permettre une estimation de la fréquence des différents signaux présents.

L'étape suivante 62 comporte au moins deux traitements en parallèle. Plus particulièrement, le dispositif selon l'invention effectue la détection à l'aide d'au moins deux traitements spécifiques et simultanés des signaux radars de navigation maritime, et l'estimation des directions d'arrivée de ces signaux.

Un premier traitement est adapté aux signaux impulsionnels et un deuxième traitement est adapté aux signaux émis par les radars LPI.

Dans une dernière étape 63, le dispositif effectue l'extraction des paramètres discriminants des signaux détectés.

5

La figure 7 illustre une mise en œuvre possible pour la séparation fréquentielle des signaux. Ce premier traitement est effectué, en sortie de chaque voie antennaire 70, sur plusieurs étages successifs de filtrage 71, 72, 73 montés en cascade qui effectuent la décomposition de la bande de réception totale ΔF en sous-bandes de plus en plus étroites au fil des étages. Une telle décomposition est notamment décrite dans la demande de brevet FR 1301719. La figure 7 illustre la séparation fréquentielle en sortie de la voie d'ordre i . A chaque étage d'ordre j correspond $2N_j$ filtres adjacents de largeur de bande $\Delta F/2N_j$ correspondant à une fenêtre d'analyse temporelle de longueur $2N_j/\Delta F$. Dans l'exemple de la figure 7, N_j est respectivement égal à 2, 8 et 32 pour les premier, deuxième et troisième étages, chaque filtre d'un étage étant relié en sortie à quatre filtres adjacents de l'étage suivant.

Ainsi pour la voie antennaire d'ordre i , le premier étage 71 comporte quatre filtres de largeur $\Delta F/4$, le deuxième étage 72 comporte 16 filtres de largeur $\Delta F/16$ et le troisième étage 73 comporte 64 filtres de largeur $\Delta F/64$. Il serait possible de prévoir plus ou moins d'étages.

On part d'une largeur de bande ΔF suffisamment grande pour englober toutes les fréquences possibles issues des radars de navigation maritime. On utilise par ailleurs trois étages pour obtenir trois largeurs de bande différentes $\Delta F/4$, $\Delta F/16$, $\Delta F/64$ afin de couvrir un maximum de cas, l'apparition d'un cas n'étant pas connue a priori. En d'autres termes, une solution du type de la figure 7 permet d'adapter la sensibilité et la capacité d'analyse intra pulse du récepteur à différentes longueurs d'impulsions et à différents types de modulation.

Les étages de filtrage sont donc dimensionnés pour s'adapter à la détection des différents types de radars de navigation dont les caractéristiques principales sont connues a priori. En pratique, un petit nombre d'étages de filtrage de bandes passantes différentes peut être suffisant pour traiter toutes les largeurs d'impulsions possibles. Comme indiqué ci-dessus, trois étages

peuvent être suffisants. Par exemple, en partant d'une bande passante de réception instantanée $\Delta F = 100$ MHz, on peut choisir un traitement comprenant trois étages successifs, avec les bandes passantes suivantes :

- Pour l'étage 1 : $N_1 = 2$, bande passante $\Delta F/4 = 25$ MHz ;
- 5 - Pour l'étage 2 : $N_2 = 8$, bande passante $\Delta F/16 = 6,25$ MHz ;
- Pour l'étage 3 : $N_3 = 32$, bande passante $\Delta F/64 = 1,56$ MHz ;

Ce choix est notamment justifié par les cas de radars de navigations décrits ci-dessous.

10 Cas des radars à signaux impulsionnels à magnétron

Typiquement, les radars de navigation de type impulsionnel à magnétron présentent des durées d'impulsion comprises entre 80 ns et 1 μ s et n'ont pas de modulation intra-pulse. La bande de fréquence couverte par ces impulsions est grossièrement égale à l'inverse de la durée d'impulsion, et
15 s'étend donc typiquement de 1 MHz à 12,5 Mhz. Leur facteur de forme est typiquement inférieur ou égal à 1%.

Par ailleurs, ces radars sont de forte puissance crête, typiquement supérieure à 2 kilowatt, et il n'est pas nécessaire d'ajuster rigoureusement la largeur des filtres de réception aux différentes durées d'impulsions pour
20 obtenir la sensibilité nécessaire pour la détection.

Cas des radars à signaux impulsionnels à amplificateur état solide à compression d'impulsion

Ces radars génèrent des impulsions modulées en fréquence, sous forme de modulation linéaire encore appelée « chirp », leur puissance crête est plus
25 faible que celle des radars à magnétron, typiquement de l'ordre de 200 watt crête, et leur facteur de forme est typiquement supérieur à 10%.

Par ailleurs, la pente maximum de modulation du chirp est typiquement de l'ordre de 100 MHz en 50 μ s.

30 Pour ce type de radar dont la fréquence varie dans l'impulsion, les filtres les mieux adaptés sont ceux dont la bande passante $\Delta F/2N_j$ est supérieure ou égale à la plage de variation totale de fréquence du signal pendant le temps d'intégration de ces filtres, dont la valeur est typiquement $2N_j/\Delta F$.

Pour un signal de type « chirp » ceci peut s'écrire : $\frac{\Delta F}{2N_j} \geq \sqrt{p}$, où p est la pente du « chirp »

Par exemple, si l'on considère un signal impulsionnel de durée 50 μ s présentant une modulation « chirp » de pente $p = 100$ MHz par 50 μ s, les
5 bandes passantes $\Delta F/2N_j$ les mieux adaptées à la détection sont supérieures ou égales à 1,4 MHz.

Ici encore les radars considérés sont de forte puissance crête, typiquement de l'ordre de 200 watts, et il n'est pas nécessaire d'ajuster rigoureusement la largeur des filtres de réception à la pente des chirp pour obtenir la sensibilité
10 nécessaire à la détection.

Cas des radars LPI

Ces radars présentent des puissances crête faibles, typiquement de l'ordre de 1 milliwatt à 1 watt, et se distinguent par des « impulsions » modulées très
15 longues, typiquement de l'ordre d'une milliseconde, et par des facteurs de forme très élevés, typiquement compris entre 25% et 100%

Les modulations intra pulse, quelles que soient leurs types, continues ou codées, en phase ou en fréquence, s'apparentent à des lois d'évolution de phase quadratique, ou ce qui est équivalent, d'évolution de fréquence
20 linéaire.

Par ailleurs, la bande de modulation équivalente maximum est typiquement de l'ordre de 100 MHz en une milliseconde.

La détection de ce type de radar nécessite non seulement une chaîne de réception à haute sensibilité, mais aussi un traitement d'intégration sur un
25 temps long, typiquement de l'ordre de 100 μ s, effectué après la première étape de séparation fréquentielle.

Pour ce type de radar dont la fréquence varie dans l'impulsion, les filtres les mieux adaptés sont ceux dont la bande passante $\Delta F/2N_j$ est supérieure à la variation totale de fréquence du signal pendant le temps de traitement
30 nécessaire à la détection.

Par exemple, si l'on considère un signal impulsionnel de durée 1 ms présentant une bande de modulation de 100 MHz et un temps d'intégration

nécessaire à la détection de 100 μ s, la bande passante de l'étage de filtrage utilisé doit être supérieure à 10 MHz, correspondant à l'étage 1 dans l'exemple ci-dessus.

- 5 Une fois l'étape 61 de séparation des signaux effectuée, le dispositif effectue l'étape 62 de détection. En sortie de chaque étage, et pour chaque filtre, les signaux sont à cet effet orientés vers un dispositif de détection visant à extraire les différents signaux présents. La détection s'effectue en sortie des étages de filtrage, de façon simultanée et différenciée.
- 10 Comme le montre la figure 7, la détection des radars à signaux impulsionnels peut s'effectuer par détection quadratique en sortie des différents étages de filtrage 71, 72, 73 et pour chaque filtre de chacune des voies de réception. Plus particulièrement dans ce cas, le dispositif de détection effectue par une détection quadratique 78, en calculant la norme du signal au carré, puis en
- 15 comparant 79 le résultat à un seuil, une détection étant obtenue lorsque ce seuil est dépassé. Dans l'exemple de la figure 7, le signal $X_{i,j,k}$ en sortie du filtre d'ordre k sur l'étage j , pour la voie antenne i , est traité de cette manière. Ce signal est un signal complexe dont la valeur quadratique est égale à $I^2 + Q^2$, I et Q étant ses composantes réelle et imaginaire.
- 20 Ainsi, quelles que soient les caractéristiques de la fréquence porteuse, de la modulation de fréquence et de l'enveloppe des impulsions à détecter dans la bande de réception, il existe au moins une voie de réception adaptée à la détection du signal.
- 25 La détection des radars LPI s'effectue par un autre type de traitement, soit par autocorrélation du signal reçu sur chaque voie de réception, soit par intercorrélacion des signaux reçus sur les différentes voies antennaires de l'antenne, prises deux à deux, conformément par exemple à ce qui est décrit dans la demande de brevet FR 1301719 précitée, concernant un dispositif de
- 30 détection de signaux électromagnétiques.
- Cette opération de corrélation s'effectue sur un temps long, typiquement de 100 μ s et s'effectue après un premier filtrage séquentiel. La bande passante des filtres choisis pour effectuer la corrélation doit tenir compte des pentes de modulation de fréquence maximum qui sont typiquement de 100 MHz par
- 35 milliseconde, ce qui correspond à une migration en fréquence de 10 MHz en

100 μ s. Ainsi la bande passante de ces filtres ne doit pas être inférieure à la migration en fréquence pendant le temps de corrélation, soit typiquement 10 MHz, pour ne pas dégrader le rapport signal à bruit. Dans l'exemple de dimensionnement des étages de filtrage précédent, le traitement peut être effectué en sortie du premier étage de filtrage 71, soit l'étage 1 où $\Delta F/4 = 25$ MHz.

L'étape de détection 62 effectue également l'estimation de la direction d'arrivée des signaux. Dans le cas de la détection d'un radar de type impulsif l'estimation de la direction d'arrivée est par exemple calculée à partir de la mesure 81 des mesures de phases différentielles $\Phi_{m,k}(i, j)$ obtenues en sortie de filtres semblables ayant donné lieu à la détection sur les différentes voies antennaires 70, 80 comme l'illustre la figure 8. En particulier, cette figure montre la mesure 81 de la phase différentielles $\Phi_{m,k}(i, j)$ en sorties des filtres d'ordre k de l'étage m pour les voies antennaires i et j. Dans le cas de la détection d'un radar de type LPI, l'estimation de la direction d'arrivée des signaux peut s'effectuer conformément à la description du brevet déjà cité FR 1301719.

A l'issue de l'étape d'estimation de la direction d'arrivée des signaux, on obtient la localisation angulaire des navires détectés. Il reste notamment à en déterminer la nature ou la classification.

A cet effet, à la suite des traitements de détection simultanés, et d'estimation des directions d'arrivée des signaux, le dispositif selon l'invention réalise le désentrelacement et le pistage des signaux conformément aux règles de l'art connues pour les dispositifs ESM, visant à isoler les signaux entre eux et à observer leur évolution dans le temps. Cette observation est basée sur un temps long de sorte qu'un même radar puisse être détecté plusieurs fois afin de le caractériser.

De façon classique, les paramètres décrivant les signaux radars qui peuvent être estimés sont les suivants :

- Temps d'arrivée de l'impulsion ;
- Durée de l'impulsion ;
- Période de répétition ;
- Fréquence porteuse ;

- Caractéristique de modulation intra pulse ;
- Vitesse de rotation d'antenne ;
- Ouverture d'antenne.

En plus de ces paramètres, le niveau des lobes secondaires de l'antenne et la rotation de phase d'impulsion à impulsion peuvent également être estimés. Les informations sur ces paramètres sont utilisées pour déterminer la classe des équipements radar et en déduire le type et la dimension du bateau correspondant selon la répartition proposée par les organismes de régulation, par exemple la suivante :

- 10 - SOLAS (International Convention for the **Safety Of Life At Sea**): (selon la norme EN 62388, correspondant typiquement à de gros bateaux de marine marchande ou de transport de passagers)
- Non SOLAS : (selon la norme EN 62252)
 - 15 • Catégorie A : antenne d'ouverture azimuth inférieure à 4°
(typiquement bateau de pêche)
 - Catégorie B : antenne d'ouverture azimuth inférieure à 5,5°
(typiquement petit bateau de pêche ou bateau de plaisance)
 - 20 • Catégorie C : antenne d'ouverture azimuth inférieure à 7,7°
(typiquement bateau de plaisance)

Par ailleurs, afin d'améliorer la classification des bateaux, voire d'en assurer l'identification, ces informations peuvent être avantageusement fusionnées avec les informations recueillies par un radar de surveillance maritime, ou tout autre moyen de détection de type radar ou de type AIS, opérant sur la même zone de couverture, capable de recueillir la silhouette des navires en présence, par exemple par des traitements d'imagerie de type « Range profile » et/ou ISAR.

Un dispositif selon l'invention peut être placé sur une plate-forme terrestre, en haut d'une tour par exemple, en bord de mer. Il peut aussi être placé sur une plate-forme non terrestre, par exemple sur une plateforme maritime.

Avantageusement, un dispositif selon l'invention peut être utilisé dans une station de surveillance côtière en complément de moyens conventionnels radars et AIS. Les signatures des radars obtenues par un dispositif selon l'invention, c'est-à-dire les paramètres caractéristiques des signaux détectés,

peuvent avantageusement être fusionnés avec les informations recueillies par un radar de surveillance maritime afin d'améliorer la classification des navires ou d'en assurer l'identification.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif radar apte à équiper un système de surveillance côtière caractérisé en ce qu'il comporte au moins :

- 5 - une antenne (21) fonctionnant dans la polarisation des radars de navigation maritime et comprenant au moins trois voies de réception dans le plan horizontal,
- pour chaque voie, un récepteur (22, 41) dont la bande passante est accordable dans le domaine de fréquence desdits radar de navigation maritime ;
- 10 - une unité de traitement (23) réalisant simultanément plusieurs détections adaptées chacune à un type de signal reçu.

l'unité de traitement effectuant (63) une comparaison de paramètres des signaux radar détectés avec des paramètres normés encadrant la définition de radars de navigation maritime afin d'en déduire la nature des navires
15 équipés des radars émettant lesdits signaux.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'unité de traitement (23) réalise simultanément une détection (62) adaptée à des signaux radars impulsionnels et une détection adaptés à des signaux radar
20 de faible puissance crête, et réalisant la localisation angulaire des radars émettant les signaux détectés.

3. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la détection des signaux radar est effectuée selon
25 plusieurs étages successifs de filtrage fréquentiel montés en cascade, correspondant aux différentes bandes de fréquences possibles propres aux radars de navigation maritime.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes,
30 caractérisé en ce que la détection des signaux radars impulsionnels est effectuée par détection quadratique (78, 79).

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la détection des signaux radars de faible puissance crête est effectuée par autocorrélation des signaux reçus sur une même voie.
- 5 6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la détection des signaux radars de faible puissance crête est effectuée par inter corrélation des signaux reçus sur différentes voies de réception.
- 10 7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'antenne (21) est une antenne réseau de type interférométrique en azimut.
8. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'antenne (21) est
15 une antenne réseau de type monopulse.
9. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'antenne (23) est positionnée sur un axe rotatif vertical (49) de façon à couvrir par rotation continue un domaine angulaire
20 déterminé dans le plan horizontal.
10. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'antenne (23) est positionnée sur un axe rotatif vertical (49) de façon à couvrir par positions angulaires successives fixes et alternées un domaine
25 angulaire déterminé dans le plan horizontal.
11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'antenne est composée de quatre réseaux antennaires plans (211, 212, 213, 214) comprenant chacun au moins trois sous-réseaux (35, 36, 37, 38), un seul sous-réseau (37) de chaque réseau étant connecté au récepteur (41) à un instant donné, les autres sous-réseaux (36, 37, 38) étant connectés
30 successivement.
12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'antenne est composée de quatre réseaux antennaires plans (211,
35

212, 213, 214) comprenant chacun au moins trois sous-réseaux (35, 36, 37, 38), seuls les quatre sous-réseaux (35, 36, 37, 38) d'un même panneau antennaire (214) étant connectés au récepteur (41) à un instant donné, les sous-réseaux des autres panneaux étant successivement connectés au
5 récepteur (41).

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il est apte à coopérer avec d'autres moyens de détection, lesdits autres moyens étant du type radars et/ou de type AIS.
10

14. Système de surveillance côtière, caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes.

15. Système selon la revendication 14, caractérisé en ce qu'il comporte d'autres moyens de détection, lesdits autres moyens étant de type radars et/ou de type AIS.
15

16. Système selon la revendication 15, caractérisé en ce que les paramètres des signaux détectés par ledit dispositif sont fusionnés avec les informations recueillies par lesdits autres moyens afin d'améliorer la classification des navires ou d'en assurer l'identification.
20

17. Système selon la revendication 16, caractérisé en ce que lesdites informations recueillies sont du type « range profile » et/ou de type image
25 ISAR.

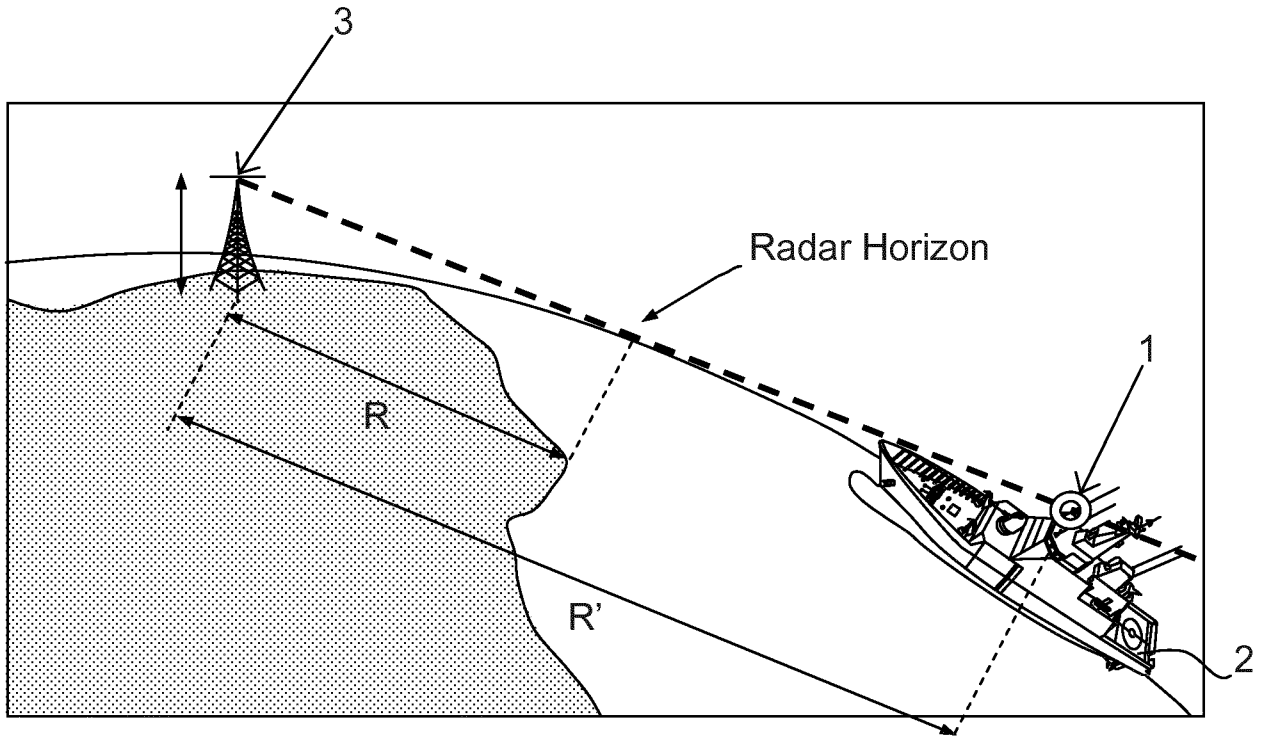


FIG.1

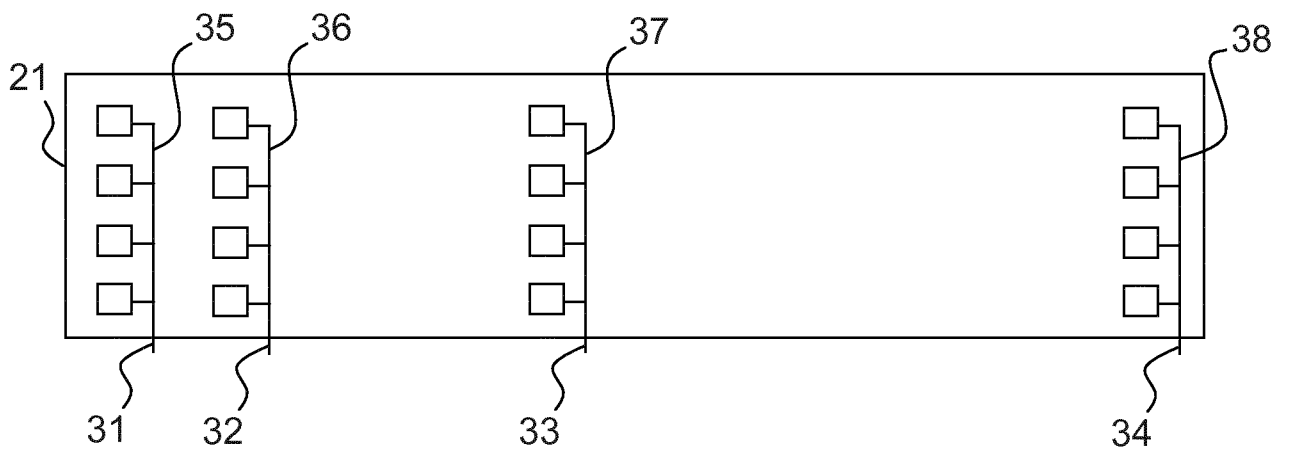


FIG.3

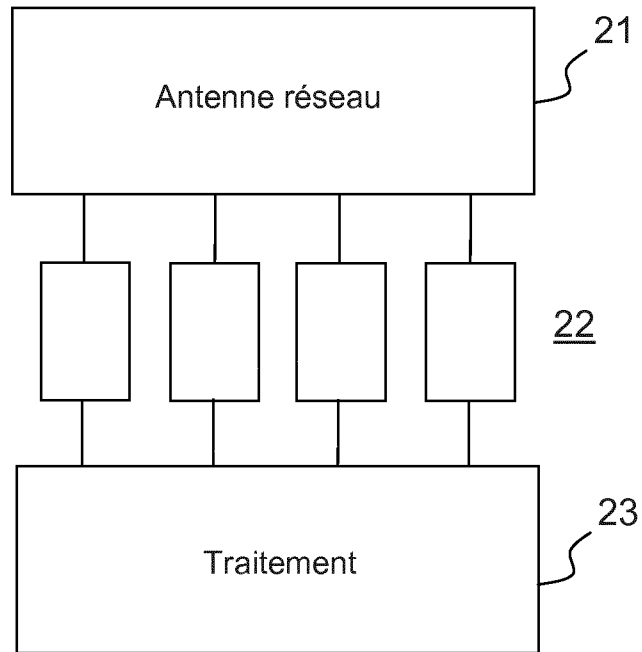


FIG.2

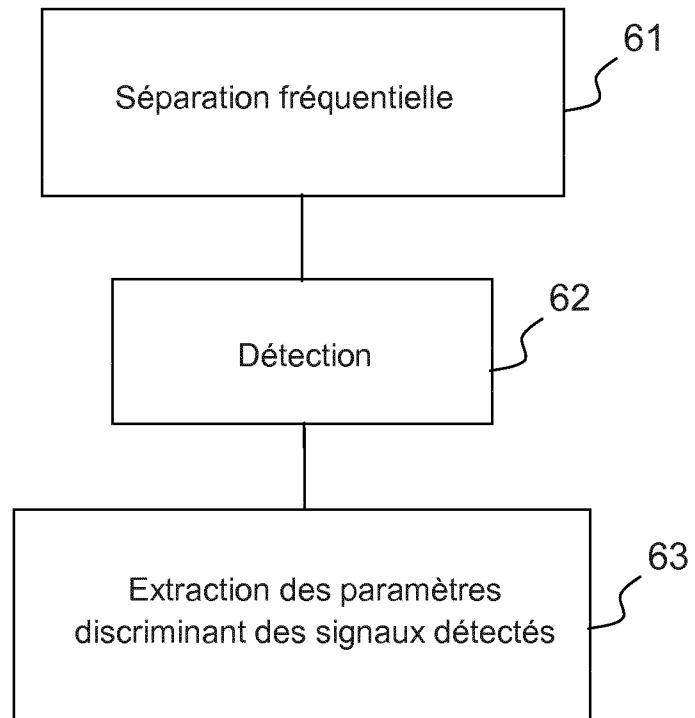


FIG.6

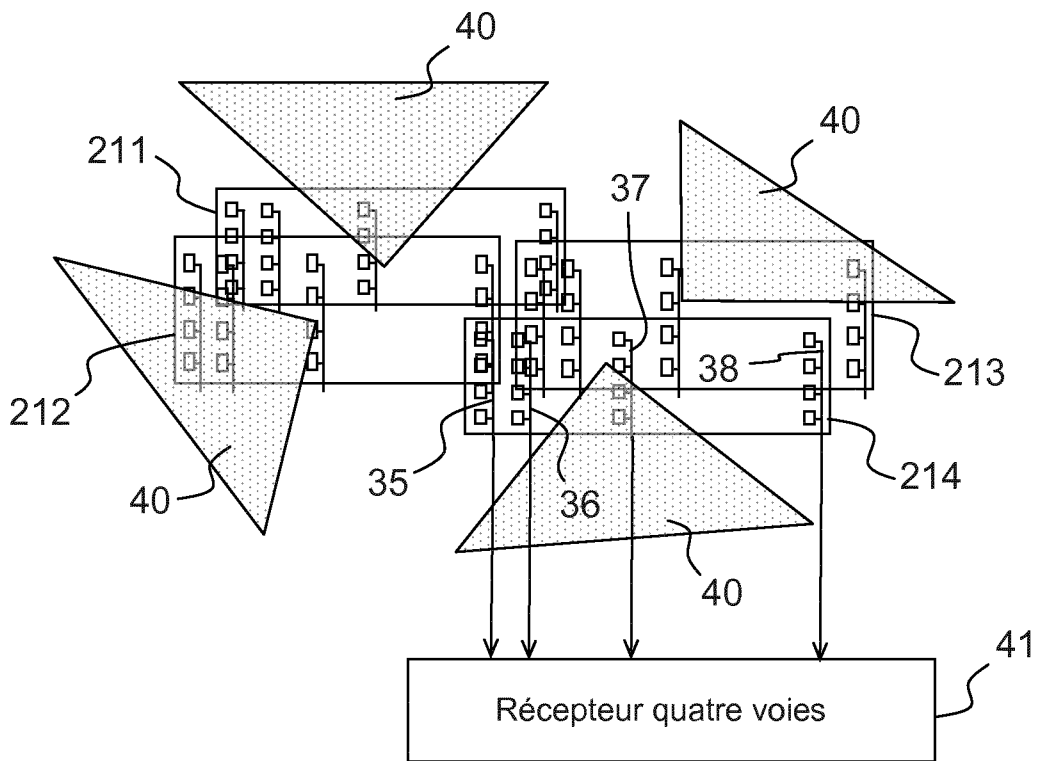


FIG.4b

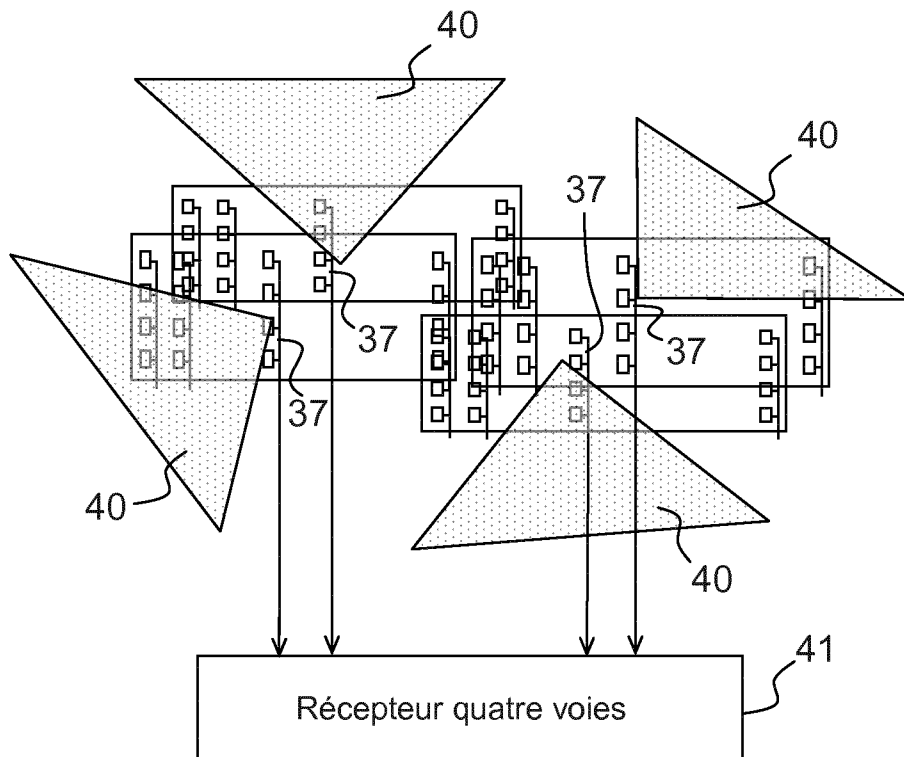


FIG.4a

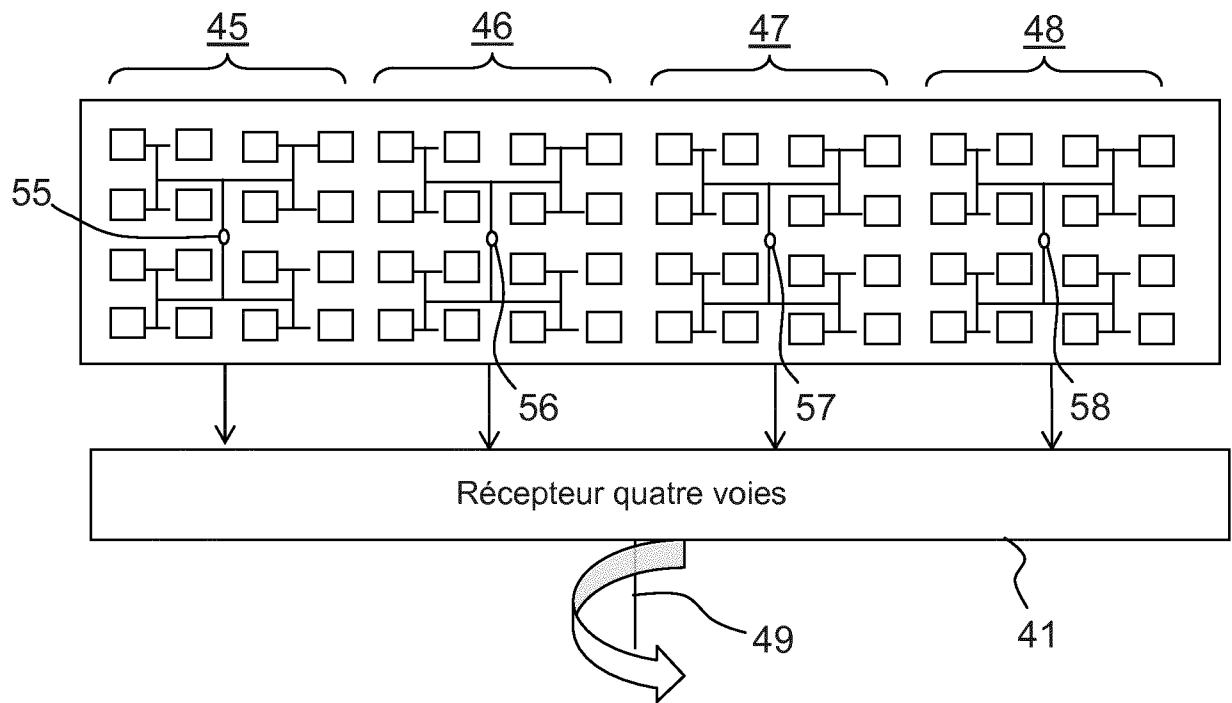


FIG.5

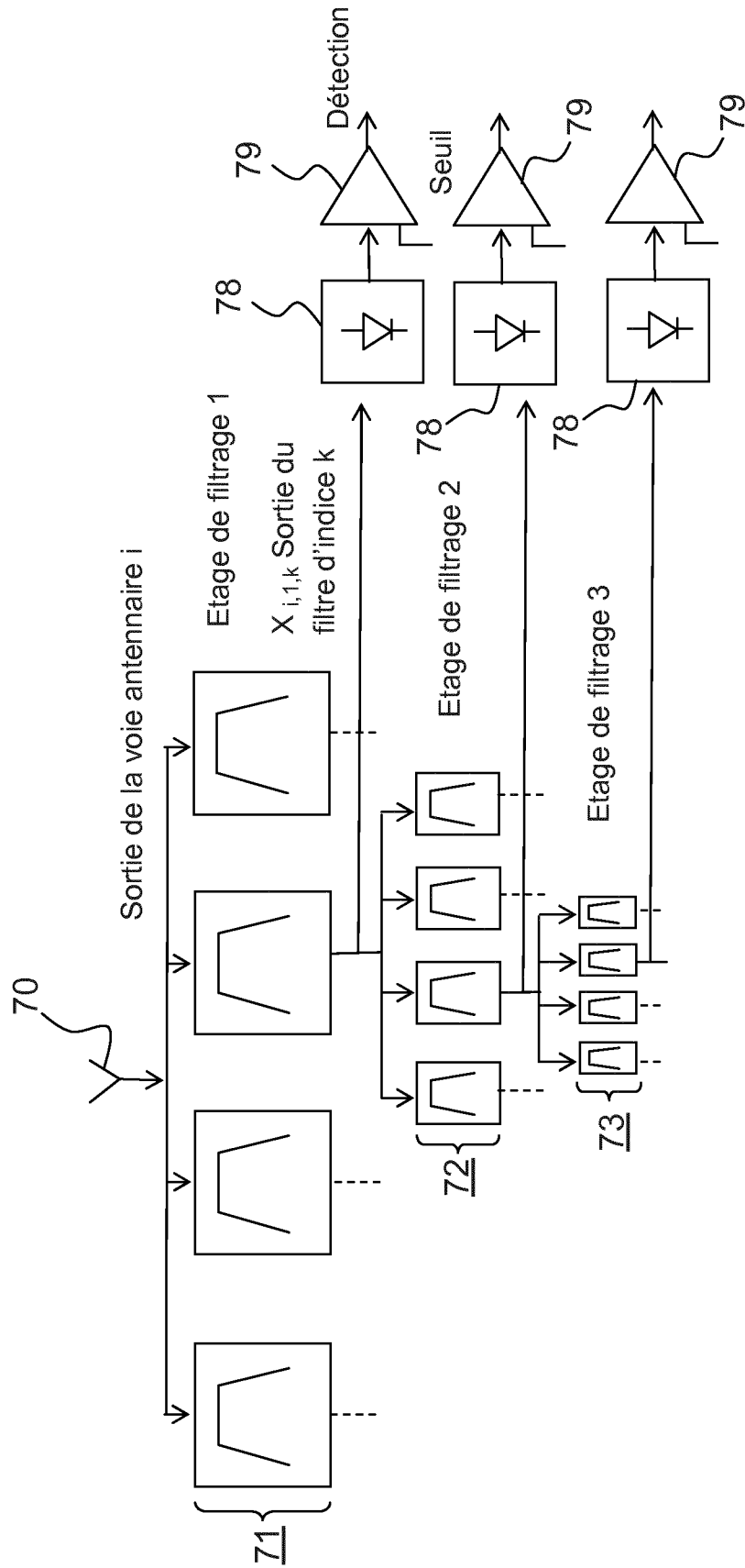


FIG. 7

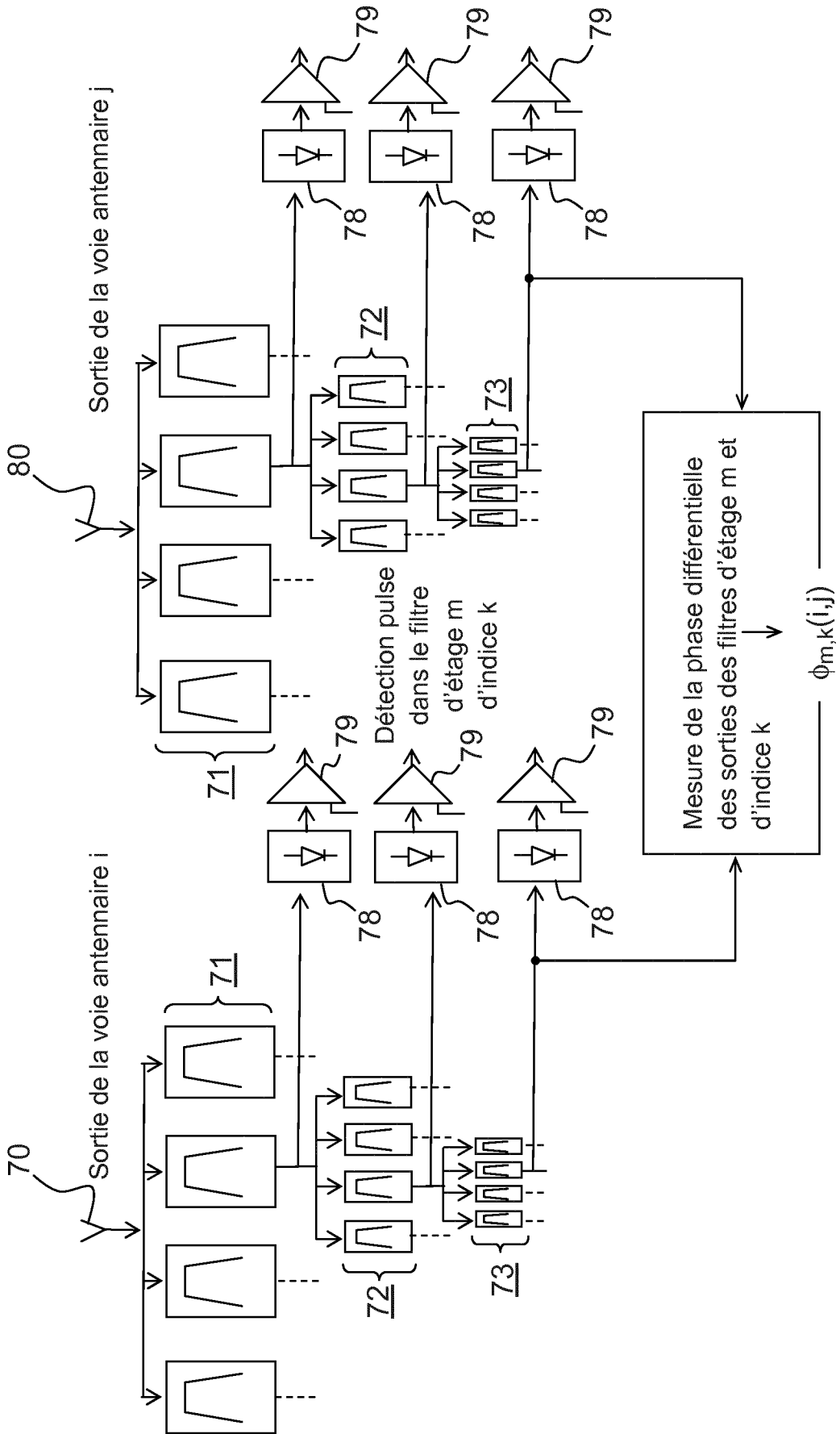


FIG.8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/053892

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01S7/02 G01S3/46
ADD.
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2003/063695 A1 (LEE JIM P Y [CA]) 3 April 2003 (2003-04-03) abstract paragraph [0002] - paragraph [0056] figures 2, 4	1-17
A	----- WO 2013/141712 A1 (HOPE BJORN [NO]) 26 September 2013 (2013-09-26) abstract paragraphs [0024], [0026], [0029], [0030], [0097] figures 1-6	1-17
A	----- US 5 381 150 A (HAWKINS CHRISTOPHER A [US] ET AL) 10 January 1995 (1995-01-10) abstract column 4, line 14 - line 44 figures 1, 6, 7 ----- -/--	1-17

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 13 May 2015	Date of mailing of the international search report 20/05/2015
--	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Van den Bosch, I
--	--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2015/053892

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 508 866 A1 (THOMSON CSF [FR]) 14 October 1992 (1992-10-14) abstract column 2, line 11 - line 24 figures 1, 2 -----	1-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/EP2015/053892

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2003063695 A1	03-04-2003	CA 2400998 A1 US 2003063695 A1	28-02-2003 03-04-2003

WO 2013141712 A1	26-09-2013	EP 2828684 A1 NO 334246 B1 US 2015042505 A1 WO 2013141712 A1	28-01-2015 20-01-2014 12-02-2015 26-09-2013

US 5381150 A	10-01-1995	NONE	

EP 0508866 A1	14-10-1992	DE 69200429 D1 DE 69200429 T2 EP 0508866 A1 ES 2060457 T3 FR 2675267 A1 JP H05119142 A	27-10-1994 09-02-1995 14-10-1992 16-11-1994 16-10-1992 18-05-1993

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2015/053892

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01S7/02 G01S3/46 ADD.				
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB				
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE				
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01S				
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche				
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data				
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS				
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées		
X	US 2003/063695 A1 (LEE JIM P Y [CA]) 3 avril 2003 (2003-04-03) abrégé alinéa [0002] - alinéa [0056] figures 2, 4	1-17		
A	----- WO 2013/141712 A1 (HOPE BJORN [NO]) 26 septembre 2013 (2013-09-26) abrégé alinéas [0024], [0026], [0029], [0030], [0097] figures 1-6	1-17		
A	----- US 5 381 150 A (HAWKINS CHRISTOPHER A [US] ET AL) 10 janvier 1995 (1995-01-10) abrégé colonne 4, ligne 14 - ligne 44 figures 1, 6, 7 ----- -/--	1-17		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</td> <td style="width: 50%; border: none;"><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</td> </tr> </table>			<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe
<input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents	<input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe			
* Catégories spéciales de documents cités:				
"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée	"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets			
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">13 mai 2015</p>	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">20/05/2015</p>			
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé <p style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Van den Bosch, I</p>			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2015/053892

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 508 866 A1 (THOMSON CSF [FR]) 14 octobre 1992 (1992-10-14) abrégé colonne 2, ligne 11 - ligne 24 figures 1, 2 -----	1-17

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2015/053892

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2003063695	A1	03-04-2003	CA 2400998 A1 28-02-2003
			US 2003063695 A1 03-04-2003

WO 2013141712	A1	26-09-2013	EP 2828684 A1 28-01-2015
			NO 334246 B1 20-01-2014
			US 2015042505 A1 12-02-2015
			WO 2013141712 A1 26-09-2013

US 5381150	A	10-01-1995	AUCUN

EP 0508866	A1	14-10-1992	DE 69200429 D1 27-10-1994
			DE 69200429 T2 09-02-1995
			EP 0508866 A1 14-10-1992
			ES 2060457 T3 16-11-1994
			FR 2675267 A1 16-10-1992
			JP H05119142 A 18-05-1993
