

Système et procédé de localisation d'émissions sonar interceptées**Domaine de l'invention**

L'invention concerne de manière générale les sonars passifs, et en particulier un système et un procédé de localisation des émissions interceptées par de tels sonars.

5 Art antérieur

Les sonars passifs, notamment ceux équipant les sous-marins, sont dotés d'une fonction d'interception sonar (IS) prévue pour détecter, identifier et localiser les impulsions émises par les sonars actifs qu'elles soient d'origine électroacoustique ou naturelle (biologiques).

10 La fonction d'interception sonar permet de déterminer la distance de l'émetteur qui représente une information importante sur le plan tactique. En effet, une telle information permet par exemple d'évaluer le risque d'avoir été détecté par le sonar actif adverse et de savoir si cette menace est à portée de tir d'arme (torpille lourde, missile à changement de milieu). La mesure de la distance permet également de déterminer la cinématique de la source et ainsi d'apporter des éléments contribuant à la classification de l'équipement
15 adverse: par exemple, un élément de la faune sous-marine n'aura pas éventuellement la même vitesse de déplacement qu'un sonar actif biomimétique de sous-marin. Enfin, face à une torpille attaquante en mode actif, la mesure de la distance permet de déployer efficacement des contre-mesures adaptées.

Il existe une pluralité de méthodes permettant au sous-marinier d'assurer cette fonction
20 de localisation instantanée en interception telles que la triangulation, la télémétrie par trajets multiples, l'utilisation de la mesure du niveau, ou encore l'exploitation de la courbure du front d'onde (CFO).

Les systèmes d'interception d'émissions sonars basés sur l'exploitation de la courbure du front d'onde (CFO) existants comprennent des télémètres par CFO qui utilisent 3
25 antennes distribuées, installées sur chaque bord des sous-marins. La figure 1 illustre le schéma de principe de la CFO par mesure de retards. En supposant le problème plan, sachant que par trois points ne passe qu'un seul cercle, deux mesures de retards inter-panneaux peuvent être effectuées pour calculer le gisement et la distance de la source S à l'aide de formules analytiques simples issues de la géométrie élémentaire.

30 Plus précisément, la méthode de localisation par CFO est basée sur la mesure de retards entre trois hydrophones (ou petits panneaux) supposés parfaitement alignés : un capteur avant (capteur 1), un capteur central (capteur 2) et un capteur arrière (capteur 3). A partir

des signaux provenant de chacun de ces trois capteurs, trois instants d'arrivées (t_1 , t_2 , t_3) sont estimés. Ces instants sont ensuite utilisés pour estimer deux temps de retards inter-panneaux Δt_{12} et Δt_{23} selon les formules suivantes :

- $\Delta t_{12} = t_1 - t_2$ pour les panneaux 1 et 2 ;

5 - $\Delta t_{23} = t_2 - t_3$ pour 2 et 3.

Les temps de retard inter-panneaux correspondent aux écarts de distances parcourues par les rayons sonores:

$\Delta d_{ij} = \Delta t_{ij} \cdot c$ avec c , la célérité du son dans l'eau qui est supposée connue.

10 Les deux mesures de temps de retards inter-panneaux Δt_{12} et Δt_{23} permettent de calculer le gisement et la distance de la source à l'aide de formules analytiques comme décrit par exemple dans Qihu Li, «Digital Sonar design in underwater acoustics», Springer Verlag 2012.

15 Pour le procédé CFO-IS, la précision de la localisation est souvent pénalisée par la mauvaise qualité des mesures d'instant t_i alors même que ces mesures doivent être très précises (de l'ordre de la μs).

Un tel procédé comprend deux étapes pour mesurer le retard inter-panneau. La première étape consiste, à partir du signal temporel issu des 3 capteurs, à estimer grossièrement les 3 instants d'arrivée du front de montée du pulse intercepté grâce à un seuillage. Cependant, ce front est souvent insuffisamment raide pour permettre des mesures justes et reproductibles comme illustré sur la figure 2. Une telle montée non-franche du signal peut-être due :

- Au canal de propagation si sa réponse impulsionnelle est temporellement étalée ;
- A la fonction de transfert du canal hydrophonique ;
- A la modulation d'amplitude utilisée par le sonar actif adverse pour améliorer certaines
- 25 de ses performances ou aux limitations de l'électronique d'émission et des transducteurs (bande passante) ; ou
- à la perturbation provoquée par d'autres signaux impulsifs parasites simultanément présents (brouilleurs, bruits biologiques, chocs, etc.).

Il en résulte un manque de robustesse des mesures effectuées.

30 La seconde étape correspond à la mesure de retard fin qui s'effectue par inter-corrélation sur toute ou une partie de la durée du pulse, comme illustré dans US N° 3978445. Une telle mesure nécessite que l'émission adverse ait une bande fréquentielle importante, ce qui n'est pas toujours le cas (impulsion de fréquence pure). Les résultats obtenus sur des

signaux réels sont alors insuffisants. D'autre part, la présence de trajets multiples, notamment de réfléchis surface perturbe le pic de corrélation et, par là même, celle de la mesure des retards inter-panneaux.

Par ailleurs, un tel procédé nécessite l'installation de plusieurs antennes distribuées. Or
5 les panneaux d'antenne distribuée (30) doivent être généralement installés sur le sous-marin (3) en complément d'une antenne de Flanc (31), comme illustré sur la figure 3. De plus, le montage de telles antennes doit se faire de façon très précise, ce qui entraîne un surcoût important.

Définition générale de l'invention

10 L'invention vient améliorer la situation. A cet effet, elle propose un système de localisation d'impulsion sonar pour un sous-marin comprenant :

- deux antennes de forme générale linéaire et sensiblement parallèles entre elles agencées sur le sous-marin, les deux antennes comprenant une antenne de détection et une antenne de focalisation, l'antenne de détection étant de petite dimension par rapport
15 à la longueur de la deuxième antenne, chaque antenne comprenant un ensemble de capteurs,
- au moins un module d'interception pour déterminer la direction d'une émission sonar émise par un émetteur et interceptée par l'antenne de détection, et
- un module de focalisation pour déterminer la distance de l'émetteur par focalisation des
20 voies à partir des signaux issus des capteurs de l'antenne de focalisation, dans la direction de l'émission déterminée par le module de détection.

Selon une caractéristique de l'invention, l'antenne de détection peut être bien échantillonnée spatialement.

En particulier, la distance inter-capteur de l'antenne de détection peut être strictement
25 inférieure à $\lambda/2$, où λ désigne la longueur d'onde du signal intercepté.

Selon une autre caractéristique de l'invention, l'antenne de focalisation peut être sous-échantillonnée spatialement.

En particulier, la distance inter-capteur de l'antenne de focalisation peut être strictement supérieure à λ , où λ désigne la longueur d'onde du signal intercepté.

Par ailleurs, la longueur de la première antenne peut être strictement inférieure à 20λ et la longueur de la deuxième antenne peut être strictement supérieure à 200λ , où λ désigne la longueur d'onde du signal intercepté.

5 Selon une autre caractéristique de l'invention, l'antenne de détection peut comprendre un tronçon unique, associé à un module unique d'interception.

L'antenne de détection peut être alors située sensiblement au centre de l'antenne de focalisation.

10 En variante, l'antenne de détection peut comprendre deux tronçons situés à une distance donnée l'un de l'autre, tandis que le module d'interception comprend deux modules d'interception auxiliaires fournissant chacun une mesure d'angle correspondant au tronçon d'antenne associé, et un module de calcul de moyenne configuré pour déterminer la moyenne des 2 mesures d'angles issus des modules auxiliaires d'interception.

Chaque tronçon de l'antenne de détection peut être situé sensiblement à une extrémité de l'antenne de focalisation.

15 Chaque module d'interception associé à un tronçon de l'antenne peut comprendre un détecteur configuré pour détecter les impulsions dans le champ de veille du tronçon de l'antenne associé et une fonction de mesure des caractéristiques de l'impulsion détectée.

20 Selon une autre caractéristique de l'invention, la fonction de mesure de chaque module d'interception est configurée pour mesurer la direction et les paramètres de l'impulsion à partir des impulsions détectée.

Dans un mode de réalisation de l'invention, l'antenne de détection et l'antenne de focalisation peuvent être intégrées dans les modules acoustiques d'un même ensemble acoustique.

25 Un tel ensemble acoustique peut comprendre une pluralité de modules acoustiques placés côte à côte selon un même axe, chaque capteur de l'antenne de focalisation étant agencé dans un module acoustique distinct de l'ensemble acoustique.

Les capteurs d'un même tronçon de l'antenne de détection peuvent notamment être agencés dans un même module acoustique de l'ensemble acoustique.

30 Selon une autre caractéristique de l'invention, la formation de voies focalisées est réalisée sur la tranche temporelle de signal déterminée par le début et la fin d'impulsion estimés par la fonction de détection.

La formation de voies focalisées peut comprendre la détermination de la distance de l'émetteur à partir du maxima de l'énergie intégrée dans la bande et sur la durée de l'Interception Sonar, pour tous les points dans l'espace distance/angle concernés.

La formation de voies focalisées peut en outre comprendre au préalable :

- 5 - l'application d'un retard grossier à chaque signal issu d'un capteur de l'antenne de focalisation, le retard étant déterminé à partir du numéro de capteur, de la distance inter-capteurs réelle, et du gisement de l'émetteur par rapport à l'axe de l'antenne, et
- 10 - l'application d'un retard fin à chaque signal issu d'un capteur de l'antenne de focalisation correspondant à la courbure du front d'onde, le retard fin appliqué à chaque signal étant déterminé à partir du numéro de capteur, de la distance inter-capteurs réelle, du gisement de l'émetteur par rapport à l'axe de l'antenne et de la distance de focalisation.

- 15 Dans une forme de réalisation de l'invention, l'antenne de détection et l'antenne de focalisation peuvent être sensiblement alignées selon un même axe.

L'invention propose en outre un procédé de localisation d'impulsion sonar pour un sous-marin comprenant les étapes consistant à:

- 20 - prévoir deux antennes de forme générale linéaire et sensiblement parallèles entre elles agencées sur le sous-marin, les deux antennes comprenant une antenne de détection et une antenne de focalisation, l'antenne de détection étant de petite dimension par rapport à la longueur de la deuxième antenne, chaque antenne comprenant un ensemble de capteurs,
- 25 - déterminer la direction d'une émission sonar émise par un émetteur et interceptée par l'antenne de détection, et
- déterminer la distance de l'émetteur par focalisation des voies à partir des signaux issus des capteurs de l'antenne de focalisation, dans la direction de l'émission déterminée par le module de détection.

- 30 L'invention fournit ainsi une solution robuste de localisation en distance des Interceptions Sonar. L'utilisation combinée des deux antennes colinéaires permet de déterminer la distance de l'émetteur par focalisation dans la direction de l'émission interceptée, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser plusieurs antennes distribuées comme dans l'art antérieur.

Les deux antennes nécessitent un nombre de capteurs limité et génèrent donc un encombrement réduit, ce permet d'intégrer facilement le système proposé aux modules acoustiques d'une antenne de flanc ou d'une antenne linéaire remorquée (encore appelée « flûte »).

- 5 L'invention fournit ainsi un moyen passif pour déterminer la distance de l'émetteur afin par exemple d'évaluer le risque d'avoir été détecté par un sonar actif adverse ou de déterminer la cinématique de la source.

Description des figures

10 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'aide de la description qui suit et des figures des dessins annexés dans lesquels:

- La figure 1 illustre le schéma de principe de la CFO par mesure de retard ;
- La figure 2 illustre l'effet de la raideur des fronts de montées sur l'incertitude de la mesure ;
- La figure 3 montre le montage des antennes distribuées sur un sous-marin;
- 15 - La figure 4 est un schéma représentant le système d'interception sonar selon une forme de réalisation ;
- La figure 5 est un schéma représentant le système d'interception sonar selon une autre forme de réalisation ;
- La figure 6 est un diagramme de directivité en gisement et inverse de la distance d'une
20 antenne à 3 capteurs ;
- La figure 7 représente une antenne de flanc intégrant une antenne de focalisation et une antenne de détection selon un mode de réalisation ;
- La figure 8 est un schéma représentant la formation de voie focalisée ; et
- La figure 9 est un organigramme représentant le procédé de localisation d'impulsion
25 d'interception sonar selon une forme de réalisation.

Les dessins et les annexes à la description pourront non seulement servir à mieux faire comprendre la description, mais aussi contribuer à la définition de l'invention, le cas échéant.

Description détaillée

La figure 4 représente un système de localisation d'interception sonar 100 constitué de deux antennes 101-102, agencées sur un sous-marin, de formes générales linéaires et sensiblement parallèles entre elles. Les deux antennes 101 et 102 comprennent chacune un ensemble de capteurs (tels que 1020 pour l'antenne 102).

Selon un aspect de l'invention, la première antenne 101 (encore appelée ci-après « antenne de détection » ou « antenne DET ») est configurée pour intercepter des émissions sonar (IS) émises par une source 10 (encore appelée « émetteur »), et est utilisée pour déterminer la direction de ces émissions interceptées. Selon un autre aspect de l'invention, la deuxième antenne 102 (encore appelée ci-après « antenne de focalisation » ou « antenne FOC ») est utilisée pour déterminer la distance de l'émetteur 10 par focalisation des voies à partir des signaux issus de ses capteurs (1020), dans la direction de l'émission interceptée.

L'antenne de détection (101) est avantageusement de petite dimension par rapport à la longueur de la deuxième antenne (102).

En particulier, la longueur de la première antenne 101 peut être inférieure à 20λ , et peut être comprise notamment entre 5λ et 20λ , où λ désigne la longueur d'onde du signal intercepté.

Par ailleurs, la longueur de la deuxième antenne 102 peut être choisie strictement supérieure à 200λ .

Selon une caractéristique de l'invention, l'antenne de détection 101 est bien échantillonnée spatialement. En particulier, la distance inter-capteur de la première antenne 101 peut être strictement inférieure à $\lambda/2$ pour obtenir un bon échantillonnage spatial.

Selon une autre caractéristique de l'invention, l'antenne de focalisation 102 peut être sous échantillonnée spatialement. En particulier, la distance inter-capteur de l'antenne de focalisation 102 peut être strictement supérieure à λ pour obtenir un sous-échantillonnage spatial.

L'invention utilise ainsi la formation de voies focalisées (c'est-à-dire en prenant en compte la forme circulaire du front d'onde) réalisée par l'antenne de focalisation 102 pour localiser les émissions sonar interceptées, sans qu'il soit nécessaire d'utiliser des mesures de retard entre trois antennes montées sur le sous-marin comme dans les solutions antérieures.

Selon un aspect de l'invention, l'antenne de focalisation 102 est une antenne de forme linéaire comprenant un ensemble de capteurs 1020 de type hydrophones. Avantageusement, l'antenne 102 de forme linéaire peut comprendre un nombre limité de capteurs, comme par exemple quelques dizaines d'hydrophones, ce qui la rend spatialement sous-échantillonnée. Pour éviter qu'une telle lacunarité n'entraîne l'apparition d'ambiguïtés en gisement et en distance, l'antenne de détection 101 est utilisée conjointement avec l'antenne de focalisation 102.

Plus précisément, le système de localisation d'Interception Sonar 100 met en œuvre, préalablement à l'étape de focalisation, une étape de détection de l'impulsion sonar à l'aide du petit tronçon d'antenne 101 spatialement bien échantillonné qui permet de déterminer sans ambiguïté la direction de l'impulsion interceptée. Les voies focalisées permettant de déterminer la distance de l'émetteur ne sont alors formées que dans la direction fournie par la détection, ce qui permet d'éviter les ambiguïtés perturbatrices.

La formation de voies focalisées pour localiser de la source de l'émission rend ainsi la mesure robuste sans qu'il soit nécessaire de doter l'antenne de focalisation 102 d'un grand nombre de capteurs. Cela permet ainsi de couvrir des fréquences élevées qui doivent être prises en compte dans les fonctions d'interception (par exemple supérieures à 20 kHz).

Le système de localisation d'interception sonar 100 permet ainsi d'assurer la robustesse de la localisation en distance des Interceptions Sonars. Par ailleurs, les deux antennes 101 et 102 peuvent être facilement intégrées aux modules acoustiques d'une antenne de flanc ou d'une antenne linéairement remorquée.

Les deux antennes, l'une courte pour la détection 101, l'autre longue pour la localisation par focalisation 102, peuvent être obtenues en utilisant des capteurs appartenant à la couverture hydrophonique des antennes de flanc ou une antenne linéairement remorquée. L'invention permet ainsi de donner une fonction de localisation à ces deux types d'antenne, sans qu'il soit nécessaire d'installer des antennes distribuées.

Comme représenté sur la figure 4, le système de localisation d'interception sonar 100 comprend un premier module d'interception 51 pour détecter les impulsions, comprenant un détecteur 510 et une fonction de mesure des caractéristiques de l'impulsion détectée 511. Le premier module 51 est configuré pour traiter les informations provenant de l'antenne 101. En particulier, le détecteur 510 est propre à détecter les impulsions dans le champ de veille de l'antenne 101, tandis que la fonction de mesure 511 est configurée

pour mesurer la direction et les paramètres de l'impulsion à partir des impulsions détectées.

Le système de localisation d'interception sonar 100 comprend en outre un second module de formation de voies focalisées 52 (encore appelé « module de focalisation ») pour
5 réaliser une formation de voies focalisées dans la direction fournie par le module 51 en exploitant l'antenne de focalisation 102. La focalisation de voie est réalisée postérieurement à la détection mise en œuvre par le module 51. Les signaux issus de l'antenne 102 sont mis en mémoire tampon 11 (« bufferisés ») pour être utilisés par le module de focalisation 52. La mesure de la distance de la source est alors obtenue en recherchant le
10 maximum d'énergie dans la bande de l'IS sur toute les cases distance (521, 522, 523).

Le système de localisation d'émissions sonar interceptés 100 selon les modes de réalisation de l'invention présente notamment des capacités mémoires suffisantes pour bufferiser les signaux hydrophoniques de l'antenne 102 pendant la phase de détection mise en œuvre par le module 51.

15 Le module 51 peut délivrer les paramètres suivants qui pourront être utilisés par le module 52:

- un gisement de détection ;
- un instant de début et de fin de l'IS ; et
- la bande de fréquence de l'impulsion interceptée et sa fréquence centrale.

20 L'homme du métier comprendra aisément que l'antenne 101 comprend également des éléments de détections et de mesures élémentaires standards à toute fonction d'IS (non représentés).

Dans la forme de réalisation de la figure 4, les deux antennes 101 et 102 sont sensiblement linéaires et parallèles entre elles. Elles peuvent être notamment agencées de sorte
25 que l'antenne de détection 101 soit sensiblement à proximité de l'antenne de focalisation 102 afin d'éviter les effets de parallaxe. En particulier, comme montré sur la figure 4, les deux antennes 101 et 102 peuvent être sensiblement alignées selon un même axe.

Dans la forme de réalisation de la figure 4, l'antenne de détection 101 comprend un seul tronçon qui peut être placé sensiblement au niveau du centre de l'antenne de focalisation
30 102.

En variante, comme représenté sur la figure 5, l'antenne de détection 101 peut comprendre deux tronçons 1011 et 1012 à chaque extrémité de l'antenne de focalisation 102. Le module 51 comprend alors deux modules auxiliaires d'interception 5101 et 5102,

chacun étant associé à l'un des tronçons 1011 et 1012, ce qui fournit deux mesures d'angle. Chaque module auxiliaire d'interception 5101 et 5102 comprend un détecteur 510 et une fonction de calcul 511 comme décrits ci-avant. Dans cette forme de réalisation, le module 51 comprend également un module de calcul de moyenne 53 configuré pour

5 déterminer la moyenne des 2 angles issus des modules auxiliaires d'interception 5101 et 5102. Cette moyenne est ensuite envoyée au module de formation de voies focalisées 52 comme décrit précédemment. De telles géométries permettent d'intégrer aisément le procédé de localisation dans des antennes de flanc ou des antennes linéaires remorquées.

- 10 Selon une caractéristique particulière de l'invention, la largeur du secteur angulaire traité par l'antenne 101 est choisie telle qu'il n'y ait pas de pics d'ambiguïtés en angles et en distance qui apparaissent dans ce secteur angulaire.

En effet, la position en distance des ambiguïtés pour une antenne linéaire à capteurs équirépartis et pour un gisement dans la direction de la source peut être déterminée à

15 partir de l'équation 1 ci-dessous:

$$\frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_0} + \frac{k}{f} \times \frac{2c}{d^2 \sin^2 \theta_0} \quad (\text{Equation 1})$$

Dans l'équation 1,

- 20 - R_0 et θ_0 désignent les coordonnées polaires de la source par rapport au centre de l'antenne 101 ;
- R_k désigne la distance de la $k^{\text{ième}}$ ambiguïté dans la direction de la source ;
- c désigne la célérité, et
- d désigne la distance inter-capteurs (encore appelé « pas d'antenne ») de
- 25 l'antenne 101.

En introduisant le paramètre d_f qui représente la distance de Fresnel correspondant à d , l'équation 1 peut être exprimée comme suit:

$$\frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_0} + \frac{2k}{d_f} \quad (\text{Equation 2})$$

- 30 La distance Fresnel d_f est donnée par l'équation 3 ci-après :
- $d_f = (d \sin \theta)^2 / \lambda$ (Equation 3)

Dans l'équation (3), d désigne le pas inter-capteur, θ désigne le gisement, c'est-à-dire la direction incidente prise par rapport à l'avant du sous-marin, les angles étant comptés positivement dans le sens horaire, et désigne la longueur d'onde soit c/f où f désigne la fréquence du signal intercepté.

- 5 Ainsi, les ambiguïtés en distance dépendent du pas d'antenne et non de la longueur L de l'antenne. Les ambiguïtés spatiales liées au sous-échantillonnage de l'antenne de focalisation 102 ont pour effet de multiplier le nombre d'ambiguïtés en distance. Par exemple, sur le diagramme de directivité de la figure 6 obtenue pour le cas de 3 capteurs (ou panneaux), pour un gisement de 90° , des maxima locaux dans la direction de la
- 10 source sont observés. De plus, dans d'autres directions, il peut être observé des lobes images (ambiguïtés) en quinconces.

Les représentations des distances sur la figure 6 sont en $1/R$, ratio qui correspond à la grandeur "naturelle" (i.e. physique) du problème (R est en mètre).

- Il existe deux familles d'ambiguïtés, l'une correspondant aux ambiguïtés spatiales
- 15 données par $\sin(\theta_1) = \sin(\theta_2) + k \cdot \lambda/d$, et l'autre correspondant aux ambiguïtés en distance entre ces directions et en quinconce (en $1/R$) pour le cas d'un nombre impair de capteurs.

- Pour une source en direction θ_i , l'ambiguïté la plus proche en angle se trouve à la direction : $\sin(\theta_i) = \sin(\theta_2) + \lambda/d$. Par conséquent, les ambiguïtés angulaires peuvent être levées par la détermination de la direction fournie par l'antenne de détection 101. En
- 20 particulier, l'antenne de détection 101 peut être choisie de manière à avoir un lobe suffisamment fin pour obtenir une précision meilleure que $\Delta\theta_{12} = |\theta_1 - \theta_2|$ (avec la largeur du lobe à 3db telle que $2\theta_3 < \Delta\theta_{12}$). En particulier, l'antenne de détection 101 peut être choisie de manière à avoir un lobe suffisamment fin. Par exemple, une antenne de détection 101 sensiblement égale à environ 40 cm peut être suffisante pour obtenir les
- 25 performances souhaitées au-dessus de 10kHz (ou 15 kHz).

- En général, pour pouvoir bien échantillonner spatialement une antenne de grande longueur (supérieure à 50 mètres) telle que l'antenne de focalisation 102, il est nécessaire d'utiliser un nombre de capteurs élevé de plusieurs milliers par bord, ce qui est difficilement réalisable en pratique. Il convient également de noter la valeur très faible de
- 30 l'ouverture du lobe principal donnée par la formule $2\theta_3 = 50^\circ \lambda/(kd)$. Par suite, un traitement de focalisation avec une telle antenne ne peut être effectué de façon panoramique car le nombre de voies à former serait trop important (plusieurs dizaine de milliers).

Cependant, le choix du nombre de capteurs est lié à la présence d'ambiguïtés dans le plan gisement-distance lorsque les capteurs sont équirépartis avec un espacement nettement supérieur à $\lambda/2$. En levant les ambiguïtés, le système d'interception 100 selon l'invention permet alors d'utiliser un nombre relativement faible de capteurs pour l'antenne 102 de grande dimension (par exemple quelques dizaines de capteurs seulement), avec un espacement $> \lambda$.

Selon un aspect de l'invention, l'antenne de détection 101 peut se présenter sous la forme d'une antenne linéaire munie de capteurs équirépartis et correctement échantillonnés spatialement. Par exemple, si l'antenne 101 a une longueur de 40cm, l'antenne pourra être équipée de 24 hydrophones selon un pas de 17 mm pour couvrir les fréquences jusqu'à 45 kHz.

L'antenne de détection 101 et l'antenne de focalisation 102 peuvent être installées dans des modules acoustiques d'un équipement du sonar (encore appelé ensemble acoustique), tel qu'une antenne de flanc par exemple.

La figure 7 représente une antenne de flanc 80 dans laquelle sont installées l'antenne de détection 101 et l'antenne de focalisation 102.

L'antenne de flanc 80 peut avoir une forme générale rectangulaire et comprendre un ensemble de modules acoustiques alignés 800, et placés côte à côte.

Comme représenté, l'antenne de focalisation 102 comprend un ensemble de capteurs spécifiques d'interception 1020 (qui couvre les gammes de fréquences de l'interception), chacun installé dans le module acoustique 800 respectif de l'antenne de flanc 80 comme représenté sur la figure 7. Par ailleurs, dans la forme de réalisation où l'antenne de détection 101 est formée d'un seul tronçon constitué de petits capteurs rapprochés 1010, l'antenne 101 peut être également installée dans l'un des modules acoustiques de l'antenne de flanc, par exemple le module acoustique central 800C. L'un des capteurs 1010 de l'antenne 101 peut être utilisé conjointement par l'antenne 102. En variante, dans la forme de réalisation, où l'antenne 101 est constituée de 2 tronçons distincts, chaque tronçon 1011 ou 1012 peut être constitué de petits capteurs rapprochés et être installé dans un module acoustique respectif à chaque extrémité de l'antenne de flanc (par exemple les modules acoustiques 800G et 800D).

Dans une variante de réalisation de l'invention, il est possible de placer les antennes 101 et 102 de manière similaire dans une antenne linéaire remorquée.

L'homme du métier comprendra que l'antenne 101 peut être installée dans un ensemble acoustique distinct de celui dans lequel est installée l'antenne 102. Par exemple l'antenne 101 pourrait être montée sur la coque du sous-marin ou son massif tandis que l'antenne 102 est installée dans une antenne de flanc.

- 5 La figure 8 est un schéma illustrant la focalisation de voie, selon un exemple de réalisation de l'invention.

Dans l'étape de focalisation, les signaux provenant d'une ligne d'hydrophones (1020) qui peuvent être placés au milieu, en haut ou en bas de chaque module peuvent être exploités. Pour cela, une tranche temporelle de signal est déterminée par les informations
10 de début et de fin d'impulsion estimées par le module 51. Sur cette tranche temporelle de signal, la focalisation des voies dans un secteur angulaire fin autour de la direction de l'IS détectée est ensuite effectuée.

Pour une antenne linéaire, la focalisation peut être réalisée en deux étapes afin de recréer une antenne virtuelle « adaptée » à la direction de pointage (direction de l'émission sonar interceptée), c'est-à-dire une antenne dont l'axe X' formé par les capteurs est perpendicu-
15 laire à la direction de pointage Y', comme représenté sur la figure 8. L'antenne réelle 102 comportant les hydrophones 1020 correspond aux axes X et Y, équirépartis selon un pas p. Les éléments 3020 de l'antenne virtuelle sont espacés d'un pas p'.

La figure 9 est un organigramme illustrant le procédé de focalisation selon une forme de
20 réalisation de l'invention.

A l'étape 120, la tranche temporelle de signal sur laquelle est effectuée la focalisation des voies est déterminée par les informations de début et de fin d'impulsion estimées par le module 51.

A l'étape 121, des retards T_k dits « grossiers » sont tout d'abord appliqués aux K+1
25 signaux temporels (préalablement mis en mémoire tampon) issus des hydrophones 1020 selon l'équation suivante :

$$T_k = k.p.\cos \theta / c \quad (\text{Equation 4})$$

Dans l'équation 4, le paramètre k désigne le numéro du capteur allant de - K/2 à + K/2 (antenne de K+1 hydrophones avec K pair) et le paramètre p désigne la distance inter-
30 capteurs réelle de l'antenne de focalisation 102.

Le retard « fin » δ_k correspondant à la courbure seule est ensuite appliqué à chaque signal issu d'un hydrophone selon la formule suivante :

$$\delta_k \approx -P_k'^2 / (2Rc) \quad (\text{équation 5})$$

Le retard fin δ_k est ensuite ajouté au retard grossier T_k .

Dans l'équation 5, les paramètres $P_k' = k_p \sin(\theta)$ et R représentent la distance de focalisation, et c représente la célérité du son.

- 5 Pour ces deux opérations, les signaux temporels échantillonnés peuvent être interpolés pour correspondre au mieux aux retards réels.

Les $K+1$ signaux ainsi retardés sont ensuite sommés à l'étape 122, puis filtrés à l'étape 124 dans la bande de fréquence de l'interception de l'IS.

- 10 Le signal obtenu est mis au carré et le résultat est sommé durant la durée de l'impulsion sonar I_S , à l'étape 125. Un ensemble de points dans l'espace distance/angle est ainsi calculé. Le maximum absolu de cette zone angulaire qui correspond à l'estimation de la position de la source (maximum absolu des points calculés) peut être alors affiné par interpolation, à l'étape 126, ce qui permet d'obtenir la mesure utile qui est la distance de l'émetteur.

- 15 L'invention permet ainsi d'utiliser la formation de voies focalisées dans le traitement FOC-IS, dans les gammes de fréquences utiles en interception (c'est-à-dire au-delà de 10 à 15 kHz) sans qu'il soit nécessaire d'utiliser une antenne dotée de plusieurs milliers de capteurs spécifiques et de traitements demandant une puissance de calcul importante. Le système d'IS 100 peut ainsi utiliser une antenne très lacunaire comportant quelques
20 dizaines d'hydrophones seulement, ce qui rend aisément réalisable un télémètre utilisant le procédé selon les formes de réalisation de l'invention.

- Comme la focalisation impose des retards, la robustesse à raideur du front de montée et aux impulsions en fréquence pure (FP) est assurée. De plus, hormis dans un secteur angulaire étroit sur le travers, la séparation des trajets multiples (réfléchis fond et/ou
25 réfléchi surface) est obtenue "naturellement" par l'effet des pseudo-gisements comme pour toute antenne linéaire. Le système proposé par l'invention permet en outre de rejeter les brouilleurs, s'ils n'apparaissent pas au même instant à la même fréquence, dans une case distance-gisement appropriée par rapport à l'IS d'intérêt et ce durant la majeure partie de la durée de l'impulsion.

- 30 Par ailleurs, pour certain cas de déformée et de perturbation de l'acoustique de l'antenne de FOC, le biais de mesure de distance est moins important qu'avec les 3 capteurs utilisés dans les CFO-IS conventionnels.

L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation décrits ci-avant à titre d'exemple non limitatif. Elle englobe toutes les variantes de réalisation qui pourront être envisagées par l'homme du métier. En particulier, l'invention n'est pas limitée aux formes schématiques d'antenne 101 et 102 illustrées sur les dessins, ni aux configurations relatives entre
5 l'antenne de détection 101 et l'antenne de focalisation 102 représentées sur les dessins. De manière générale, l'invention est adaptée à tout type d'antenne de forme générale linéaire pour les antennes 101 et 102, et à tout positionnement relatif des antennes 101 et 102 sur le sous-marin tel que les antennes 101 et 102 soient sensiblement parallèles entre elles. Elle n'est pas non plus limitée à des ensembles acoustiques particuliers pour
10 logger les antennes 101 et 102.

Revendications

1. Système de localisation d'impulsion sonar (100) pour un sous-marin, caractérisé en ce qu'il comprend :
 - 5 - deux antennes de forme générale linéaire et sensiblement parallèles entre elles (101, 102) agencées sur le sous-marin, les deux antennes comprenant une antenne de détection (101) et une antenne de focalisation (102), l'antenne de détection (101) étant de petite dimension par rapport à la longueur de la deuxième antenne (102), chaque antenne comprenant un ensemble de capteurs (1010, 1020),
 - 10 - au moins un module d'interception (51) pour déterminer la direction d'une émission sonar émise par un émetteur et interceptée par l'antenne de détection (101), et
- un module de focalisation (52) pour déterminer la distance de l'émetteur par focalisation des voies à partir des signaux issus des capteurs de l'antenne de focalisation (102), dans la direction de l'émission déterminée par le module de détection (101).
- 15 2. Système de localisation d'impulsion sonar selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'antenne de détection (101) est bien échantillonnée spatialement.
3. Système de localisation d'impulsion sonar selon la revendication 2, caractérisé en ce que la distance inter-capteur de l'antenne de détection (101) est strictement inférieure à $\lambda/2$, où λ désigne la longueur d'onde du signal intercepté.
- 20 4. Système de localisation d'impulsion sonar selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'antenne de focalisation (102) est sous-échantillonnée spatialement.
5. Système de localisation d'impulsion sonar selon la revendication 4, caractérisé en ce que la distance inter-capteur de l'antenne de focalisation (102) est strictement supérieure
25 à λ , où λ désigne la longueur d'onde du signal intercepté.
6. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la longueur de la première antenne (101) est strictement inférieure à 20λ , où λ désigne la longueur d'onde du signal intercepté.
7. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon la revendication 6, caractérisé en
30 ce que la longueur de la deuxième antenne (102) est strictement supérieur à 200λ , où λ désigne la longueur d'onde du signal intercepté.

8. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'antenne de détection (101) comprend un tronçon unique, associé à un module unique d'interception (51).

5 9. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon la revendication 8, caractérisé en ce que l'antenne de détection (101) est située sensiblement au centre de l'antenne de focalisation (102).

10. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que l'antenne de détection (101) comprend deux tronçons (1011, 1012) situés à une distance donnée l'un de l'autre, et en ce que le module d'interception (51) comprend deux modules d'interception auxiliaires (5101, 5102) fournissant chacun une mesure d'angle correspondant au tronçon d'antenne associé, et un module de calcul de moyenne (53) configuré pour déterminer la moyenne des 2 mesures d'angles issus des modules auxiliaires d'interception (5101 et 5102).

15 11. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon la revendication 10, caractérisé en ce que chaque tronçon de l'antenne de détection (101) est située sensiblement à une extrémité de l'antenne de focalisation (102).

20 12. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon l'une des revendications précédentes 8 à 11, caractérisé en ce que chaque module d'interception associé à un tronçon de l'antenne (101) comprend un détecteur (510) configuré pour détecter les impulsions dans le champ de veille du tronçon de l'antenne associé (101) et une fonction de mesure des caractéristiques de l'impulsion détectée (511).

25 13. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon la revendication 12, caractérisé en ce que la fonction de mesure (511) de chaque module d'interception est configurée pour mesurer la direction et les paramètres de l'impulsion à partir des impulsions détectées.

14. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'antenne de détection (101) et l'antenne de focalisation (102) sont intégrées dans les modules acoustiques d'un même ensemble acoustique.

30 15. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon la revendication 14, caractérisé en ce que l'ensemble acoustique comprend une pluralité de modules acoustiques (800)

placés côte à côte selon un même axe, et en ce que chaque capteur de l'antenne de focalisation est agencé dans un module acoustique distinct de l'ensemble acoustique.

16. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon la revendication 15, caractérisé en ce que les capteurs d'un même tronçon de l'antenne de détection sont agencés dans un même module acoustique de l'ensemble acoustique.

17. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que la formation de voies focalisées est réalisée sur la tranche temporelle de signal déterminée par le début et la fin d'impulsion estimés par la fonction de détection.

18. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon la revendication 17, caractérisé en ce que la formation de voies focalisées comprend la détermination de la distance de l'émetteur à partir du maxima de l'énergie intégrée dans la bande et sur la durée de l'Interception Sonar, pour tous les points dans l'espace distance/angle concernés.

19. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon l'une des revendications 17 et 18, caractérisé en ce que la formation de voies focalisées comprend au préalable :

- l'application d'un retard grossier à chaque signal issu d'un capteur de l'antenne de focalisation, le retard étant déterminé à partir du numéro de capteur, de la distance inter-capteurs réelle, et de la distance angulaire de l'émetteur par rapport à l'axe formé par les capteur, et
- l'application d'un retard fin à chaque signal issu d'un capteur de l'antenne de focalisation correspondant à la courbure du front d'onde, le retard fin appliqué à chaque signal étant déterminé à partir du numéro de capteur, de la distance inter-capteurs réelle, de la distance angulaire de l'émetteur par rapport à l'axe formé par les capteurs et de la distance de focalisation.

20. Système de localisation d'impulsion sonar (100) selon l'une des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'antenne de détection (101) et l'antenne de focalisation (102) sont sensiblement alignées selon un même axe.

21. Procédé de localisation d'impulsion sonar (100) pour un sous-marin comprenant les étapes consistant à:

- prévoir deux antennes de forme générale linéaire et sensiblement parallèles entre elles (101, 102) agencées sur le sous-marin, les deux antennes comprenant une antenne de détection (101) et une antenne de focalisation (102), l'antenne de détection (101) étant de

petite dimension par rapport à la longueur de la deuxième antenne (102), chaque antenne comprenant un ensemble de capteurs (1010, 1020),

- déterminer la direction d'une émission sonar émise par un émetteur et interceptée par l'antenne de détection (101), et
- 5 - déterminer la distance de l'émetteur par focalisation des voies à partir des signaux issus des capteurs de l'antenne de focalisation (102), dans la direction de l'émission déterminée par le module de détection (101).