



(51) Classification internationale des brevets :
G01S 11/02 (2010.01) G01S 5/12 (2006.01)
G01S 5/02 (2010.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2016/081069

(22) Date de dépôt international :
14 décembre 2016 (14.12.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
15 02593 15 décembre 2015 (15.12.2015) FR

(71) Déposant : THALES [FR/FR]; Tour Carpe Diem Place
des Corolles Esplanade Nord, 92400 Courbevoie (FR).

(72) Inventeurs : JAHAN, Daniel; c/o Thales Systemes Aero-
portes, 10 avenue de la 1ère DFL, 29200 Brest (FR). GIA-
COMETTI, Romain; c/o Thales Systemes Aeroportes, 10
avenue de la 1ère DFL, 29200 Brest (FR). CORNU, Cé-
dric; c/o Thales Systemes Aeroportes, 10 avenue de la 1ère
DFL, 29200 Brest (FR).

(74) Mandataires : BLOT, Philippe et al.; Lavoix, 2, place
d'Estienne d'Orves, 75441 Paris Cedex 09 (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, DJ, 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, KH, KN,
KP, KR, KW, 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,
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))

(54) Title : METHOD FOR LOCATING ELECTROMAGNETIC PULSE EMISSION SOURCES IN AN ENVIRONMENT IN-
CLUDING REFLECTORS

(54) Titre : PROCÉDÉ DE LOCALISATION DE SOURCES D'ÉMISSION D'IMPULSIONS ÉLECTROMAGNÉTIQUES DANS
UN ENVIRONNEMENT COMPRENANT DES RÉFLECTEURS

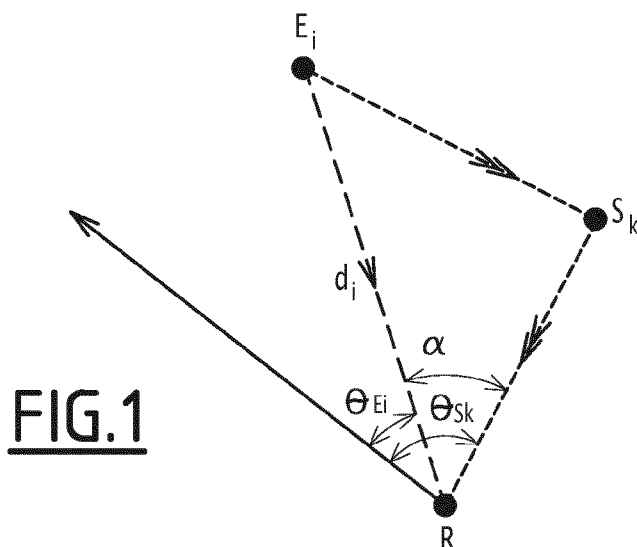


FIG.1

(57) Abstract : Method for locating electro-
magnetic pulse emission sources in an envi-
ronment including reflectors. The invention
relates to a method for locating at least two
electromagnetic pulse emission sources in an
environment including two reflectors. The
method includes: receiving, via a detector and
for each source to be located, at least one
single emitted pulse received directly from
said source and via reflection on one of the
reflectors; identifying the directly received
pulses and the pulses received via reflection;
grouping directly received pulses into pairs
with pulses received via reflection; calcula-
ting, for each pair, the difference between the
arrival date of the pulse received via reflec-
tion relative to the arrival date of the directly
received pulse; and determining the distance
from each source to the detector on the basis
of the calculated differences in arrival dates.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]



Procédé de localisation de sources d'émission d'impulsions électromagnétiques dans un environnement comprenant des réflecteurs
L'invention concerne un procédé de localisation d'au moins deux sources d'émission d'impulsions électromagnétiques dans un environnement comprenant deux réflecteurs. Le procédé comprend la réception, par un détecteur, pour chaque source à localiser, d'au moins une même impulsion émise, reçue en direct de ladite source et reçue par réflexion sur l'un des réflecteurs. : - l'identification des impulsions reçues en direct et des impulsions reçues en réflexion, - le regroupement par paire d'impulsions reçues en direct avec des impulsions reçues en réflexion, - le calcul, pour chaque paire, de la différence entre la date d'arrivée de l'impulsion reçue par réflexion par rapport à la date d'arrivée de l'impulsion reçue en direct, et - la détermination de la distance de chaque source au détecteur à partir des différences de dates d'arrivée calculées.

Procédé de localisation de sources d'émission d'impulsions électromagnétiques dans un environnement comprenant des réflecteurs

La présente invention concerne un procédé de localisation d'au moins deux sources d'émission d'impulsions électromagnétiques dans un environnement, l'environnement comprenant au moins deux réflecteurs, le procédé comprenant les étapes de :

- réception, par un détecteur, pour chaque source à localiser, pendant une durée de fonctionnement du détecteur, d'au moins une même impulsion émise, reçue d'une part en direct de ladite source et reçue d'autre part par réflexion sur l'un des réflecteurs,

- mesure de la direction d'arrivée, de la date d'arrivée et d'au moins une caractéristique invariante de chaque impulsion reçue.

La localisation d'une source consiste à déterminer la direction et la distance de la source par rapport à un point de référence. Une telle localisation est généralement basée sur un principe de multistatisme consistant à observer la source sous différents angles.

Pour localiser une source, une méthode connue, utilisant le principe de la triangulation, consiste à mesurer la direction d'arrivée des impulsions émises par la source au moyens de plusieurs détecteurs, délocalisés les uns des autres. La triangulation est une technique permettant de déterminer la position d'un point en mesurant les angles entre ce point et d'autres points de référence dont la position est connue.

Toutefois, une telle méthode impose d'utiliser un réseau de détecteurs et donc nécessairement un système de coordination des détecteurs du réseau, ce qui outre le coût lié au nombre de détecteurs, exclut la possibilité de travailler avec un unique détecteur.

Il a également été développé une méthode de localisation consistant à disposer un unique détecteur sur un porteur ayant une vitesse de défilement relativement élevée par rapport à la source à localiser. Un tel défilement relatif permet d'obtenir un ensemble de directions d'arrivée dans le temps, dont le point de concours est l'endroit où se situe la source.

Cependant, l'obtention d'un défilement relatif impose un porteur particulièrement vélocé par rapport aux sources à localiser, ce qui rend la méthode inadaptée dans le cas d'une source en déplacement.

Une autre méthode connue repose sur la mesure des différences de temps de passage de lobe d'antenne (abrégé en DTPLA).

Néanmoins, de telles mesures supposent de connaître la vitesse de rotation du lobe d'antenne et donc d'effectuer des balayages circulaires, ce qui implique une acquisition relativement lente.

Il est également connu d'utiliser la différence de temps d'arrivée (abrégé en TDOA) d'un même signal arrivant en deux points de réception différents pour localiser une source. Une telle différence de temps permet de déterminer le lieu géométrique où se situe la source.

Toutefois, là encore au moins deux détecteurs sont requis, ce qui exclut la possibilité de travailler avec un seul détecteur.

Des méthodes combinant des mesures de TDOA et de DTPLA à partir d'un unique détecteur sont également connues.

En revanche, comme cela a été expliqué précédemment, les mesures de DTPLA exigent des balayages circulaires, ce qui est à la fois lent et incertain.

Il existe donc un besoin pour un procédé de localisation de sources à partir d'un unique détecteur quasi-statique par rapport aux sources à localiser.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de localisation du type précité, dans lequel le procédé comprend, en outre, les étapes de :

- identification, parmi les impulsions reçues, des impulsions reçues en direct et des impulsions reçues en réflexion,

- regroupement par paire d'impulsions reçues en direct avec des impulsions reçues en réflexion, les impulsions de chaque paire ayant les mêmes caractéristiques invariantes et des directions d'arrivée différentes,

- calcul, pour chaque paire, de la différence entre la date d'arrivée de l'impulsion reçue par réflexion par rapport à la date d'arrivée de l'impulsion reçue en direct, et

- détermination de la distance de chaque source au détecteur à partir des différences de dates d'arrivée calculées et des directions d'arrivée des impulsions de chaque paire.

Suivant des modes de mise en œuvre particuliers, le procédé de localisation comprend une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toutes les combinaisons techniquement possibles :

- la durée de fonctionnement est formée de tranches de temps de durées identiques, le procédé comprenant la définition d'une durée glissante au moins égale à la durée d'une tranche de temps, les étapes d'identification et de regroupement étant mises en œuvre sur la durée glissante, les impulsions de chaque paire appartenant à une même tranche de temps.

- le procédé comprend, en outre, pour chaque tranche de temps, une étape de tri

des impulsions reçues en fonction de la direction d'arrivée et des caractéristiques invariantes de chaque impulsion pour obtenir des sous-séries d'impulsions, les impulsions de chaque sous-série ayant des directions d'arrivée égales et des caractéristiques invariantes égales, les impulsions de chaque sous-série étant regroupées dans une même paire lors de l'étape de regroupement.

- l'étape de mesure comprend, en outre, la détermination, sur les sous-séries successives de chaque durée glissante de la puissance maximale parmi les puissances des impulsions des sous-séries ayant des directions d'arrivée égales, des caractéristiques invariantes égales et appartenant à une même durée glissante, les impulsions reçues en direct et les impulsions reçues en réflexion étant identifiées, pour chaque sous-série d'impulsions, par comparaison de la puissance maximale déterminée pour ladite sous-série par rapport à au moins deux seuils.

- les impulsions des sous-séries associées à ladite puissance maximale sont identifiées reçues en direct lorsque la puissance maximale est supérieure ou égale à un premier seuil et les impulsions des sous-séries associées à ladite puissance maximale sont identifiées reçues en réflexion lorsque la puissance maximale est strictement inférieure à un deuxième seuil, le deuxième seuil étant inférieur ou égal au premier seuil.

- l'étape de détermination comprend le rassemblement des paires sur des durées prédéterminées pour former des groupes de deux paires, de trois paires ou de quatre paires, le nombre de paires par groupe étant égal au nombre de directions d'arrivées différentes correspondant aux impulsions reçues sur la durée prédéterminée, la distance de chaque source au détecteur étant déterminée à partir des différences de dates d'arrivée calculées pour les paires de chaque groupe et des directions d'arrivée des impulsions des paires de chaque groupe,

chaque groupe de deux paires comprenant :

- une première paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à une première caractéristique invariante, de directions d'arrivée différentes, et
- une deuxième paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à une deuxième caractéristique invariante et de mêmes directions d'arrivée différentes,

chaque groupe de trois paires comprenant :

- une première paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à une première caractéristique invariante, de directions d'arrivée égales respectivement à une première et à une deuxième direction d'arrivée différentes l'une de l'autre,

4

- une deuxième paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à la première caractéristique invariante, de directions d'arrivée égales respectivement à la première et à une troisième direction d'arrivée, la troisième direction d'arrivée étant différente de la première et de la deuxième direction d'arrivée, et

5

- une troisième paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à une deuxième caractéristique invariante différente de la première caractéristique invariante, de directions d'arrivée égales respectivement à la deuxième et à la troisième direction d'arrivée,

10

chaque groupe de quatre paires comprenant :

- une première paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à une première caractéristique invariante, de directions d'arrivée égales respectivement à une première et à une deuxième direction d'arrivée différentes l'une de l'autre,

15

- une deuxième paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à la première caractéristique invariante de directions d'arrivée égales respectivement à la première et à une troisième direction d'arrivée, la troisième direction d'arrivée étant différente de la première et de la deuxième direction d'arrivée,

20

- une troisième paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à une deuxième caractéristique invariante différente de la première caractéristique invariante, de directions d'arrivée égales respectivement à la troisième et à une quatrième direction d'arrivée, la quatrième direction d'arrivée étant différente de la première, de la deuxième et de la troisième direction d'arrivée, et

25

- une quatrième paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à la deuxième caractéristique invariante, de directions d'arrivée égales respectivement à la troisième et à la quatrième direction d'arrivée.

- chaque groupe permet de déterminer les distances respectives de deux des

30

sources à localiser au détecteur, lesdites distances étant calculées :

- pour chaque groupe de deux paires d'impulsions à partir des équations suivantes :

$$\begin{cases} d_1 = \frac{\Delta_{S_1/E_2}^2 + 2\Delta_{S_1/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_1/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_1}))} \\ d_2 = \frac{\Delta_{S_2/E_1}^2 + 2\Delta_{S_2/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_2/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_2}))} \end{cases}$$

5

- pour chaque groupe de trois paires d'impulsions à partir des équations suivantes :

$$\begin{cases} \frac{\Delta_{S_1/E_1}^2 + 2\Delta_{S_1/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_1/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_1}))} = \frac{\Delta_{S_1/E_2}^2 + 2\Delta_{S_1/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_1/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_1}))} \\ d_2 = \frac{\Delta_{S_2/E_1}^2 + 2\Delta_{S_2/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_2/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_2}))} \end{cases}$$

ou

$$\begin{cases} d_1 = \frac{\Delta_{S_1/E_2}^2 + 2\Delta_{S_1/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_1/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_1}))} \\ \frac{\Delta_{S_2/E_1}^2 + 2\Delta_{S_2/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_2/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_2}))} = \frac{\Delta_{S_2/E_2}^2 + 2\Delta_{S_2/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_2/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_2}))} \end{cases}$$

- pour chaque groupe de quatre paires d'impulsions à partir des équations suivantes :

5

$$\begin{cases} \frac{\Delta_{S_1/E_1}^2 + 2\Delta_{S_1/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_1/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_1}))} = \frac{\Delta_{S_1/E_2}^2 + 2\Delta_{S_1/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_1/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_1}))} \\ \frac{\Delta_{S_2/E_1}^2 + 2\Delta_{S_2/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_2/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_2}))} = \frac{\Delta_{S_2/E_2}^2 + 2\Delta_{S_2/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_2/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_2}))} \end{cases}$$

Où

- $\Delta_{S_1/E_1} = c \cdot \tau_{S_1/E_1}$, $\Delta_{S_2/E_2} = c \cdot \tau_{S_2/E_2}$, $\Delta_{S_1/E_2} = c \cdot \tau_{S_1/E_2}$, $\Delta_{S_2/E_1} = c \cdot \tau_{S_2/E_1}$,
- d_1 est la distance de la première source E_1 au détecteur,
- d_2 est la distance de la deuxième source E_2 au détecteur,
- c est la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques,
- τ_{S_1/E_1} est la différence de date d'arrivée entre les impulsions reçues par réflexion sur un premier réflecteur par rapport aux impulsions reçues en direct de la première source,
- τ_{S_2/E_2} est la différence de date d'arrivée entre les impulsions reçues par réflexion sur un deuxième réflecteur par rapport aux impulsions reçues en direct de la deuxième source,
- τ_{S_1/E_2} est la différence de date d'arrivée entre les impulsions reçues par réflexion sur le premier réflecteur par rapport aux impulsions reçues en direct de la deuxième source,
- τ_{S_2/E_1} est la différence de date d'arrivée entre les impulsions reçues par réflexion sur le deuxième réflecteur par rapport aux impulsions reçues en direct de la première source,
- $\alpha_{E_2S_2}$ est l'écart angulaire entre la deuxième source et le deuxième

10

15

20

6

réflecteur vu depuis le détecteur,

- $\alpha_{E_1 S_1}$ est l'écart angulaire entre la première source et le premier réflecteur vu depuis le détecteur,
- $\alpha_{E_2 S_1}$ est l'écart angulaire entre la deuxième source et le premier réflecteur vu depuis le détecteur, et
- $\alpha_{E_1 S_2}$ est l'écart angulaire entre la deuxième source et le premier réflecteur vu depuis le détecteur.

- l'étape de détermination comprend le calcul d'un histogramme, pour chaque paire, à partir des différences de dates d'arrivée calculées pour ladite paire et la détermination d'un retard principal des impulsions reçues en réflexion par rapport aux impulsions reçues en direct à partir de l'histogramme calculé, les différences de date d'arrivée des équations précédentes étant égales respectivement à l'un des retards principaux déterminés.

- les caractéristiques invariantes de chaque impulsion comprennent au moins l'une des caractéristiques parmi : la largeur de l'impulsion, la fréquence porteuse de l'impulsion et la modulation intra-impulsion intentionnelle.

L'invention concerne aussi un détecteur de localisation d'au moins deux sources d'émission d'impulsions électromagnétiques dans un environnement, l'environnement comprenant au moins deux réflecteurs, le détecteur étant propre à mettre en œuvre les étapes du procédé tel que défini plus haut.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation de l'invention, donnée à titre d'exemple uniquement et en référence aux dessins qui sont :

- figure 1, une vue schématique d'un exemple d'une source à localiser, d'un réflecteur et d'un détecteur configuré pour localiser la source,

- figure 2, une vue schématique d'un exemple d'une première configuration de deux sources à localiser et de deux réflecteurs, chaque source étant colocalisée avec un réflecteur,

- figure 3, une vue schématique d'un exemple d'une deuxième configuration de deux sources à localiser et de deux réflecteurs, l'une des sources étant colocalisée avec un réflecteur,

- figure 4, une vue schématique d'un autre exemple d'une deuxième configuration de deux sources à localiser et de deux réflecteurs,

- figure 5, une vue schématique d'un exemple d'une troisième configuration de deux sources à localiser et de deux réflecteurs, les sources n'étant pas colocalisées avec les réflecteurs,

- figure 6, une vue schématique et fonctionnelle du détecteur de la figure 1, et
- figure 7, un organigramme d'un exemple de mise en œuvre d'un procédé de localisation de sources.

Un principe général de mise en œuvre de l'invention est décrit dans ce qui suit, sur la base de la figure 1.

La figure 1 illustre une source d'émission E_i , un réflecteur S_k et un détecteur R, formant les trois points d'un triangle bistatique E_iRS_k . La distance E_iR entre la source E_i et le détecteur R est notée d_i sur la figure 1 et dans la suite de la description.

Chaque source d'émission E_i est, par exemple, une source d'émission radar, c'est-à-dire une source d'émissions électromagnétiques modulées, et plus particulièrement modulées par impulsions. Chaque source E_i est, par exemple, disposée en mer sur des navires délocalisés les uns des autres.

Un but de l'invention est de localiser les sources E_i au moyen d'un unique détecteur de radars R placé à distance des sources E_i , comme cela est illustré par la figure 1.

Le détecteur de radars R reçoit le signal x_{E_i} correspondant à l'impulsion émise par la source E_i en direct, c'est-à-dire après avoir parcouru le chemin E_iR . Ce signal est caractérisé par des caractéristiques a_{E_i} , une date d'arrivée t_{E_i} et une direction d'arrivée θ_{E_i} mesurées par le détecteur R.

Le détecteur de radars R reçoit également le signal x_{S_k/E_i} correspondant à la même impulsion émise par la source E_i et réfléchi sur le réflecteur S_k , c'est-à-dire après avoir parcouru le chemin $E_iS_k + S_kR$. Ce signal est caractérisé par des caractéristiques a_{S_k/E_i} , une date d'arrivée t_{S_k/E_i} et une direction d'arrivée θ_{S_k} mesurées par le détecteur R.

Ainsi, pour la source E_i et le réflecteur S_k , le détecteur R reçoit les deux signaux : $x_{E_i}(a_{E_i}, \theta_{E_i}, t_{E_i})$ et $x_{S_k/E_i}(a_{S_k/E_i}, t_{S_k/E_i}, \theta_{S_k})$.

Des signaux $x_{E_i}(a_{E_i}, \theta_{E_i}, t_{E_i})$ et $x_{S_k/E_i}(a_{S_k/E_i}, t_{S_k/E_i}, \theta_{S_k})$, le détecteur R déduit la différence de temps d'arrivée τ_{S_k/E_i} et la différence de directions d'arrivée $\alpha_{E_iS_k}$ entre l'impulsion reçue en direct et l'impulsion reçue en réfléchi à partir d'une même émission, soit donc : $\tau_{S_k/E_i} = t_{S_k/E_i} - t_{E_i}$ et $\alpha_{E_iS_k} = \theta_{E_i} - \theta_{S_k}$.

La différence de trajets $E_iS_k + S_kR - d_i = c \cdot \tau_{S_k/E_i}$ est appelée la distance bistatique associée et est notée Δ_{S_k/E_i} . Une telle expression permet d'obtenir l'expression suivante de la distance E_iS_k entre la source E_i et le réflecteur S_k :

$$E_iS_k = \Delta_{S_k/E_i} + d_i - S_kR \quad (1)$$

L'application du théorème du cosinus au triangle E_iRS_k permet d'écrire l'équation suivante :

$$E_iS_k^2 = S_kR^2 + d_i^2 - 2d_i \cdot S_kR \cdot \cos(\alpha_{E_iS_k}) \quad (2)$$

En éliminant le terme E_iS_k des expressions (1) et (2), l'expression suivante de la distance S_kR entre le réflecteur S_k et le détecteur R est obtenue :

$$S_kR = \frac{\Delta_{S_k/E_i}^2 + 2\Delta_{S_k/E_i} \cdot d_i}{2\Delta_{S_k/E_i} + 2d_i(1 - \cos(\alpha_{E_iS_k}))} \quad (3)$$

Dans le cas de l'emploi d'un unique détecteur R, la résolution du problème de localisation à partir de mesures de direction d'arrivée et de temps d'arrivée, repose sur le fait que la zone étudiée comporte au minimum deux sources E_i non colocalisées l'une avec l'autre, E_1 et E_2 , et deux réflecteurs S_k également non colocalisés l'un avec l'autre, S_1 et S_2 . Une ou plusieurs colocalisations d'une source E_i avec un réflecteur S_k est par contre acceptable. Deux éléments sont considérés « colocalisés » lorsqu'ils sont confondus.

A partir de deux sources et de deux réflecteurs, il existe donc quatre configurations possibles. Ces configurations sont illustrées par les figures 2 à 5.

En particulier, la figure 2 illustre une première configuration dans laquelle les deux sources ne sont pas colocalisées et chaque source est colocalisée avec un réflecteur. La première configuration de la figure 2 comprend deux triangles bistatiques non dégénérés E_1RS_2 et E_2RS_1 et deux triangles bistatiques dégénérés E_1RS_1 et E_2RS_2 . Un triangle est dit dégénéré lorsqu'il se résume à un segment.

Les figures 3 et 4 illustrent chacune une deuxième configuration dans laquelle les deux sources ne sont pas colocalisées entre elles et une seule source est colocalisée avec un réflecteur. La deuxième configuration de la figure 3 comprend trois triangles bistatiques non dégénérés E_1RS_1 , E_1RS_2 et E_2RS_1 et un triangle bistatique dégénéré E_2RS_2 . La deuxième configuration de la figure 4 comprend trois triangles bistatiques non dégénérés E_2RS_2 , E_1RS_2 et E_2RS_1 et un triangle bistatique dégénéré E_1RS_1 .

La figure 5 illustre une troisième configuration dans laquelle les sources et les réflecteurs ne sont pas colocalisés entre eux. La troisième configuration de la figure 5 comprend quatre triangles bistatiques non dégénérés E_1RS_1 , E_2RS_2 , E_1RS_2 et E_2RS_1 .

L'application de la relation (3) à chaque triangle bistatique possible fournit quatre expressions :

$$\begin{array}{l} \text{Triangle} \\ E_1RS_1 \end{array} \Rightarrow S_1R = \frac{\Delta_{S_1/E_1}^2 + 2\Delta_{S_1/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_1/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_1}))} \quad (4.1)$$

$$\begin{array}{l} \text{Triangle} \\ E_1RS_2 \end{array} \Rightarrow S_2R = \frac{\Delta_{S_2/E_1}^2 + 2\Delta_{S_2/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_2/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_2}))} \quad (4.2)$$

9

$$\begin{array}{l} \text{Triangle} \\ E_2RS_1 \end{array} \Rightarrow S_1R = \frac{\Delta_{S_1/E_2}^2 + 2\Delta_{S_1/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_1/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_1}))} \quad (4.3)$$

$$\begin{array}{l} \text{Triangle} \\ E_2RS_2 \end{array} \Rightarrow S_2R = \frac{\Delta_{S_2/E_2}^2 + 2\Delta_{S_2/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_2/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_2}))} \quad (4.4)$$

Les expressions (4.1) à (4.4) n'ont de sens complet que pour la troisième configuration. En effet, les expressions relatives aux triangles bistatiques dégénérés n'ont pas de sens en raison des valeurs nulles correspondant aux mesures de la distance bistatique Δ_{S_k/E_i} et de la différence d'angle d'arrivée entre la source et le réflecteur $\alpha_{E_iS_k}$.

Dans le cas de la troisième configuration, l'égalité des expressions (4.1) et (4.3) et celle des expressions (4.2) et (4.4), permet d'obtenir les équations suivantes :

$$S_1R = \frac{\Delta_{S_1/E_1}^2 + 2\Delta_{S_1/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_1/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_1}))} = \frac{\Delta_{S_1/E_2}^2 + 2\Delta_{S_1/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_1/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_1}))} \quad (5.1)$$

et

$$S_2R = \frac{\Delta_{S_2/E_1}^2 + 2\Delta_{S_2/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_2/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_2}))} = \frac{\Delta_{S_2/E_2}^2 + 2\Delta_{S_2/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_2/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_2}))} \quad (5.2)$$

Où

- $\Delta_{S_1/E_1} = c \cdot \tau_{S_1/E_1}$, $\Delta_{S_2/E_2} = c \cdot \tau_{S_2/E_2}$, $\Delta_{S_1/E_2} = c \cdot \tau_{S_1/E_2}$, $\Delta_{S_2/E_1} = c \cdot \tau_{S_2/E_1}$,
- d_1 est la distance de la première source E_1 au détecteur R,
- d_2 est la distance de la deuxième source E_2 au détecteur R,
- c est la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques,
- τ_{S_1/E_1} est la différence de date d'arrivée entre les impulsions reçues par réflexion sur un premier réflecteur par rapport aux impulsions reçues en direct de la première source,
- τ_{S_2/E_2} est la différence de date d'arrivée entre les impulsions reçues par réflexion sur un deuxième réflecteur par rapport aux impulsions reçues en direct de la deuxième source,
- τ_{S_1/E_2} est la différence de date d'arrivée entre les impulsions reçues par réflexion sur le premier réflecteur par rapport aux impulsions reçues en direct de la deuxième source,
- τ_{S_2/E_1} est la différence de date d'arrivée entre les impulsions reçues par réflexion sur le deuxième réflecteur par rapport aux impulsions reçues en direct de la première source,
- $\alpha_{E_2S_2}$ est l'écart angulaire entre la deuxième source et le deuxième réflecteur vu depuis le détecteur,

- $\alpha_{E_1 S_1}$ est l'écart angulaire entre la première source et le premier réflecteur vu depuis le détecteur,
- $\alpha_{E_2 S_1}$ est l'écart angulaire entre la deuxième source et le premier réflecteur vu depuis le détecteur, et
- $\alpha_{E_1 S_2}$ est l'écart angulaire entre la deuxième source et le premier réflecteur vu depuis le détecteur.

Les expressions (5.1) et (5.2) permettent d'obtenir un système de deux équations du type suivant :

$$\begin{cases} b_{11} + b_{12} \cdot d_1 + b_{13} \cdot d_2 + b_{14} \cdot d_1 \cdot d_2 = 0 \\ b_{21} + b_{22} \cdot d_1 + b_{23} \cdot d_2 + b_{24} \cdot d_1 \cdot d_2 = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Dans le cas de la deuxième configuration de la figure 3, l'expression (5.1) précédente est toujours valable, mais pas l'expression (5.2) car l'expression (4.4) n'a pas de sens. Toutefois, on peut remarquer que l'expression (4.2) est alors celle de d_2 , ce qui permet d'écrire :

$$d_2 = S_2 R = \frac{\Delta_{S_2/E_1}^2 + 2\Delta_{S_2/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_2/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1 S_2}))} \quad (7)$$

Les expressions (5.1) et (7) permettent alors de retrouver le système d'équations (6).

Par symétrie, la deuxième configuration de la figure 4 aboutit au même système d'équations (6).

Dans le cas de la première configuration, les expressions (5.1) et (5.2) ne sont pas valables car les expressions (4.1) et (4.4) n'ont pas de sens. Toutefois, on peut remarquer que l'expression (7) est applicable et que l'expression (4.3) est alors celle de d_1 , ce qui permet d'écrire :

$$d_1 = S_1 R = \frac{\Delta_{S_1/E_2}^2 + 2\Delta_{S_1/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_1/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2 S_1}))} \quad (8)$$

Les expressions (7) et (8) permettent alors de retrouver le système d'équations (6).

Un unique système d'équations (6) permet donc d'extraire les inconnues d_1 et d_2 , seuls les coefficients b_{ij} étant différents d'une configuration à l'autre.

Un traitement unique de résolution du système d'équations (6) est donc mis en œuvre par le détecteur R avec des coefficients b_{ij} dépendant des configurations trouvées à la détection.

Les coefficients du système (6) sont exprimés ci-après en fonction des différentes configurations :

- Pour la première configuration illustrée en figure 2 :

11

$$\begin{cases} b_{11} = \Delta_{S_1/E_2}^2 \\ b_{12} = -2\Delta_{S_1/E_2} \\ b_{13} = 2\Delta_{S_1/E_2} \\ b_{14} = -2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_1})) \end{cases} \quad (9.1)$$

$$\text{et} \begin{cases} b_{21} = -\Delta_{S_2/E_1}^2 \\ b_{22} = -2\Delta_{S_2/E_1} \\ b_{23} = 2\Delta_{S_2/E_1} \\ b_{24} = 2(1 - \cos(\alpha_{E_1S_2})) \end{cases} \quad (9.2)$$

- Pour la deuxième configuration illustrée en figure 3 :

$$\begin{cases} b_{11} = 2 \Delta_{S_1/E_1} \cdot \Delta_{S_1/E_2} (\Delta_{S_1/E_1} - \Delta_{S_1/E_2}) \\ b_{12} = 2 \Delta_{S_1/E_2} (2\Delta_{S_1/E_1} - \Delta_{S_1/E_2} (1 - \cos(\alpha_{E_1S_1}))) \\ b_{13} = 2 \Delta_{S_1/E_1} (-2\Delta_{S_1/E_2} + \Delta_{S_1/E_1} (1 - \cos(\alpha_{E_2S_1}))) \\ b_{14} = 4 \Delta_{S_1/E_1} (1 - \cos(\alpha_{E_2S_1})) - 4\Delta_{S_1/E_2} (1 - \cos(\alpha_{E_1S_1})) \end{cases} \quad (9.3)$$

5

$$\text{et} \begin{cases} b_{21} = -\Delta_{S_2/E_1}^2 \\ b_{22} = -2\Delta_{S_2/E_1} \\ b_{23} = 2\Delta_{S_2/E_1} \\ b_{24} = 2(1 - \cos(\alpha_{E_1S_2})) \end{cases} \quad (9.2)$$

- Pour la deuxième configuration illustrée en figure 4 :

$$\begin{cases} b_{11} = \Delta_{S_1/E_2}^2 \\ b_{12} = -2\Delta_{S_1/E_2} \\ b_{13} = 2\Delta_{S_1/E_2} \\ b_{14} = -2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_1})) \end{cases} \quad (9.1)$$

$$\text{et} \begin{cases} b_{21} = 2 \Delta_{S_2/E_1} \Delta_{S_2/E_2} (\Delta_{S_2/E_1} - \Delta_{S_2/E_2}) \\ b_{22} = 2 \Delta_{S_2/E_2} (2\Delta_{S_2/E_1} - \Delta_{S_2/E_2} (1 - \cos(\alpha_{E_1S_2}))) \\ b_{23} = 2 \Delta_{S_2/E_1} (-2\Delta_{S_2/E_2} + \Delta_{S_2/E_1} (1 - \cos(\alpha_{E_2S_2}))) \\ b_{24} = 4 \Delta_{S_2/E_1} (1 - \cos(\alpha_{E_2S_2})) - 4\Delta_{S_2/E_2} (1 - \cos(\alpha_{E_1S_2})) \end{cases} \quad (9.4)$$

- Pour la troisième configuration illustrée en figure 5 :

$$\begin{cases} b_{11} = 2 \Delta_{S_1/E_1} \cdot \Delta_{S_1/E_2} (\Delta_{S_1/E_1} - \Delta_{S_1/E_2}) \\ b_{12} = 2 \Delta_{S_1/E_2} (2\Delta_{S_1/E_1} - \Delta_{S_1/E_2} (1 - \cos(\alpha_{E_1S_1}))) \\ b_{13} = 2 \Delta_{S_1/E_1} (-2\Delta_{S_1/E_2} + \Delta_{S_1/E_1} (1 - \cos(\alpha_{E_2S_1}))) \\ b_{14} = 4 \Delta_{S_1/E_1} (1 - \cos(\alpha_{E_2S_1})) - 4\Delta_{S_1/E_2} (1 - \cos(\alpha_{E_1S_1})) \end{cases} \quad (9.3)$$

10

$$\begin{aligned}
 &12 \\
 &\text{et} \begin{cases} b_{21} = 2 \Delta_{S_2/E_1} \cdot \Delta_{S_2/E_2} (\Delta_{S_2/E_1} - \Delta_{S_2/E_2}) \\ b_{22} = 2 \Delta_{S_2/E_2} \left(2\Delta_{S_2/E_1} - \Delta_{S_2/E_2} (1 - \cos(\alpha_{E_1 S_2})) \right) \\ b_{23} = 2 \Delta_{S_2/E_1} \left(-2\Delta_{S_2/E_2} + \Delta_{S_2/E_1} (1 - \cos(\alpha_{E_2 S_2})) \right) \\ b_{24} = 4 \Delta_{S_2/E_1} (1 - \cos(\alpha_{E_2 S_2})) - 4\Delta_{S_2/E_2} (1 - \cos(\alpha_{E_1 S_2})) \end{cases} \quad (9.4)
 \end{aligned}$$

De la première équation du système (6), on peut exprimer, par exemple, d_1 en fonction de d_2 :

$$d_1 = -\frac{b_{11} + b_{13} \cdot d_2}{b_{12} + b_{14} \cdot d_2} \quad (10)$$

5 L'expression (10) introduite dans la seconde équation du système (6) aboutit à une équation du second degré en d_2 , résolue par le détecteur R :

$$A \cdot d_2^2 + B \cdot d_2 + C = 0 \quad (11)$$

Où :

- $A = b_{13} \cdot b_{24} - b_{14} \cdot b_{23}$,
- 10 • $B = b_{11} \cdot b_{24} - b_{12} \cdot b_{23} + b_{13} \cdot b_{22} - b_{14} \cdot b_{21}$, et
- $C = b_{11} \cdot b_{22} - b_{12} \cdot b_{21}$.

La solution de l'équation (11) est l'unique racine positive, soit :

$$d_2 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} > 0 \quad (12)$$

15 La distance d_1 de la première source au détecteur R est calculée par le détecteur R à partir de l'expression (10) et de la valeur de d_2 précédemment trouvée.

Les relations (4.2) et (4.3) permettent de calculer les distances de chaque réflecteur au détecteur $S_1 R$ et $S_2 R$ à partir des valeurs mesurées de Δ_{S_k/E_i} et $\alpha_{E_i S_k}$, et des valeurs calculées de d_1 et d_2 .

20 Ainsi, les sources E_1, E_2 et les réflecteurs S_1 et S_2 ont bien été localisés en coordonnées polaires, respectivement (d_1, θ_{E_1}) , (d_2, θ_{E_2}) , $(S_1 R, \theta_{S_1})$ et $(S_2 R, \theta_{S_2})$.

Le détecteur R de localisation de sources E_i d'émission d'impulsions électromagnétiques, fonctionnant sur le principe décrit précédemment, est illustré de manière fonctionnelle par la figure 6.

Le détecteur R est un détecteur de radars.

25 Le détecteur R est quasi-statique par rapport aux sources E_i à localiser, c'est-à-dire que le détecteur R a au plus une vitesse relativement faible par rapport aux sources E_i à localiser, de sorte que les évolutions géométriques relatives aux triangles bistatiques $E_1 R S_1, E_2 R S_2, E_1 R S_2$ et $E_2 R S_1$ soient suffisamment inférieures à la précision recherchée pour ne pas l'affecter.

30 Le détecteur R comprend un module de réception 12 et un calculateur 14.

Le module de réception 12 comprend un réseau d'antennes de goniométrie formant un unique détecteur considéré comme ponctuel, un ensemble de chaînes de réception associées au réseau d'antennes et des fonctions de traitement permettant de mesurer des caractéristiques des impulsions reçues.

Les caractéristiques des impulsions mesurées par le module de réception 12 sont, par exemple, la direction d'arrivée des impulsions, la fréquence porteuse des impulsions, la largeur des impulsions, la date d'arrivée des impulsions, la modulation intra-impulsion intentionnelle (en anglais *intentional modulation on pulse*) ou encore la puissance des impulsions.

Le calculateur 14 est en interaction avec le module de réception 12.

Le calculateur 14 comprend, par exemple, un processeur, une mémoire et une unité de traitement de données. L'unité de traitement de données est configurée pour mettre en œuvre en interaction avec un produit programme d'ordinateur, chargeable dans l'unité de traitement de données, un procédé de localisation qui sera décrit plus en détails dans la suite de la description.

Un exemple de fonctionnement du détecteur R est maintenant décrit en référence à la figure 7, qui illustre schématiquement un ordinogramme de mise en œuvre d'un procédé de localisation de sources $E_1, \dots, E_n$ d'émission d'impulsions électromagnétiques.

Dans la suite de la description, le terme « égal » désigne « égal à une tolérance près ». La tolérance choisie est liée aux précisions de mesure, au rapport signal-à-bruit de mesure et à la fréquence des signaux reçus sur le détecteur R. La tolérance choisie est, par exemple, ± 5 pourcents (%).

Pour chaque source E_i à localiser, le procédé de détermination comprend initialement une étape 100 de réception par le détecteur R d'au moins une impulsion émise, d'une part reçue en direct, c'est-à-dire selon le trajet allant directement de la source E_i au détecteur R, et d'autre part reçue sous sa forme réfléchie, c'est-à-dire après réflexion sur un réflecteur S_k . Seules la différence de trajets géométriques, qui entraîne des dates d'arrivée différentes, et la qualité de la réflexion permet de différencier l'impulsion reçue en direct de l'impulsion reçue en réfléchie lorsque ces impulsions reçues sont issues de la même émission.

Les impulsions sont reçues par le détecteur R pendant la durée de fonctionnement du détecteur R.

Ensuite, le procédé de localisation comprend une étape 110 de mesure, par le détecteur R, de la direction d'arrivée θ_k , de la date d'arrivée t sur le détecteur R et d'au moins une caractéristique invariante CTI_j de chaque impulsion reçue.

Dans le mode de réalisation illustré sur la figure 7, l'étape de mesure 110

comprend également la mesure de la puissance p de chaque impulsion reçue.

Les caractéristiques invariantes CTI_j de chaque impulsion comprennent au moins l'une des caractéristiques parmi : la largeur de l'impulsion, la fréquence porteuse de l'impulsion et la modulation intra-impulsion intentionnelle.

5 Le procédé de localisation comprend une étape 120 de découpage de la durée de fonctionnement en tranches de temps Δt_i de même durée. Le procédé comprend également la définition d'une durée glissante ΔT au moins égale à la durée d'une tranche de temps Δt_i .

10 La durée de chaque tranche de temps Δt_i est liée à la durée maximale d'illumination à 3dB des radars. Par exemple, la durée de chaque tranche de temps est comprise entre 10 millisecondes (ms) et 100 ms.

Le procédé de localisation comprend, avantageusement, pour chaque tranche de temps Δt_i , une étape 130 de tri des impulsions reçues pendant la tranche de temps Δt_i , en fonction de la direction d'arrivée θ_k et d'au moins une caractéristique invariante CTI_j choisie parmi la ou les caractéristiques invariantes mesurées de chaque impulsion. A 15 l'issue de l'étape 130 de tri, des sous-séries d'impulsions $\{I(CTI_j, p, \theta_k, t, \dots)\}_{\Delta t_i}$ sont obtenues.

Les impulsions de chaque sous-série $\{I(CTI_j, p, \theta_k, t, \dots)\}_{\Delta t_i}$ ont des directions d'arrivée θ_k égales, des caractéristiques invariantes CTI_j égales et appartiennent à la 20 même tranche de temps Δt_i . De ce fait, chaque sous-série est caractérisée par une tranche de temps Δt_i , une direction d'arrivée θ_k et au moins une caractéristique invariante CTI_j .

Le procédé comprend une étape 140 d'identification, parmi les impulsions reçues, des impulsions reçues en direct et des impulsions reçues en réflexion.

25 Dans le mode de réalisation de la figure 7, l'étape d'identification 140 comprend une phase de création d'ensembles $\left\{ \left\{ I(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots) \right\}_{\Delta t_{i_{z1}}} , \left\{ I(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots) \right\}_{\Delta t_{i_{z2}}} , \dots \right\}_{\Delta T}$ de sous-séries. Les sous-séries de chaque ensemble $\left\{ \left\{ I(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots) \right\}_{\Delta t_{i_{z1}}} , \left\{ I(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots) \right\}_{\Delta t_{i_{z2}}} , \dots \right\}_{\Delta T}$ sont prises sur une même durée glissante ΔT , ont des directions d'arrivée θ_k égales et des caractéristiques invariantes CTI_j 30 égales.

L'étape d'identification 140 comprend également, pour chaque ensemble $\left\{ \left\{ I(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots) \right\}_{\Delta t_{i_{z1}}} , \left\{ I(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots) \right\}_{\Delta t_{i_{z2}}} , \dots \right\}_{\Delta T}$ de sous-séries, une phase de

détermination de la puissance maximale parmi les puissances des impulsions de l'ensemble considéré.

L'étape d'identification 140 comprend en outre, pour chaque ensemble $\left\{ \left\{ I \left(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{jz1}}, \left\{ I \left(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{jz2}}, \dots \right\}_{\Delta T}$, une phase d'identification des

5 impulsions reçues en direct et des impulsions reçues en réflexion.

L'étape d'identification 140 est, par exemple, mise en œuvre par comparaison de la puissance maximale déterminée par rapport à deux seuils.

Dans ce cas, lorsque la puissance maximale déterminée pour l'ensemble $\left\{ \left\{ I \left(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{jz1}}, \left\{ I \left(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{jz2}}, \dots \right\}_{\Delta T}$ considéré est supérieure ou égale à

10 un premier seuil, les impulsions des sous-séries de l'ensemble sont identifiées reçues en direct. Les sous-séries de l'ensemble correspondant sont alors appelées sous-séries directes et notées $\left\{ I \left(CTI_j, p, \theta_k, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{j,E}}$. Le premier seuil est, par exemple, choisi en fonction de la puissance rayonnée des sources E_i . La puissance rayonnée d'une source (abrégiée en PIRE) est le produit de la puissance injectée dans la ou les antennes de la source par le gain de la ou desdites antennes de la source.

15 Lorsque la puissance maximale déterminée pour l'ensemble $\left\{ \left\{ I \left(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{jz1}}, \left\{ I \left(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{jz2}}, \dots \right\}_{\Delta T}$ considéré est strictement inférieure à un deuxième seuil, les impulsions des sous-séries de l'ensemble sont identifiées reçues en réflexion. Les sous-séries de l'ensemble correspondants sont alors appelées sous-séries réfléchies et notées $\left\{ I \left(CTI_j, p, \theta_k, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{j,S}}$. Le deuxième seuil est inférieur ou égal au premier seuil. Le deuxième seuil est, par exemple, choisi en fonction de la puissance rayonnée des sources E_i et des surfaces équivalentes radars des réflecteur S_k .

20 Le procédé comprend, en outre, une étape 150 de regroupement par paire de sous-séries directes $\left\{ I \left(CTI_j, p, \theta_k, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{j,E}}$ avec des sous-séries réfléchies $\left\{ I \left(CTI_j, p, \theta_k, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{j,S}}$ ayant les mêmes caractéristiques invariantes CTI_j et des directions d'arrivée θ_k différentes.

L'étape de regroupement 150 comprend une phase de formation, à partir des ensembles $\left\{ \left\{ I \left(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{jz1}}, \left\{ I \left(CTI_{j_x}, p, \theta_{k_y}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{jz2}}, \dots \right\}_{\Delta T}$ précédemment formés, d'ensemble étendus de mêmes caractéristiques invariantes CTI_j et de directions d'arrivée θ_k différentes, comprenant au moins un émetteur et un réflecteur, soit ces ensembles étendus :

$$\left\{ \left\{ I \left(CTI_{j_x}, p, \Theta_{ky_1}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{z11}, E}, \left\{ I \left(CTI_{j_x}, p, \Theta_{ky_1}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{z21}, S}, \dots \right\}_{\Delta T},$$

$$\left\{ \left\{ I \left(CTI_{j_x}, p, \Theta_{ky_2}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{z12}, E}, \left\{ I \left(CTI_{j_x}, p, \Theta_{ky_2}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{z22}, S}, \dots \right\}_{\Delta T},$$

L'étape de regroupement 150 comprend, également, une phase de regroupement par paires des sous-séries directes avec des sous-séries réfléchies. Les impulsions de chaque paire ont les mêmes caractéristiques invariantes CTI_j , des directions d'arrivée différentes et appartiennent à une même tranche de temps Δt_i .

5 L'étape de regroupement 150 comprend, également, une phase de rassemblement des paires de chaque ensemble étendu pour former des groupes de deux paires, de trois paires ou de quatre paires distinctes. Le nombre de paires par groupe est égal au nombre de directions d'arrivée différentes des impulsions de l'ensemble étendu correspondant.

10 Chaque groupe regroupe les impulsions correspondant à l'une des quatre configurations géométriques des figures 2 à 5.

En particulier, pour la première configuration correspondant à la figure 2, les impulsions proviennent de deux directions d'arrivée distinctes, par conséquent des groupes de deux paires distinctes de sous-séries sont formés. Chaque groupe de deux

15 paires comprend :

- une première paire de sous-séries $\left\{ I \left(CTI_{j_{x1}}, \Theta_{ky_1}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{z1}, E} \cup \left\{ I \left(CTI_{j_{x1}}, \Theta_{ky_2}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{z1}, S}$ dont les impulsions ont des caractéristiques invariantes égales à une première caractéristique invariante ($CTI_{j_{x1}}$) et des directions d'arrivée ($\Theta_{ky_1}, \Theta_{ky_2}$) différentes, et
- 20 ○ une deuxième paire de sous-séries $\left\{ I \left(CTI_{j_{x2}}, \Theta_{ky_1}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{z2}, S} \cup \left\{ I \left(CTI_{j_{x2}}, \Theta_{ky_2}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{z2}, E}$ dont les impulsions ont des caractéristiques invariantes égales à une deuxième caractéristique invariante ($CTI_{j_{x2}}$) et ont les mêmes directions d'arrivée ($\Theta_{ky_1}, \Theta_{ky_2}$) différentes.

25 Pour la deuxième configuration correspondant aux figures 3 et 4, les impulsions proviennent de trois directions d'arrivée distinctes, par conséquent des groupes de trois paires distinctes de sous-séries sont formés. Chaque groupe de trois paires comprend :

- une première paire de sous-séries $\left\{ I \left(CTI_{j_{x1}}, \Theta_{ky_1}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{z1}, E} \cup \left\{ I \left(CTI_{j_{x1}}, \Theta_{ky_3}, t, \dots \right) \right\}_{\Delta t_{z1}, S}$, dont les impulsions ont
- 30 des caractéristiques invariantes égales à une première caractéristique

invariante ($CTI_{j_{x1}}$) et de directions d'arrivée égales respectivement à une première et à une deuxième direction d'arrivée ($\Theta_{ky1}, \Theta_{ky2}$) différentes l'une de l'autre,

- une deuxième paire de sous-séries $\{I(CTI_{j_{x1}}, \Theta_{ky1}, t, \dots)\}_{\Delta t_{z2}, E} \cup \{I(CTI_{j_{x1}}, \Theta_{ky2}, t, \dots)\}_{\Delta t_{z2}, S}$ dont les impulsions ont des caractéristiques invariantes égales à la première caractéristique invariante ($CTI_{j_{x1}}$) et des directions d'arrivée égales respectivement à la première et à une troisième direction d'arrivée ($\Theta_{ky1}, \Theta_{ky3}$), la troisième direction d'arrivée étant différente de la première et de la deuxième direction d'arrivée, et

- une troisième paire de sous-séries $\{I(CTI_{j_{x2}}, \Theta_{ky2}, t, \dots)\}_{\Delta t_{z3}, E} \cup \{I(CTI_{j_{x2}}, \Theta_{ky3}, t, \dots)\}_{\Delta t_{z3}, S}$ dont les impulsions ont des caractéristiques invariantes égales à une deuxième caractéristique invariante ($CTI_{j_{x2}}$) différente de la première caractéristique invariante et de directions d'arrivée égales respectivement à la deuxième et à la troisième direction d'arrivée ($\Theta_{ky2}, \Theta_{ky3}$).

Pour la troisième configuration correspondant à la figure 5, les impulsions proviennent de quatre directions d'arrivée distinctes, par conséquent des groupes de quatre paires distinctes de sous-séries sont formés. Chaque groupe de quatre paires comprend :

- une première paire de sous-séries $\{I(CTI_{j_{x1}}, \Theta_{ky1}, t, \dots)\}_{\Delta t_{z1}, E} \cup \{I(CTI_{j_{x1}}, \Theta_{ky3}, t, \dots)\}_{\Delta t_{z1}, S}$ dont les impulsions ont des caractéristiques invariantes égales à une première caractéristique invariante ($CTI_{j_{x1}}$) et de directions d'arrivée égales respectivement à une première et à une deuxième direction d'arrivée ($\Theta_{ky1}, \Theta_{ky3}$) différentes l'une de l'autre,

- une deuxième paire de sous-séries $\{I(CTI_{j_{x1}}, \Theta_{ky1}, t, \dots)\}_{\Delta t_{z2}, E} \cup \{I(CTI_{j_{x1}}, \Theta_{ky4}, t, \dots)\}_{\Delta t_{z2}, S}$ dont les impulsions ont des caractéristiques invariantes égales à la première caractéristique invariante ($CTI_{j_{x1}}$) et des directions d'arrivée égales respectivement à la première et à une troisième direction d'arrivée ($\Theta_{ky1}, \Theta_{ky4}$), la troisième direction d'arrivée étant différente de la première et de la deuxième

direction d'arrivée,

- une troisième paire de sous-séries $\left\{I\left(CTI_{j_{x2}}, \Theta_{ky2}, t, \dots\right)\right\}_{\Delta t_{z3}, E} \cup \left\{I\left(CTI_{j_{x2}}, \Theta_{ky3}, t, \dots\right)\right\}_{\Delta t_{z3}, S}$ dont les impulsions ont

des caractéristiques invariantes égales à une deuxième caractéristique invariante ($CTI_{j_{x2}}$) différente de la première caractéristique invariante et des directions d'arrivée égales respectivement à la troisième et à une quatrième direction d'arrivée ($\Theta_{ky2}, \Theta_{ky3}$), la quatrième direction d'arrivée étant différente de la première, de la deuxième et de la troisième direction d'arrivée, et

- une quatrième paire de sous-séries $\left\{I\left(CTI_{j_{x2}}, \Theta_{ky2}, t, \dots\right)\right\}_{\Delta t_{z4}, E} \cup \left\{I\left(CTI_{j_{x2}}, \Theta_{ky4}, t, \dots\right)\right\}_{\Delta t_{z4}, S}$ dont les impulsions ont

des caractéristiques invariantes égales à la deuxième caractéristique invariante ($CTI_{j_{x2}}$) et des directions d'arrivée égales respectivement à la troisième et à la quatrième direction d'arrivée ($\Theta_{ky2}, \Theta_{ky4}$).

Le procédé comprend également une étape 160 de calcul, pour chaque paire de sous-séries, de la différence entre la date d'arrivée des impulsions reçues par réflexion par rapport à la date d'arrivée des impulsions reçues en direct. De telles différences de dates d'arrivée résultent des différences de trajets géométriques entre les impulsions directes reçues et les impulsions réfléchies reçues issues des mêmes impulsions émises.

Le procédé comprend, en outre, une étape 170 de détermination de la distance d_i de chaque source E_i au détecteur R à partir des différences de dates d'arrivée calculées et des directions d'arrivée des impulsions de chaque paire.

L'étape de détermination 170 comprend une phase de le calcul d'un histogramme, pour chaque paire, à partir des différences de dates d'arrivée calculées pour ladite paire et la détermination d'un retard principal $\tau_{S_{y'}/E_y}$ des impulsions reçues en réflexion par rapport aux impulsions reçues en direct à partir de l'histogramme calculé.

Chaque retard principal $\tau_{S_{y'}/E_y}$ est affecté à son couple $\left\{I\left(CTI_{j_x}, \Theta_{ky}, t, \dots\right)\right\}_{\Delta t_{z,E}} \cup \left\{I\left(CTI_{j_x}, \Theta_{ky'}, t, \dots\right)\right\}_{\Delta t_{z,S}}$ ce qui peut alors être noté symboliquement de la façon suivante : $\left(CTI_{j_x}, \Theta_{ky}, \Theta_{ky'}, \Delta t_{z}, \tau_{S_{y'}/E_y}\right)$.

De préférence, l'étape de détermination 170 comprend, également, une phase de comparaison des valeurs de chaque retard principal $\tau_{S_{y'}/E_y}$ déterminé par rapport à une plage de valeurs de référence. La plage de valeurs de référence est, par exemple, choisie en fonction de considérations géométriques, liées aux directions d'arrivée et à des

hypothèses plausibles de distances dans les gammes d'intérêts. La plage de valeurs de référence s'étend, par exemple, au sens large entre 1 microseconde (μs) et 100 μs .

Avantageusement, la deuxième phase comprend également la comparaison du nombre d'occurrences relatif à chaque retard principal $\tau_{S_{y'}/E_y}$ déterminé par rapport à un seuil de référence. Le seuil de référence est, par exemple, choisi en fonction d'un pourcentage du nombre d'impulsions directes reçues pour chaque paire.

Au cours de la deuxième phase, les retards principaux $\tau_{S_{y'}/E_y}$ dont les valeurs ne sont pas comprises dans la plage de valeurs de référence et dont le nombre d'occurrences est strictement inférieur au seuil de référence, sont éliminés.

La deuxième phase permet donc de s'affranchir de valeurs aberrantes lorsque le retard principal $\tau_{S_{y'}/E_y}$ obtenu est en dehors de la plage de valeurs plausibles et des valeurs isolées et non significatives lorsque le nombre d'occurrences est en-dessous du seuil de référence.

Puis, l'étape de détermination 170 comprend une phase de calcul de la distance d_i de chaque source E_i au détecteur R, pour chaque configuration, à partir des retards principaux $\tau_{S_{y'}/E_y}$ calculés et des directions d'arrivée des impulsions de chaque paire.

Pour cela, la résolution du système d'équations (5.1) et (5.2) est effectuée.

En particulier, pour la première configuration de la figure 2, les deux paires $(CTI_{j_{x1}}, \theta_{ky1}, \theta_{ky2}, \Delta t_{I_z}, \tau_{S_{y2}/E_{y1}})$ et $(CTI_{j_{x2}}, \theta_{ky2}, \theta_{ky1}, \Delta t_{I_z}, \tau_{S_{y1}/E_{y2}})$ de chaque groupe permettent d'obtenir, d'une part, la distance bistatique $\Delta_{S_{y2}/E_{y1}} = c\tau_{S_{y2}/E_{y1}}$ et la différence de direction d'arrivée $\alpha_{E_{y1}S_{y2}} = \theta_{ky1} - \theta_{ky2}$ et, d'autre part, la distance bistatique $\Delta_{S_{y1}/E_{y2}} = c\tau_{S_{y1}/E_{y2}}$ et la différence de direction d'arrivée $\alpha_{E_{y2}S_{y1}} = \theta_{ky2} - \theta_{ky1}$.

Ces expressions de distances bistatiques et de différences de direction d'arrivée sont utilisées pour obtenir les coefficients du système d'équation (6) donnés par les expressions (9.1) et (9.2), soit :

$$(13.1) \begin{cases} b_{11} = \Delta_{S_{y1}/E_{y2}}^2 \\ b_{12} = -2\Delta_{S_{y1}/E_{y2}} \\ b_{13} = 2\Delta_{S_{y1}/E_{y2}} \\ b_{14} = -2 \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y2}S_{y1}}) \right) \end{cases}$$

$$\text{et (13.2)} \begin{cases} b_{21} = -\Delta_{S_{y2}/E_{y1}}^2 \\ b_{22} = -2\Delta_{S_{y2}/E_{y1}} \\ b_{23} = 2\Delta_{S_{y2}/E_{y1}} \\ b_{24} = 2 \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y1}S_{y2}}) \right) \end{cases}$$

Pour la deuxième configuration de la figure 3, les trois paires $(CTI_{jx1}, \theta_{ky1}, \theta_{ky2}, \Delta t_{Iz}, \tau_{Sy2/Ey1})$, $(CTI_{jx1}, \theta_{ky1}, \theta_{ky3}, \Delta t_{Iz}, \tau_{Sy3/Ey1})$ et $(CTI_{jx2}, \theta_{ky2}, \theta_{ky3}, \Delta t_{Iz}, \tau_{Sy3/Ey2})$ de chaque groupe permettent d'obtenir :

- la distance bistatique $\Delta_{Sy2/Ey1} = c\tau_{Sy2/Ey1}$ et la différence de direction d'arrivée

$$\alpha_{Ey1Sy2} = \theta_{ky1} - \theta_{ky2},$$

- la distance bistatique $\Delta_{Sy3/Ey1} = c\tau_{Sy3/Ey1}$ et la différence de direction d'arrivée

$$\alpha_{Ey1Sy3} = \theta_{ky1} - \theta_{ky3}, \text{ et}$$

- la distance bistatique $\Delta_{Sy3/Ey2} = c\tau_{Sy3/Ey2}$ et la différence de direction d'arrivée

$$\alpha_{Ey2Sy3} = \theta_{ky2} - \theta_{ky3}.$$

Ces expressions de distances bistatiques et de différences de direction d'arrivée sont utilisées pour obtenir les coefficients du système d'équation (6) donnés par les expressions (9.2) et (9.3), soit :

$$(13.3) \begin{cases} b_{11} = 2 \Delta_{Sy3/Ey1} \cdot \Delta_{Sy3/Ey2} (\Delta_{Sy3/Ey1} - \Delta_{Sy3/Ey2}) \\ b_{12} = 2 \Delta_{Sy3/Ey2} \left(2\Delta_{Sy3/Ey1} - \Delta_{Sy3/Ey2} (1 - \cos(\alpha_{Ey1Sy3})) \right) \\ b_{13} = 2 \Delta_{Sy3/Ey1} \left(-2\Delta_{Sy3/Ey2} + \Delta_{Sy3/Ey1} (1 - \cos(\alpha_{Ey2Sy3})) \right) \\ b_{14} = 4 \Delta_{Sy3/Ey1} (1 - \cos(\alpha_{Ey2Sy3})) - 4\Delta_{Sy3/Ey2} (1 - \cos(\alpha_{Ey1Sy3})) \end{cases}$$

$$\text{et (13.2)} \begin{cases} b_{21} = -\Delta_{Sy2/Ey1}^2 \\ b_{22} = -2\Delta_{Sy2/Ey1} \\ b_{23} = 2\Delta_{Sy2/Ey1} \\ b_{24} = 2 (1 - \cos(\alpha_{Ey1Sy2})) \end{cases}$$

Pour la deuxième configuration de la figure 4, les trois paires $(CTI_{jx1}, \theta_{ky1}, \theta_{ky4}, \Delta t_{Iz}, \tau_{Sy4/Ey1})$, $(CTI_{jx2}, \theta_{ky2}, \theta_{ky1}, \Delta t_{Iz}, \tau_{Sy1/Ey2})$ et $(CTI_{jx2}, \theta_{ky2}, \theta_{ky4}, \Delta t_{Iz}, \tau_{Sy4/Ey2})$ de chaque groupe permettent d'obtenir :

- la distance bistatique $\Delta_{Sy4/Ey1} = c\tau_{Sy4/Ey1}$ et la différence de direction d'arrivée

$$\alpha_{Ey1Sy4} = \theta_{ky1} - \theta_{ky4},$$

- la distance bistatique $\Delta_{Sy1/Ey2} = c\tau_{Sy1/Ey2}$ et la différence de direction d'arrivée

$$\alpha_{Ey2Sy1} = \theta_{ky2} - \theta_{ky1}, \text{ et}$$

- la distance bistatique $\Delta_{Sy4/Ey2} = c\tau_{Sy4/Ey2}$ et la différence de direction d'arrivée

$$\alpha_{Ey2Sy4} = \theta_{ky2} - 2\theta_{ky4}.$$

Ces expressions de distances bistatiques et de différences de direction d'arrivée sont utilisées pour obtenir les coefficients du système d'équation (6) donnés par les expressions (9.1) et (9.3), soit :

$$(13.1) \begin{cases} b_{11} = \Delta_{S_{y1}/E_{y2}}^2 \\ b_{12} = -2\Delta_{S_{y1}/E_{y2}} \\ b_{13} = 2\Delta_{S_{y1}/E_{y2}} \\ b_{14} = -2 \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y2}S_{y1}}) \right) \end{cases}$$

5

$$\text{Et (13.4)} \begin{cases} b_{21} = 2 \Delta_{S_{y4}/E_{y1}} \cdot \Delta_{S_{y4}/E_{y2}} \left(\Delta_{S_{y4}/E_{y1}} - \Delta_{S_{y4}/E_{y2}} \right) \\ b_{22} = 2 \Delta_{S_{y4}/E_{y2}} \left(2\Delta_{S_{y4}/E_{y1}} - \Delta_{S_{y4}/E_{y2}} \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y1}S_{y4}}) \right) \right) \\ b_{23} = 2 \Delta_{S_{y4}/E_{y1}} \left(-2\Delta_{S_{y4}/E_{y2}} + \Delta_{S_{y4}/E_{y1}} \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y2}S_{y4}}) \right) \right) \\ b_{24} = 4 \Delta_{S_{y4}/E_{y1}} \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y2}S_{y4}}) \right) - 4\Delta_{S_{y4}/E_{y2}} \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y1}S_{y4}}) \right) \end{cases}$$

Pour la troisième configuration de la figure 5, les quatre paires $(CTI_{jx1}, \theta_{ky1}, \theta_{ky3}, \Delta t_{l_z}, \tau_{S_{y4}/E_{y1}})$, $(CTI_{jx1}, \theta_{ky1}, \theta_{ky4}, \Delta t_{l_z}, \tau_{S_{y4}/E_{y1}})$, $(CTI_{jx2}, \theta_{ky2}, \theta_{ky3}, \Delta t_{l_z}, \tau_{S_{y3}/E_{y2}})$ et $(CTI_{jx2}, \theta_{ky2}, \theta_{ky4}, \Delta t_{l_z}, \tau_{S_{y4}/E_{y2}})$ de chaque groupe permettent d'obtenir :

10

- la distance bistatique $\Delta_{S_{y3}/E_{y1}} = c\tau_{S_{y3}/E_{y1}}$ et la différence de direction d'arrivée

$$\alpha_{E_{y1}S_{y3}} = \theta_{ky1} - \theta_{ky3},$$

- la distance bistatique $\Delta_{S_{y4}/E_{y1}} = c\tau_{S_{y4}/E_{y1}}$ et la différence de direction d'arrivée

$$\alpha_{E_{y1}S_{y4}} = \theta_{ky1} - \theta_{ky4},$$

- la distance bistatique $\Delta_{S_{y3}/E_{y2}} = c\tau_{S_{y3}/E_{y2}}$ et la différence de direction d'arrivée

$$\alpha_{E_{y2}S_{y3}} = \theta_{ky2} - \theta_{ky3}, \text{ et}$$

15

- la distance bistatique $\Delta_{S_{y4}/E_{y2}} = c\tau_{S_{y4}/E_{y2}}$ et la différence de direction d'arrivée

$$\alpha_{E_{y2}S_{y4}} = \theta_{ky2} - \theta_{ky4}.$$

Ces expressions de distances bistatiques et de différences de direction d'arrivée sont utilisées pour obtenir les coefficients du système d'équation (6) donnés par les expressions (9.3) et (9.4), soit :

20

$$(13.3) \begin{cases} b_{11} = 2 \Delta_{S_{y3}/E_{y1}} \cdot \Delta_{S_{y3}/E_{y2}} \left(\Delta_{S_{y3}/E_{y1}} - \Delta_{S_{y3}/E_{y2}} \right) \\ b_{12} = 2 \Delta_{S_{y3}/E_{y2}} \left(2\Delta_{S_{y3}/E_{y1}} - \Delta_{S_{y3}/E_{y2}} \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y1}S_{y3}}) \right) \right) \\ b_{13} = 2 \Delta_{S_{y3}/E_{y1}} \left(-2\Delta_{S_{y3}/E_{y2}} + \Delta_{S_{y3}/E_{y1}} \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y2}S_{y3}}) \right) \right) \\ b_{14} = 4 \Delta_{S_{y3}/E_{y1}} \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y2}S_{y3}}) \right) - 4\Delta_{S_{y3}/E_{y2}} \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y1}S_{y3}}) \right) \end{cases}$$

$$\text{et (13.4)} \quad \begin{cases} b_{21} = 2 \Delta_{S_{y4}/E_{y1}} \cdot \Delta_{S_{y4}/E_{y2}} \left(\Delta_{S_{y4}/E_{y1}} - \Delta_{S_{y4}/E_{y2}} \right) \\ b_{22} = 2 \Delta_{S_{y4}/E_{y2}} \left(2\Delta_{S_{y4}/E_{y1}} - \Delta_{S_{y4}/E_{y2}} \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y1}S_{y4}}) \right) \right) \\ b_{23} = 2 \Delta_{S_{y4}/E_{y1}} \left(-2\Delta_{S_{y4}/E_{y2}} + \Delta_{S_{y4}/E_{y1}} \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y2}S_{y4}}) \right) \right) \\ b_{24} = 4 \Delta_{S_{y4}/E_{y1}} \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y2}S_{y4}}) \right) - 4\Delta_{S_{y4}/E_{y2}} \left(1 - \cos(\alpha_{E_{y1}S_{y4}}) \right) \end{cases}$$

La distance d_{y2} de la deuxième source E_2 au détecteur R est donnée par l'expression (12) dont les coefficients sont ceux des expressions (11.2), (11.3) et (11.4) correspondant aux valeurs des b_{ij} précédemment obtenues (13.1), (13.2), (13.3) ou (13.4) selon les configurations.

La distance d_{y1} de la première source E_1 au détecteur R est donnée par l'expression (10).

La distance RS_{y3} du premier réflecteur S_{y3} au détecteur R est donnée par l'expression (3), on obtient donc :

$$RS_{y3} = \frac{\Delta_{S_{y3}/E_{y2}}^2 + 2\Delta_{S_{y3}/E_{y2}} \cdot d_{y2}}{2\Delta_{S_{y3}/E_{y2}} + 2d_{y2}(1 - \cos(\alpha_{E_{y2}S_{y3}}))} \quad (14)$$

La distance RS_{y4} du deuxième réflecteur S_{y4} au détecteur R est donnée par l'expression (3) on obtient donc :

$$RS_{y4} = \frac{\Delta_{S_{y4}/E_{y2}}^2 + 2\Delta_{S_{y4}/E_{y2}} \cdot d_{y2}}{2\Delta_{S_{y4}/E_{y2}} + 2d_{y2}(1 - \cos(\alpha_{E_{y2}S_{y4}}))} \quad (15)$$

Le procédé décrit permet donc la localisation de sources $E_1, \dots, E_n$ à partir d'un unique détecteur quasi-statique par rapport aux sources à localiser. Un tel procédé permet également la localisation des réflecteurs situés dans l'environnement des sources à localiser.

Plus précisément, un tel procédé permet de localiser deux sources dans un environnement comprenant au moins lesdites sources et deux réflecteurs quelle que soit la configuration des sources et des réflecteurs à la seule condition que les réflecteurs ne soient pas colocalisés entre eux et que les sources ne soient pas colocalisées entre elles.

La procédure propose de résoudre un seul système d'équations pour l'ensemble des configurations possibles avec des coefficients spécifiques à chacune desdites configurations.

La localisation des sources est basée uniquement sur des mesures de directions d'arrivée et de dates d'arrivée des impulsions radar provenant directement des émetteurs et indirectement de ceux-ci via des réflexions sur les objets matériels réflecteurs de l'environnement.

REVENDICATIONS

1.- Procédé de localisation d'au moins deux sources (E_1 , E_2) d'émission d'impulsions électromagnétiques dans un environnement, l'environnement comprenant au moins deux réflecteurs (S_1 , S_2), le procédé comprenant les étapes de :

- réception, par un détecteur (R), pour chaque source (E_1 , E_2) à localiser, pendant une durée de fonctionnement du détecteur (R), d'au moins une même impulsion émise, reçue d'une part en direct de ladite source (E_1 , E_2) et reçue d'autre part par réflexion sur l'un des réflecteurs (S_1 , S_2),

- mesure de la direction d'arrivée (θ_{ky}), de la date d'arrivée (t) et d'au moins une caractéristique invariante (CTI_{jx}) de chaque impulsion reçue,

caractérisé en ce que le procédé comprend, en outre, les étapes de :

- identification, parmi les impulsions reçues, des impulsions reçues en direct et des impulsions reçues en réflexion,

- regroupement par paire d'impulsions reçues en direct avec des impulsions reçues en réflexion, les impulsions de chaque paire ayant les mêmes caractéristiques invariantes (CTI_{jx}) et des directions d'arrivée (θ_{ky}) différentes,

- calcul, pour chaque paire, de la différence entre la date d'arrivée (t) de l'impulsion reçue par réflexion par rapport à la date d'arrivée (t) de l'impulsion reçue en direct, et

- détermination de la distance (d) de chaque source (E_1 , E_2) au détecteur (R) à partir des différences de dates d'arrivée calculées et des directions d'arrivée (θ_{ky}) des impulsions de chaque paire.

2.- Procédé selon la revendication 1, dans lequel la durée de fonctionnement est formée de tranches de temps (Δt_i) de durées identiques, le procédé comprenant la définition d'une durée glissante (ΔT) au moins égale à la durée d'une tranche de temps (Δt_i), les étapes d'identification et de regroupement étant mises en œuvre sur la durée glissante (ΔT), les impulsions de chaque paire appartenant à une même tranche de temps.

3.- Procédé selon la revendication 2, dans lequel le procédé comprend, en outre, pour chaque tranche de temps (Δt_i), une étape de tri des impulsions reçues en fonction de la direction d'arrivée (θ_{ky}) et des caractéristiques invariantes (CTI_{jx}) de chaque impulsion pour obtenir des sous-séries d'impulsions, les impulsions de chaque sous-série ayant des directions d'arrivée (θ_{ky}) égales et des caractéristiques invariantes (CTI_{jx}) égales, les

impulsions de chaque sous-série étant regroupées dans une même paire lors de l'étape de regroupement.

4.- Procédé selon la revendication 3, dans lequel l'étape de mesure comprend, en outre, la détermination, sur les sous-séries successives de chaque durée glissante (ΔT), de la puissance maximale parmi les puissances des impulsions des sous-séries ayant des directions d'arrivée (Θ_{ky}) égales, des caractéristiques invariantes (CTI_{jx}) égales et appartenant à une même durée glissante (ΔT), les impulsions reçues en direct et les impulsions reçues en réflexion étant identifiées, pour chaque sous-série d'impulsions, par comparaison de la puissance maximale déterminée pour ladite sous-série par rapport à au moins deux seuils.

5.- Procédé selon la revendication 4, dans lequel les impulsions des sous-séries associées à ladite puissance maximale sont identifiées reçues en direct lorsque la puissance maximale est supérieure ou égale à un premier seuil et les impulsions des sous-séries associées à ladite puissance maximale sont identifiées reçues en réflexion lorsque la puissance maximale est strictement inférieure à un deuxième seuil, le deuxième seuil étant inférieur ou égal au premier seuil.

6.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'étape de détermination comprend le rassemblement des paires sur des durées prédéterminées pour former des groupes de deux paires, de trois paires ou de quatre paires, le nombre de paires par groupe étant égal au nombre de directions d'arrivées (Θ_{ky}) différentes correspondant aux impulsions reçues sur la durée prédéterminée, la distance (d) de chaque source (E_1 , E_2) au détecteur (R) étant déterminée à partir des différences de dates d'arrivée calculées pour les paires de chaque groupe et des directions d'arrivée (Θ_{ky}) des impulsions des paires de chaque groupe,

chaque groupe de deux paires comprenant :

- une première paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à une première caractéristique invariante (CTI_{jx1}), de directions d'arrivée (Θ_{ky1} , Θ_{ky2}) différentes, et
- une deuxième paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à une deuxième caractéristique invariante (CTI_{jx2}) et de mêmes directions d'arrivée (Θ_{ky1} , Θ_{ky2}) différentes,

chaque groupe de trois paires comprenant :

- une première paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à une première caractéristique invariante ($CTI_{j_{x1}}$), de directions d'arrivée égales respectivement à une première et à une deuxième direction d'arrivée ($\Theta_{ky1}, \Theta_{ky2}$) différentes l'une de l'autre,
 - 5 ○ une deuxième paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à la première caractéristique invariante ($CTI_{j_{x1}}$), de directions d'arrivée égales respectivement à la première et à une troisième direction d'arrivée ($\Theta_{ky1}, \Theta_{ky3}$), la troisième direction d'arrivée étant différente de la première et de la deuxième direction d'arrivée, et
 - 10 ○ une troisième paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à une deuxième caractéristique invariante ($CTI_{j_{x2}}$) différente de la première caractéristique invariante, de directions d'arrivée égales respectivement à la deuxième et à la troisième direction d'arrivée ($\Theta_{ky2}, \Theta_{ky3}$),
- chaque groupe de quatre paires comprenant :
- 15 ○ une première paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à une première caractéristique invariante ($CTI_{j_{x1}}$), de directions d'arrivée égales respectivement à une première et à une deuxième direction d'arrivée ($\Theta_{ky1}, \Theta_{ky3}$) différentes l'une de l'autre,
 - 20 ○ une deuxième paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à la première caractéristique invariante ($CTI_{j_{x1}}$) de directions d'arrivée égales respectivement à la première et à une troisième direction d'arrivée ($\Theta_{ky1}, \Theta_{ky4}$), la troisième direction d'arrivée étant différente de la première et de la deuxième direction d'arrivée,
 - 25 ○ une troisième paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à une deuxième caractéristique invariante ($CTI_{j_{x2}}$) différente de la première caractéristique invariante, de directions d'arrivée égales respectivement à la troisième et à une quatrième direction d'arrivée ($\Theta_{ky2}, \Theta_{ky3}$), la quatrième direction d'arrivée étant différente de la première, de la deuxième et de la troisième direction d'arrivée, et
 - 30 ○ une quatrième paire d'impulsions de caractéristiques invariantes égales à la deuxième caractéristique invariante ($CTI_{j_{x2}}$), de directions d'arrivée égales respectivement à la troisième et à la quatrième direction d'arrivée ($\Theta_{ky2}, \Theta_{ky4}$).

7.- Procédé selon la revendication 6, dans lequel chaque groupe permet de déterminer les distances (d_1 , d_2) respectives de deux des sources (E_1 , E_2) à localiser au détecteur (R), lesdites distances (d_1 , d_2) étant calculées :

- pour chaque groupe de deux paires d'impulsions à partir des équations suivantes :

$$\begin{cases} d_1 = \frac{\Delta_{S_1/E_2}^2 + 2\Delta_{S_1/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_1/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_1}))} \\ d_2 = \frac{\Delta_{S_2/E_1}^2 + 2\Delta_{S_2/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_2/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_2}))} \end{cases}$$

- pour chaque groupe de trois paires d'impulsions à partir des équations suivantes :

$$\begin{cases} \frac{\Delta_{S_1/E_1}^2 + 2\Delta_{S_1/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_1/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_1}))} = \frac{\Delta_{S_1/E_2}^2 + 2\Delta_{S_1/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_1/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_1}))} \\ d_2 = \frac{\Delta_{S_2/E_1}^2 + 2\Delta_{S_2/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_2/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_2}))} \end{cases}$$

ou

$$\begin{cases} d_1 = \frac{\Delta_{S_1/E_2}^2 + 2\Delta_{S_1/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_1/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_1}))} \\ \frac{\Delta_{S_2/E_1}^2 + 2\Delta_{S_2/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_2/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_2}))} = \frac{\Delta_{S_2/E_2}^2 + 2\Delta_{S_2/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_2/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_2}))} \end{cases}$$

- pour chaque groupe de quatre paires d'impulsions à partir des équations suivantes :

$$\begin{cases} \frac{\Delta_{S_1/E_1}^2 + 2\Delta_{S_1/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_1/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_1}))} = \frac{\Delta_{S_1/E_2}^2 + 2\Delta_{S_1/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_1/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_1}))} \\ \frac{\Delta_{S_2/E_1}^2 + 2\Delta_{S_2/E_1} \cdot d_1}{2\Delta_{S_2/E_1} + 2d_1(1 - \cos(\alpha_{E_1S_2}))} = \frac{\Delta_{S_2/E_2}^2 + 2\Delta_{S_2/E_2} \cdot d_2}{2\Delta_{S_2/E_2} + 2d_2(1 - \cos(\alpha_{E_2S_2}))} \end{cases}$$

Où

- $\Delta_{S_1/E_1} = c \cdot \tau_{S_1/E_1}$, $\Delta_{S_2/E_2} = c \cdot \tau_{S_2/E_2}$, $\Delta_{S_1/E_2} = c \cdot \tau_{S_1/E_2}$, $\Delta_{S_2/E_1} = c \cdot \tau_{S_2/E_1}$,
- d_1 est la distance de la première source E_1 au détecteur (R),
- d_2 est la distance de la deuxième source E_2 au détecteur (R),
- c est la vitesse de propagation des ondes électromagnétiques,
- τ_{S_1/E_1} est la différence de date d'arrivée entre les impulsions reçues par réflexion sur un premier réflecteur par rapport aux impulsions reçues en direct de la première source,
- τ_{S_2/E_2} est la différence de date d'arrivée entre les impulsions reçues par réflexion sur un deuxième réflecteur par rapport aux impulsions reçues en

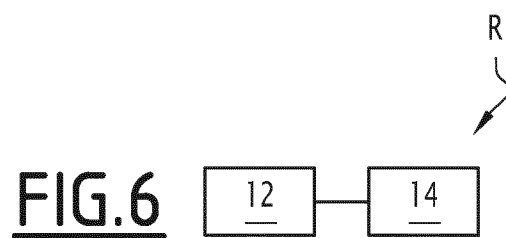
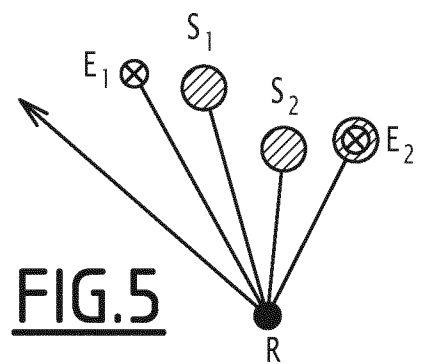
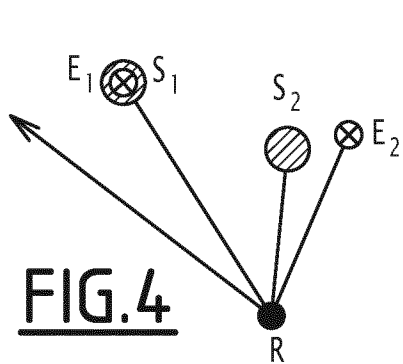
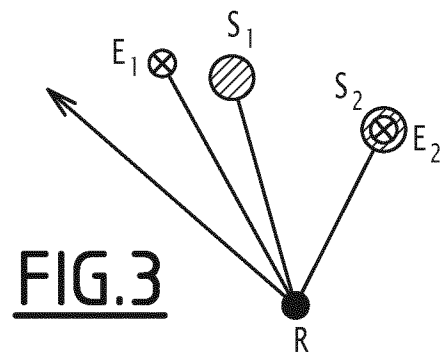
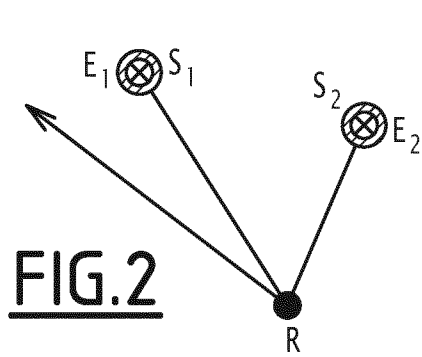
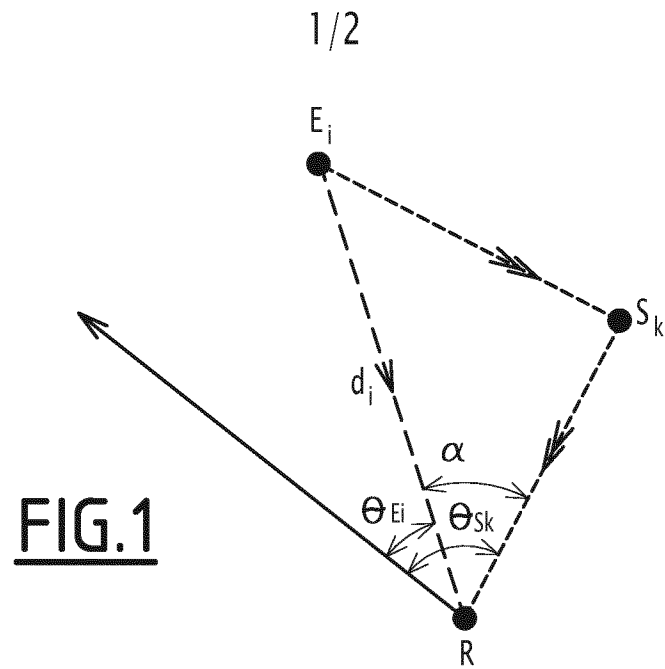
direct de la deuxième source,

- τ_{S_1/E_2} est la différence de date d'arrivée entre les impulsions reçues par réflexion sur le premier réflecteur par rapport aux impulsions reçues en direct de la deuxième source,
- 5 • τ_{S_2/E_1} est la différence de date d'arrivée entre les impulsions reçues par réflexion sur le deuxième réflecteur par rapport aux impulsions reçues en direct de la première source,
- $\alpha_{E_2S_2}$ est l'écart angulaire entre la deuxième source et le deuxième réflecteur vu depuis le détecteur (R),
- 10 • $\alpha_{E_1S_1}$ est l'écart angulaire entre la première source et le premier réflecteur vu depuis le détecteur (R),
- $\alpha_{E_2S_1}$ est l'écart angulaire entre la deuxième source et le premier réflecteur vu depuis le détecteur (R), et
- $\alpha_{E_1S_2}$ est l'écart angulaire entre la deuxième source et le premier réflecteur vu depuis le détecteur (R).
- 15

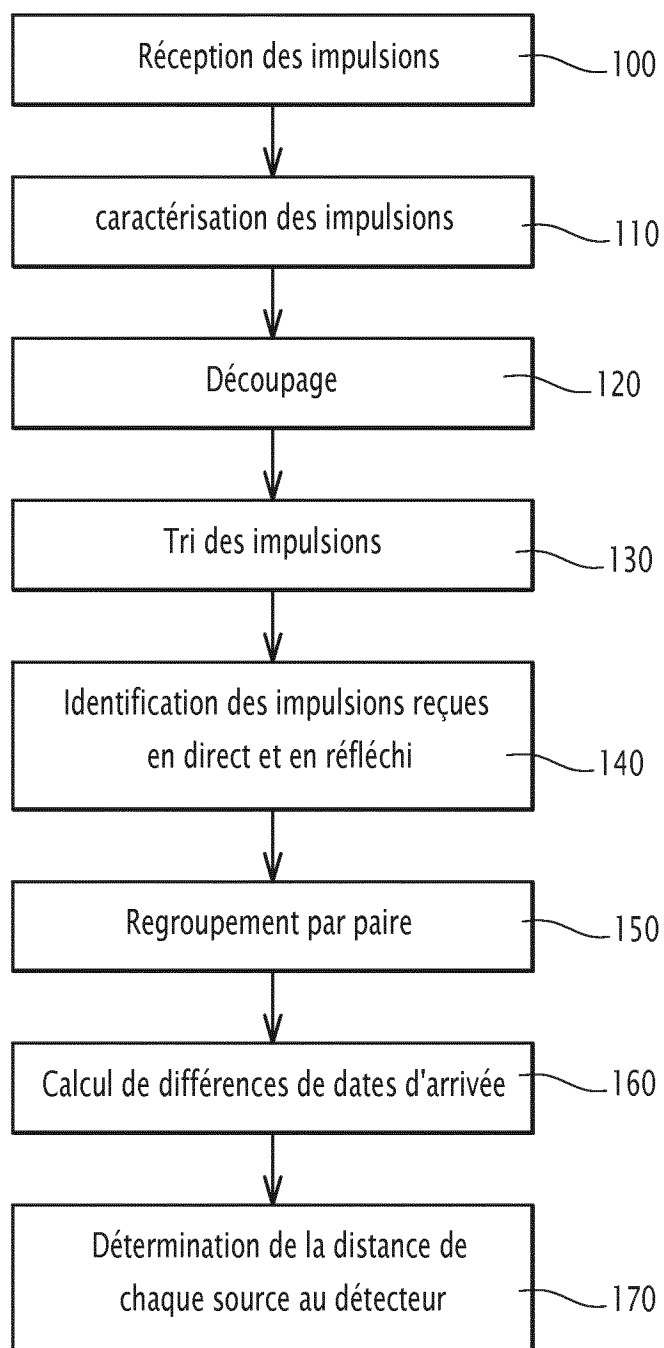
8.- Procédé selon la revendication 7, dans lequel l'étape de détermination comprend le calcul d'un histogramme, pour chaque paire, à partir des différences de dates d'arrivée calculées pour ladite paire et la détermination d'un retard principal des impulsions reçues en réflexion par rapport aux impulsions reçues en direct à partir de l'histogramme calculé, les différences de date d'arrivée (τ_{S_1/E_1} , τ_{S_2/E_2} , τ_{S_1/E_2} , τ_{S_2/E_1}) des équations de la revendication 7 étant égales respectivement à l'un des retards principaux déterminés.

9.- Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel les caractéristiques invariantes (CTI_{j_x}) de chaque impulsion comprennent au moins l'une des caractéristiques parmi : la largeur de l'impulsion, la fréquence porteuse de l'impulsion et la modulation intra-impulsion intentionnelle.

10.- Détecteur (R) de localisation d'au moins deux sources (E_1 , E_2) d'émission d'impulsions électromagnétiques dans un environnement, l'environnement comprenant au moins deux réflecteurs (S_1 , S_2), le détecteur (R) étant propre à mettre en œuvre les étapes du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 9.



2/2

**FIG.7**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/081069

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01S11/02 G01S5/02
ADD. G01S5/12

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, COMPENDEX, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2011/140966 A1 (FERREOL ANNE [FR] ET AL) 16 June 2011 (2011-06-16) paragraphs [0003] - [0020] paragraphs [0034] - [0048] paragraphs [0051], [0062] paragraphs [0058] - [0065] paragraphs [0069], [0131] -----	1-10
A	EP 2 428 810 A1 (THALES SA [FR]; CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]) 14 March 2012 (2012-03-14) the whole document -----	1-10
A	US 2015/323642 A1 (MUTZ MATTHIEU [FR] ET AL) 12 November 2015 (2015-11-12) the whole document -----	1-10



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

2 March 2017

Date of mailing of the international search report

15/03/2017

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

Naddeo, Giovanni

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/081069

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2011140966 A1	16-06-2011	AT 528660 T EP 2215492 A1 FR 2924228 A1 IL 205918 A US 2011140966 A1 WO 2009065943 A1	15-10-2011 11-08-2010 29-05-2009 31-03-2015 16-06-2011 28-05-2009
EP 2428810 A1	14-03-2012	EP 2428810 A1 ES 2442515 T3 FR 2964465 A1 IL 214988 A	14-03-2012 12-02-2014 09-03-2012 30-11-2015
US 2015323642 A1	12-11-2015	EP 2867691 A1 US 2015323642 A1 WO 2014001651 A1	06-05-2015 12-11-2015 03-01-2014

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2016/081069

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01S11/02 G01S5/02 ADD. G01S5/12		
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, COMPENDEX, INSPEC		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2011/140966 A1 (FERREOL ANNE [FR] ET AL) 16 juin 2011 (2011-06-16) alinéas [0003] - [0020] alinéas [0034] - [0048] alinéas [0051], [0062] alinéas [0058] - [0065] alinéas [0069], [0131] -----	1-10
A	EP 2 428 810 A1 (THALES SA [FR]; CENTRE NAT RECH SCIENT [FR]) 14 mars 2012 (2012-03-14) le document en entier -----	1-10
A	US 2015/323642 A1 (MUTZ MATTHIEU [FR] ET AL) 12 novembre 2015 (2015-11-12) le document en entier -----	1-10
☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ 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 2 mars 2017		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 15/03/2017
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 Naddeo, Giovanni

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2016/081069

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2011140966	A1	16-06-2011	AT 528660 T	15-10-2011
			EP 2215492 A1	11-08-2010
			FR 2924228 A1	29-05-2009
			IL 205918 A	31-03-2015
			US 2011140966 A1	16-06-2011
			WO 2009065943 A1	28-05-2009

EP 2428810	A1	14-03-2012	EP 2428810 A1	14-03-2012
			ES 2442515 T3	12-02-2014
			FR 2964465 A1	09-03-2012
			IL 214988 A	30-11-2015

US 2015323642	A1	12-11-2015	EP 2867691 A1	06-05-2015
			US 2015323642 A1	12-11-2015
			WO 2014001651 A1	03-01-2014
