



(51) Classification internationale des brevets :
G01S 3/06 (2006.01) *G01K 11/00* (2006.01)
G01S 13/90 (2006.01) *G01V 3/17* (2006.01)
G01S 13/95 (2006.01) *G01S 7/40* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2010/050739

(22) Date de dépôt international :
16 avril 2010 (16.04.2010)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0953787 8 juin 2009 (08.06.2009) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES [FR/
FR]; 2, Place Maurice Quentin, F-75001 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **CABOT, François** [FR/FR]; La Gravelle, F-31450 Odars (FR). **KERR, Yann** [FR/FR]; 1, Place Dupuy, F-31000 Toulouse (FR). **RICHAUME, Philippe** [FR/FR]; 8, rue de l'Obélisque, F-31500 Toulouse (FR). **SOUYRIS, Jean-Claude** [FR/FR]; 1, Rond point Micocouliers,

F-31520 Ramonville Saint Agne (FR). **ROUGE, Bernard** [FR/FR]; 19 Rue Bonnat, F-31400 Toulouse (FR).

(74) Mandataires : **JACOBSON, Claude** et al.; Cabinet LAVOIX, 2 Place d'Estienne d'Orves, F-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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (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, SE, SI, SK, SM,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : METHOD AND SYSTEM FOR RADIOMETRIC IMAGING WITH SPATIO-TEMPORAL OPENING SYNTHESIS

(54) Titre : PROCÉDÉ ET SYSTÈME D'IMAGERIE RADIOMÉTRIQUE À SYNTHÈSE D'OUVERTURE SPATIO-TEMPORELLE

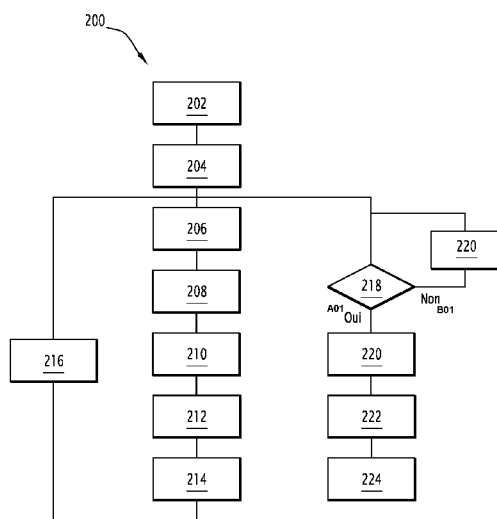


FIG.5

A01... YES
B01... NO

(57) Abstract : The invention relates to a method for the radiometric imaging of a surface of the Earth using a passive array antenna including elementary antennas (A(k)) arranged onboard at least one mobile satellite relative to the surface, including an allocation step (214) upon each analytic measurement of the measured electromagnetic field (E(k,t(i))), an index (k) for identifying the corresponding elementary antenna (A(k)) and a precise sampling date (t(i)) corresponding to the measurement. The step comprises an image reconstruction step (224) from a spatio-temporal visibility function including a set of visibility coefficients, at least one visibility coefficient being equal to the correlation of two measurement vectors M(k,j), M(k', j') developed from electromagnetic field measurements and having different sampling indices (j, j').

(57) Abrégé : Procédé d'imagerie radiométrique d'une surface de la Terre utilisant une antenne réseau passive, formée d'antennes élémentaires (A(k)) disposées à bord d'au moins un satellite mobile par rapport à la surface, comprenant une étape d'affectation (214) à chaque mesure analytique de champ électromagnétique (E(k,t(i))) mesuré un indice (k) d'identification de l'antenne élémentaire correspondante A(k) et une date (t(i)) d'échantillonnage précise correspondante de mesure. L'étape comprend une étape de construction (224) d'image à partir d'une fonction de visibilité spatio-temporelle comprenant un ensemble de coefficients de visibilité, au moins un coefficient de visibilité étant égale à la corrélation de deux vecteurs de mesure M(k,j), M(k', j') élaborés à partir des mesures de champs électromagnétiques et dont les indices d'échantillonnage j, j' sont distincts.

WO 2010/142876 A1



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

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

Procédé et système d'imagerie radiométrique à synthèse d'ouverture spatio-temporelle

L'invention se rapporte à un procédé d'imagerie à synthèse d'ouverture
5 utilisant un radiomètre d'imagerie embarqué à bord d'au moins un satellite et le système d'imagerie correspondant de mise en œuvre du procédé.

Des satellites d'observation de la Terre comme par exemple le satellite
SMOS (dénomination anglaise de Soil Moisture and Ocean Salinity) ont été déve-
loppés pour mesurer les températures de brillance sous forme de rayonnements
10 électromagnétiques polarisés multi-angulaires du sol et des océans avec une grande possibilité de revisite, typiquement une période de trois jours, et poursuivre ainsi l'évolution de l'humidité des sols et la salinité des océans.

Le satellite SMOS parcourt une orbite héliosynchrone à l'altitude de 755
km et à la vitesse de 7 km/s suivant une période de 100 minutes.

15 Le radiomètre d'imagerie embarqué à bord du satellite SMOS fonctionne en bande L dans une bande de 17 MHz autour de la fréquence correspondant à une longueur d'onde de 21 cm.

Le radiomètre d'imagerie est constitué de 54 antennes élémentaires dis-
posées par groupe de dix huit sur trois pales d'un rotor en forme de « Y ».

20 Les antennes élémentaires sont associées chacune à un récepteur distinct et sont reliées au travers des récepteurs et d'un harnais constitué de fibres optiques à un corrélateur de sortie codée sur un bit permettant de corrélérer les champs électriques reçus par chaque paire d'antennes élémentaires.

Les longueurs des fibres optiques formant le harnais sont quasi identiques
25 et la précision de positionnement des antennes sur les pales est de 3 mm. Le satellite lorsqu'il est en service est incliné d'un angle de 31,2 degrés par rapport à la direction nadir.

La fauchée dénommée snap-shot en anglais étant d'environ 1000 km, le
pixel de l'image construite par un procédé de synthèse d'ouverture spatial est égal
30 à 40 km et le temps d'intégration pour calculer la corrélation pour une paire quelconque d'antennes élémentaires est égal à 1,2 secondes.

La taille du pixel est égale à la résolution géométrique de l'imageur et le
temps d'intégration constitutif d'une fauchée.

Ainsi, une centaine de fauchées consécutives permettent l'acquisition du même pixel pour différents angles d'incidences compris entre 0 et 55 degrés.

En outre la sensibilité radiométrique appelée également résolution radiométrique est comprise entre 3,5 et 5,8° K.

5 Le temps d'échantillonnage de chaque mesure élémentaire de champ électrique reçu par une antenne élémentaire est égal à 10^{-6} secondes.

En raison de la structure à trois pales du radiomètre, la surface d'ouverture obtenue est, d'une part plus petite que celle du disque dans laquelle les pales sont circonscrites et d'autre part anisotrope.

10 L'augmentation du nombre de pales permet d'accroître la surface d'ouverture et d'améliorer l'isotropie de son contour mais il en résulte une augmentation du nombre d'antennes élémentaires et par conséquent une augmentation de la masse du satellite.

15 Le problème technique est d'accroître la surface d'ouverture synthétisée du radiomètre sans augmenter le nombre d'antennes élémentaires, la résolution géométrique et sans dégrader la résolution radiométrique.

A cet effet, l'invention a pour objet un procédé d'imagerie radiométrique destiné à cartographier au moins un paramètre caractéristique d'objets distants disposés sur une surface et détectable par le rayonnement électromagnétique multi-angulaire émis par les objets, le procédé utilisant une antenne réseau formée d'antennes élémentaires disposées à bord d'au moins un satellite mobile par rapport à la surface, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

25 identifier chaque antenne élémentaire $A(k)$ par un indice k ,
horodater par une base de temps des positions successives $P(t(i))$ d'une antenne élémentaire $A(1)$ prédéterminée de l'antenne réseau servant de référence spatio-temporelle, les positions successives de l'antenne élémentaire de référence $A(1)$ étant échantillonnées suivant une période d'échantillonnage Δt_{ech} à des instants successifs $t(i)$ ordonnés suivant un indice i et étant repérées dans un repère spatial fixe par rapport à la surface survolée,

30 à chaque antenne élémentaire $A(k)$ étant associée une horloge locale $H(k)$, pour chaque position successive échantillonnée $P(t(i))$ de l'antenne élémentaire

taire de référence A(1), synchroniser chaque horloge locale associée H(k) sur la base de temps,

pour chaque position successive échantillonnée P(t(i)) de l'antenne élémentaire de référence A(1), déterminer les positions spatiales respectives des antennes élémentaires A(k) par rapport à l'antenne élémentaire de référence A(1),

à chaque instant d'échantillonnage t(i) correspondant à une position échantillonnée P(t(i)) de l'antenne élémentaire A(1), mesurer de manière analytique un champ électromagnétique reçu par chaque antenne élémentaire A(k) et fournir pour chacune une composante en phase et une composante en quadrature du champ,

affecter à chaque mesure analytique de champ électromagnétique (E(k,t)) mesuré l'indice $\underline{k}$ de l'antenne élémentaire correspondante et la date t(i) d'échantillonnage correspondante,

pour un indice d'image i_m prédéterminé, définir un domaine d'image temporel $D_{IM}(i_m)$ constitué les instants d'échantillonnage t(j) tels que la différence t(i_m) - t(j) est inférieur ou égal à une durée temporelle de domaine d'image d'image Δt_{IM} prédéterminée,

à chaque couple (k, j) d'indice k d'antenne élémentaire A(k) et d'indice d'instant d'échantillonnage j correspondant au domaine d'image temporel $D_{IM}(i_m)$, fournir un vecteur de mesure M(k, j) contenant ordonnés temporellement les échantillons des mesures du champ électromagnétique reçu par l'antenne élémentaire A(k) aux instants d'échantillonnage compris entre l'instant d'échantillonnage t(j) et l'instant d'échantillonnage $t(j - \frac{\Delta t_c}{\Delta t_{ech}})$, Δt_c désignant une

durée d'intégration de la corrélation entre deux vecteurs de mesure M(k,j), M(k',j'),

construire une image IM(i_m) à partir d'une fonction de visibilité spatio-temporelle comprenant un ensemble de coefficients de visibilité, au moins un coefficient de visibilité étant égal à la corrélation de deux vecteurs de mesure M(k,j), M(k', j') dont les indices d'échantillonnage j, j' sont distincts.

Suivant des modes particuliers de réalisation, le procédé d'imagerie radiométrique comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- une taille de pixel T_{pixel} étant prédéterminée et l'au moins un satellite portant l'antenne de référence élémentaire A(1) présentant une vitesse de déplace-

ment par rapport à la surface observée V_{sat} , la durée d'intégration de corrélation Δt_c est égale au produit d'un coefficient fractionnaire α par la taille T_{pixel} d'un pixel divisé par la vitesse V_{sat} de l'au moins un satellite ;

- le coefficient fractionnaire α est inférieur ou égal à $1/3$ et de préférence égal à $1/5$;

- la durée temporelle de domaine d'image d'image Δt_{IM} est égale au rapport de la plus grande des distances D séparant un couple quelconque d'antennes élémentaires $A(k)$ sur la vitesse de déplacement V_{sat} de l'au moins un satellite, et

- une bande passante B de filtrage des fréquences autour d'une fréquence central ν_0 du champ électromagnétique mesuré par chacune des antennes élémentaires $A(k)$ est inférieure ou égale au rapport de la vitesse de déplacement V_{sat} de l'au moins un satellite sur la plus grande des distances D séparant un couple quelconque d'antennes élémentaires $A(k)$;

- une bande de fréquences de mesure du champ électromagnétique reçu par les antennes élémentaires $A(k)$ est comprise dans la bande L et de préférence dans la bande des fréquences comprises entre 1400 et 1427 MHz ;

- la précision de localisation d'une antenne élémentaire $A(k)$ est égale au produit d'un coefficient fractionnaire β par la longueur d'onde λ_0 correspondant à la fréquence centrale ν_0 , le coefficient fractionnaire β étant inférieur à $1/5$ et de préférence inférieur à $3/20$;

- la précision de la base de temps est inférieure au rapport de la précision de localisation sur la vitesse de la lumière ;

- la période d'échantillonnage Δt_{ech} est inférieure au minimum d'une première durée minimale d'échantillonnage $\Delta t_{\text{Shannon}}$ correspondant à un critère de Shannon et d'une deuxième durée Δt_B correspondant à la satisfaction de l'exigence d'une résolution radiométrique prédéterminée ΔT_B ,

la première durée $\Delta t_{\text{Shannon}}$ étant égale à la moitié de la période correspondant à une longueur d'onde λ_0 d'une fréquence de mesure,

la deuxième durée Δt_B étant fonction de la résolution radiométrique prédéterminée ΔT_B , d'une température d'antenne T_A , d'une température de récepteur T_{rec} , d'une largeur de bande passante de filtrage B , d'un nombre total $(N+1)$ d'antennes élémentaires, d'une longueur D de l'antenne réseau, d'une surface

efficace S_e d'une antenne élémentaire, de la taille d'un pixel T_{pixel} , de la vitesse V_{sat} de l'au moins un satellite ;

- la deuxième durée (Δt_B) satisfait l'équation :

$$\Delta t_B = \sqrt{2} \left(\frac{\Delta T_B}{T_A + T_{\text{rec}}} \right) \frac{S_e}{D^2} \frac{1}{\sqrt{B}} (N + 1) \left(\frac{T_{\text{pixel}}}{V_{\text{sat}}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

5 L'invention a également pour objet un système d'imagerie radiométrique par satellite destiné à cartographier au moins un paramètre caractéristique d'objets distants disposés sur une surface et détectable par le rayonnement électromagnétique multi-angulaire émis par les objets caractérisé en ce qu'il comprend
une antenne réseau formée d'antennes élémentaires $A(k)$ disposées à
10 bord d'au moins un satellite mobile par rapport à la surface,

au moins un ensemble de réception connecté à l'antenne réseau apte à
horodater par une base de temps à précision élevée des positions successives $P(t(i))$ d'une antenne élémentaire $A(1)$ prédéterminée de l'antenne réseau
servant de référence spatio-temporelle, les positions successives de l'antenne
15 élémentaire de référence $A(1)$ étant échantillonnées suivant une période d'échantillonnage ΔT_{ech} à des instants successifs $t(i)$ ordonnés suivant un indice i
et étant repérées dans un repère spatial fixe par rapport à la surface survolée,

chaque antenne élémentaire $A(k)$ étant associée une horloge locale $H(k)$,
pour chaque position successive échantillonnée $P(t(i))$ de l'antenne élémentaire de
20 référence $A(1)$, synchroniser chaque horloge locale associée $H(k)$ sur la base de temps,

pour chaque position successive échantillonnée $P(t(i))$ de l'antenne élémentaire de référence $A(1)$, déterminer les positions spatiales respectives des antennes élémentaires $A(k)$ par rapport à l'antenne élémentaire de référence $A(1)$,

25 à chaque instant d'échantillonnage $t(i)$ correspondant à une position échantillonnée $P(t(i))$ de l'antenne élémentaire $A(1)$, mesurer de manière analytique un champ électromagnétique reçu par chaque antenne élémentaire $A(k)$ et fournir pour chacune une composante en phase et d'une composante en quadrature,

affecter à chaque mesure analytique de champ électromagnétique $E(k, t(i))$ mesuré l'indice k de l'antenne élémentaire correspondante et la date $t(i)$ d'échantillonnage correspondante,

et une unité de traitement apte à

pour un indice d'image i_m prédéterminé, définir un domaine d'image temporel $D_{IM}(i_m)$ constitué les instants d'échantillonnage $t(j)$ tels que la différence $t(i_m) - t(j)$ est inférieure ou égale à une durée temporelle de domaine d'image Δt_{IM} prédéterminée,

à chaque couple (k, j) d'indice k d'antenne élémentaire $A(k)$ et d'indice d'instant d'échantillonnage j correspondant au domaine d'image temporel $D_{IM}(i_m)$, fournir un vecteur de mesure $M(k, j)$ contenant ordonnés temporellement les échantillons des mesures du champ électromagnétique reçu par l'antenne élémentaire $A(k)$ aux instants d'échantillonnage compris entre l'instant d'échantillonnage $t(j)$ et l'instant d'échantillonnage $t(j - \frac{\Delta t_c}{\Delta t_{ech}})$, Δt_c désignant une

durée d'intégration de la corrélation entre deux vecteurs de mesure $M(k, j)$, $M(k', j')$, et

construire une image $IM(i_m)$ à partir d'une fonction de visibilité spatio-temporelle comprenant un ensemble de coefficients de visibilité, au moins un coefficient de visibilité étant égal à la corrélation de deux vecteurs de mesure $M(k, j)$, $M(k', j')$ dont les indices d'échantillonnage j, j' sont distincts.

Suivant des modes particuliers de réalisation, le système d'imagerie radiométrique comporte l'une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- l'antenne réseau comprend un premier segment d'antennes élémentaires alignées, espacé d'un deuxième segment d'antennes élémentaires ou d'une antenne isolée unique par une distance d'espacement inférieure ou égale à une taille de l'antenne réseau,

- chaque antenne élémentaire $A(k)$ ayant un centre respectif $C(k)$, les centres $C(k)$, $C(k+1)$ de deux antennes adjacentes d'un même segment sont séparées d'une demi-longueur d'onde, et

- le premier segment et le deuxième segment, respectivement le premier segment et l'antenne isolée sont orientés selon une même direction ;

- le système comprend un seul satellite et une seule antenne réseau d'extension unidimensionnelle de longueur D,

- l'antenne réseau comprend un seul segment d'antennes élémentaires alignées, le segment ayant une longueur D1 moitié de la longueur D de l'antenne réseau, et une antenne élémentaire isolée, séparée par un espace vide de même longueur D1 que celle du segment et alignée sur les antennes élémentaires du segment ;

- les antennes élémentaires de l'antenne réseau sont disposées sur deux satellites décrivant chacun une orbite polaire héliosynchrone et formant un vol en formation, le premier segment étant disposé sur le premier satellite et le deuxième segment étant disposé sur le deuxième satellite ;

- les altitudes des orbites polaires diffèrent d'une hauteur inférieure au double de la longueur d'un segment ; et

- le premier satellite et le deuxième satellite sont situés sur des orbites polaires héliosynchrones de même altitude, les satellites étant séparés dans la direction longitudinale d'une distance comprise entre une et deux longueurs d'un segment.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'une forme de réalisation qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins sur lesquels :

- la Figure 1 est une vue générale d'une première forme de réalisation d'un système d'imagerie radiométrique selon l'invention,

- la Figure 2 est une vue détaillée de l'antenne réseau radiométrique utilisée dans le système d'imagerie de la Figure 1 ;

- la Figure 3 est une vue détaillée par blocs fonctionnels d'un ensemble de réception de signaux radiométriques captés par l'antenne réseau de la Figure 2 et embarqué à bord du satellite du système de la Figure 1 ;

- la Figure 4 est une vue détaillée par bloc d'un module de mesure de l'ensemble de réception de la Figure 3 ;

- la Figure 5 est un ordinogramme d'un procédé d'imagerie radiométrique mis en œuvre par le système d'imagerie décrit aux Figures 1 à 4 ;

- La Figure 6 est une représentation spatio-temporelle du réseau interférométrique correspondant au système décrit à la Figure 1 ;

- la Figure 7 est une vue générale d'une deuxième forme de réalisation d'un système d'imagerie radiométrique selon l'invention fondée sur une formation en vol de deux satellites se partageant le support des antennes élémentaires constituant l'antenne réseau,

5 - la Figure 8 est une vue détaillée d'une troisième forme de réalisation d'un système d'imagerie radiométrique selon l'invention.

Suivant la Figure 1, un système d'imagerie radiométrique 2 comprend un satellite d'observation 4 en orbite autour de la Terre et une unité de traitement 6 des données d'observation recueillies et retransmises au sol par le satellite 4.

10 Le satellite d'observation 4 décrit une orbite polaire héliosynchrone de 755 kilomètres d'altitude, de période égale à 100 minutes et de vitesse linéaire désignée par $\vec{V}_{sat}$ ayant son module égal à 7 km/s.

Le satellite 4 est incliné par rapport à la direction Nadir selon un angle de tangage désigné par θ sur la figure 1 et égal à 31,2 degrés.

15 Un repère triaxial lié à la plateforme du satellite 4 désigné par (X_S, Y_S, Z_S) comprend un axe Y_S orienté selon le sens de la vitesse $\vec{V}_{sat}$ et un axe X_S résultant de la rotation d'angle θ autour de l'axe Y_S de l'axe de nadir.

Le satellite 4 comprend une antenne réseau 8 d'observation radiométrique formée par un réseau d'antennes élémentaires 9, un ensemble 10 de réception et de transformation de signaux radioélectriques, transmis au travers d'une liaison radioélectrique 11 et captés par l'antenne réseau 8, connecté en sortie de l'antenne réseau 8.

20 Le satellite 4 comprend également une antenne de télémessure 12 connectée en sortie de l'ensemble 10 de réception et apte à retransmettre vers l'unité de traitement 6 des données de mesures radiométriques au travers d'une liaison radioélectrique de télémessure 14.

L'antenne réseau 8 fonctionne dans une bande de fréquences dédiée uniquement à l'observation désignée par « bande L » dont les fréquences sont comprises entre 1400 et 1427 MHz.

30 Cette bande d'observation est centrée autour d'une fréquence ν_0 correspondant à une longueur d'onde λ_0 égale à 21 cm et présentant une largeur de bande égale à 27 MHz.

Cette bande d'observation permet de mesurer des températures de brillance d'objets sous forme de rayonnements électromagnétiques polarisés et multi-angulaires émis par les objets, les températures de brillance étant représentatives notamment de l'humidité des sols et de la salinité des océans.

5 L'antenne réseau 8 est ici composée d'un ensemble d'antennes élémentaires 9 de structure identique mais disposées en des emplacements différents, désignées par $A(k)$ pour les différencier, k étant un indice entier différent affecté à chaque antenne $A(k)$.

10 Les antennes élémentaires $A(k)$ sont disposées alignées suivant un axe d'extension longitudinale de l'antenne réseau 8 désigné par Y_A et de même direction que l'axe Y_S du satellite 4. Un repère triaxial lié à l'antenne réseau 8 désigné par (X_A, Y_A, Z_A) comprend des axes X_A, Y_A, Z_A dont les orientations respectives sont identiques à celles des axes X_S, Y_S, Z_S du repère correspondant lié au satellite 4.

15 Plus précisément suivant la figure 2, l'antenne réseau 8 forme un réseau interférométrique d'antennes élémentaires et a une taille désignée par D .

L'antenne réseau 8 comprend un segment 20, ayant une longueur totale D_1 , égale ici à la moitié de D c'est-à-dire 25 mètres et composé d'un nombre entier N antennes élémentaires 20 successives alignées.

20 L'antenne réseau comprend également une unique antenne isolée $A(N+1)$ séparée du segment 20 par un espace vide de longueur D_2 sensiblement égale à D_1 c'est-à-dire 25 mètres, l'antenne isolée $A(N+1)$ étant alignée sur l'alignement des antennes élémentaires composant le segment 20.

25 La taille D de l'antenne réseau 8 est ici choisie de sorte que la résolution géométrique notée R_g d'une image obtenue par les mesures radiométriques, c'est à dire la taille T_{pixel} d'un pixel d'image soit égale à 4 km.

La résolution géométrique satisfaisant l'équation :

$$R_g = \frac{\lambda_0}{D} H \quad (\text{rel.1})$$

30 avec H désignant l'altitude du satellite, il en résulte que la valeur D est égale à environ 50 mètres et la longueur D_1 est égale à 25 mètres.

Les antennes élémentaires 9 du segment 20 sont par exemple des antennes de type « patch » classiques à cavité résonnante diélectrique ayant une surface rayonnante ou de réception en forme de disque.

Chaque antenne élémentaire $A(k)$ d'indice k comprend un centre associé $C(k)$.

Deux antennes élémentaires $A(k)$, $A(k+1)$ du segment 20 disposées adjacentes sont distantes par leurs centres respectifs $C(k)$, $C(k+1)$ d'une distance d_A inférieure ou égale à une demi-longueur d'onde $\lambda_0/2$ de manière à satisfaire la condition d'échantillonnage de Shannon.

Ici, la distance d_A est choisie égale à 10 cm et le nombre total N d'antenne élémentaires du segment 20 est ainsi égal à 250.

La taille D de l'antenne réseau 8, le nombre et l'agencement des antennes élémentaires permettent ainsi d'atteindre une résolution géométrique suivant la direction Z_A perpendiculaire à la vitesse du satellite 4 égale à 4 km et de satisfaire les critères de reconstruction d'une image par une transformation de Fourier selon la direction Z_A après utilisation de toutes les mesures de couples d'antennes, chaque couple définissant une base spatiale du réseau interférométrique formé par le réseau d'antennes élémentaires $A(k)$.

La précision de localisation de chaque antenne élémentaire $A(k)$ est ci égale à 3 mm.

En variante et de manière générale, la précision de localisation est égale au produit d'un coefficient fractionnaire β de la longueur d'onde λ_0 par la longueur d'onde λ_0 , le coefficient fractionnaire β étant inférieur à $1/3$ et de préférence inférieur ou égal à $3/20$.

En variante, l'antenne réseau est pourvue de récepteurs de positionnement de type GPS (Global Positioning System) permettant d'estimer la déformée de l'antenne de réseau 8 en fonction de fluctuations de température à vitesse lente par rapport à la vitesse du satellite 4.

Suivant la Figure 3, l'ensemble de réception 10 comprend des bornes d'entrées $I(k)$, l'indice d'antenne élémentaire k variant de 1 à $N+1$, chaque borne d'entrée $I(k)$ étant connectée à une antenne élémentaire $A(k)$ associée distincte et comprend une borne de sortie 50 connectée à l'antenne de télémessure 12.

L'ensemble de réception 10 comprend une batterie 52 de modules de mesures désignés par $\text{Mod}(k)$, k variant de 1 à $N+1$, une mémoire de masse 54 connectée en entrée à chaque module de mesure $\text{Mod}(k)$ au moyen d'une paire associée distincte $L(k)$ de liaisons, et un unique émetteur de données de télémé-
5 sure 56 connecté en entrée à la mémoire de masse 54 et en sortie à l'antenne de télémé-
sure 12.

L'ensemble de réception 10 comprend également une base de temps 60 ou horloge maitresse à précision élevée qui est connectée en des entrées distinctes $S(k)$, k variant de 1 à $N+1$, chaque entrée $S(k)$ appartenant à un module de
10 mesure $\text{Mod}(k)$ distinct associé. Une liaison différente de synchronisation $LS(k)$ relie la base de temps 60 à chaque entrée de synchronisation $S(k)$.

La précision de la base de temps 60 est ici égale à $3/20$ de la longueur d'onde λ_0 divisé par la vitesse de la lumière c , c'est-à-dire égale à 10^{-11} secondes. Cette précision de la base de temps 60 correspond à la précision de localisation
15 de chaque antenne élémentaire $A(k)$ égale à 3 mm.

En variante et de manière générale, la précision absolue de la base de temps 60 est égale au produit d'un coefficient fractionnaire β de la longueur d'onde λ_0 par la longueur d'onde λ_0 divisé par la vitesse de la lumière, le coefficient fractionnaire β étant inférieur à $1/3$ et de préférence inférieure ou égale à
20 $3/20$.

Suivant la figure 4, un module de mesure $\text{Mod}(k)$ quelconque comprend de manière générique, connectés en série, un filtre de tête 102, un amplificateur à faible bruit 104, un filtre de canal 106 ou de bruit à bande passante désignée par B et un mélangeur abaisseur 108 de fréquences.

Le mélangeur abaisseur 108 comprend une première entrée 110 connectée au filtre de canal 106, une deuxième entrée 112 apte à recevoir un signal de fréquence de décalage ou de translation, une première borne de sortie 114, respectivement une deuxième borne de sortie 116 apte à fournir un signal de sortie en phase de fréquence intermédiaire (FI), respectivement un signal de sortie en quadrature de même fréquence intermédiaire (FI) correspondant à la partie réelle, respectivement la partie imaginaire d'un signal de sortie appelée analytique ou encore synthétisée.

Le module de mesure Mod(k) comprend également connectée à la première borne de sortie 114, respectivement la deuxième borne de sortie 116 du mélangeur abaisseur 108, une première chaîne de traitement 118 à fréquence intermédiaire (FI), respectivement une deuxième chaîne de traitement 120 à fréquence intermédiaire(FI).

Le module de mesure Mod(k) comprend également une horloge propre H(k) désignée par 122 asservie sur la base de temps 60 à précision élevée, connectée par l'entrée S(k) à la base de temps 60, et également connectée à chaque chaîne de traitement à fréquence intermédiaire 118, 120 ainsi qu'au mélangeur abaisseur 108.

La première chaîne de traitement 118 à fréquence intermédiaire, respectivement la deuxième chaîne de traitement 120 à fréquence intermédiaire comprennent, connectés en série, un premier filtre FI 124, un premier amplificateur FI 126, une première unité de correction et de réglage 128, une première unité d'échantillonnage 130, un premier numériseur 132, respectivement un deuxième filtre FI 134, un deuxième amplificateur FI 136, une deuxième unité de correction et de réglage 138, une deuxième unité d'échantillonnage 140, un deuxième numériseur 142.

Le premier numériseur 132, respectivement le deuxième numériseur 134 sont connectés à la première sortie Oi(k) en phase, respectivement la deuxième sortie Oq(k) en quadrature et sont aptes à fournir la partie réelle, respectivement la partie imaginaire quantifiée selon un nombre entier q prédéterminé de bits du signal de mesure analytique du champ électromagnétique reçu par l'antenne correspondante A(k). Le nombre entier q est un entier pouvant prendre une valeur quelconque y compris la valeur 1.

L'horloge 122 propre au module de mesure Mod(k) comprend une entrée 146 connectée à l'entrée de synchronisation S(k), une première sortie 148 connectée à la deuxième borne d'entrée 112 du mélangeur abaisseur 108 et une deuxième sortie 150 connectée à une entrée de commande 152 du premier échantillonneur 130 et à une entrée de commande 154 du deuxième échantillonneur 142.

L'horloge 122 propre au module de mesure Mod(k) comprend un générateur de temps local 156, par exemple un oscillateur à quartz, et une unité

d'élaboration de signaux d'horloge 158 apte à asservir le signal d'horloge local sur la base de temps 60 à précision élevée et à délivrer des signaux d'horloge synchrone de la base de temps 60.

5 Ainsi, le module de mesure Mod(k) est apte à horodater avec une précision élevée les signaux mesurés localement par l'antenne élémentaire A(k) dans le même temps que celui fourni par la base de temps 60.

La bande passante B du filtre de canal 106 est choisie de telle sorte que la relation suivante est vérifiée :

$$B \leq \frac{V_{sat}}{D} \quad (\text{rel. 2})$$

10 avec V_{sat} désignant le module de la vitesse du satellite 4 et D désignant la taille du réseau d'antennes élémentaires autrement dit la plus grande distance séparant deux antennes élémentaires de l'antenne réseau 8.

Ici, on choisit une valeur de bande passante B égale à 100 Hz.

15 De tels filtres intégrés à bande étroite fonctionnant aux longueurs d'onde voisines de λ_0 ont déjà été développés.

La durée d'échantillonnage Δt_{ech} est choisie de telle sorte à être inférieure à la fois à une première durée d'échantillonnage $\Delta T_{Shannon}$ satisfaisant un critère de Shannon et à une deuxième durée Δt_B correspondant à la satisfaction de l'exigence d'une résolution radiométrique souhaitée, notée ΔT_B , c'est-à-dire satisfait l'inéquation :

$$\Delta t_{ech} \leq \text{Min}(\Delta t_{shannon}, \Delta t_B) \quad (\text{rel.3})$$

La première durée d'échantillonnage $\Delta T_{Shannon}$ satisfaisant un critère de Shannon est égale à la moitié de la période correspondant à la longueur d'onde λ_0 , c'est-à-dire ici environ $1,25 \cdot 10^{-5}$.

25 La deuxième durée Δt_B correspondant à la satisfaction de l'exigence d'une résolution radiométrique désirée ΔT_B satisfait l'équation suivante :

$$\Delta t_B = \sqrt{2} \left(\frac{\Delta T_B}{T_A + T_{rec}} \right) \frac{S_e}{D^2} \frac{1}{\sqrt{B}} (N+1) \left(\frac{T_{pixel}}{V_{sat}} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (\text{rel.4})$$

30 T_A désignant la température d'antenne, T_{rec} désignant la température du récepteur, B la largeur de bande passante de filtrage, N+1 le nombre total d'antennes élémentaires, D la longueur de l'antenne réseau 8, S_e la surface effi-

cace d'une antenne élémentaire, T_{pixel} la taille d'un pixel, V_{sat} la vitesse du satellite 4.

Pour une valeur du rapport $\left(\frac{\Delta T_B}{T_A + T_{\text{rec}}} \right)$ identique à celle du système SMOS, la valeur de $2 \cdot 10^{-5}$ secondes est déterminée, ce qui correspondrait à un 5 déplacement du satellite égal à 14 cm.

Il apparaît ici dans ce cas précis, que la première durée d'échantillonnage $\Delta T_{\text{Shannon}}$ satisfaisant un critère de Shannon est la durée de dimensionnement de la période d'échantillonnage Δt_{ech} .

En variante, la fréquence du filtre de canal 106 est programmable, ce qui permet de sélectionner une température de brillance d'observation.

En variante, l'ensemble de réception est apte à mesurer plusieurs températures de brillance en utilisant au moins deux batteries de filtres de canal centrés à des fréquences centrales différentes.

Suivant la Figure 5, un procédé d'imagerie radiométrique 200, destiné à 15 cartographier au moins un paramètre caractéristique d'objets distants disposés sur une surface et détectable par le rayonnement électromagnétique multi-angulaire émis par les objets, et mis en œuvre par le système décrit dans les figures 1 à 4, comprend un ensemble d'étapes 202, 204, 206, 208, 210, 212, 214, 216, 218, 220, 222, 224.

20 Dans une première étape 202, à chaque antenne élémentaire $A(k)$ est associé un indice entier distinct k permettant d'identifier l'antenne élémentaire $A(k)$.

Dans une étape suivante d'initialisation 204, une antenne élémentaire $A(k)$ de l'antenne réseau 8 est sélectionnée comme référence spatiale par rapport aux autres antennes. Par exemple, l'antenne élémentaire $A(1)$ est choisie.

25 Dans la même étape d'initialisation 204, un instant initial $t(0)$ de démarrage d'échantillonnage de la position initiale $P(t(0))$ de l'antenne élémentaire de référence $A(1)$ est fixé au travers de la mise à zéro d'un compteur d'indice d'échantillonnage j .

30 Dans la même étape d'initialisation 204, pour chaque antenne élémentaire $A(k)$, l'horloge associée ($H(k)$) est synchronisée sur la base de temps 60 et les positions spatiales respectives des antennes élémentaires $A(k)$ par rapport à l'antenne élémentaire de référence $A(1)$ sont déterminées avec précision.

Dans une étape suivante 206, pour une valeur courante i de l'indice du compteur d'échantillonnage, la position échantillonnée $P(t(i))$ de l'antenne élémentaire $A(1)$ sélectionnée du réseau d'antennes élémentaires est repérée dans un repère spatial fixe par rapport à la surface survolée par le satellite et horodatée par la base temps 60 à précision élevée suivant une coordonnée temporelle $t(i)$,

Dans l'étape suivante 208, pour chaque antenne élémentaire $A(k)$, la synchronisation de l'horloge associée ($H(k)$) sur la base de temps 60 est maintenue par une boucle de poursuite de synchronisation.

Cette étape de maintien de synchronisation qui fait suite à une phase d'acquisition dans l'étape d'initialisation 204 est effectuée par exemple à l'aide d'échange de signaux de signalisation et d'une boucle à verrouillage de phase.

Il est à remarquer que dans le cas où l'horloge locale est très stable les corrections de synchronisation sont effectuées selon des périodes de temps pouvant être longues.

Il est à remarquer également que si les positions relatives entre les antennes élémentaires $A(k)$ ne varient pas au cours du temps des stratégies de synchronisation de groupes d'antennes peuvent être mises en œuvre.

Dans une étape suivante 210, la détermination des positions spatiales respectives des antennes élémentaires $A(k)$ par rapport à l'antenne élémentaire de référence $A(1)$ est mise à jour le cas échéant.

Dans le cas de l'antenne décrite à la figure 2, les positions relatives des antennes élémentaires $A(k)$ sont considérées ici invariantes dans le temps. L'étape de détermination proprement dite des positions relatives des antennes élémentaires n'est mise en œuvre alors qu'une seule fois, les étapes de détermination suivantes se réduisant à un rappel de valeurs de position relatives sauvegardées.

Toutefois, si les positions relatives des antennes élémentaires $A(k)$ varient au cours du temps à faible vitesse par rapport à la vitesse du satellite en raison par exemple de fluctuations de température subies par l'antenne, un mécanisme de détermination des positions relatives fondé sur des récepteurs de positionnement global et un modèle de déformation peut être mis en œuvre.

Il est à remarquer qu'un mécanisme de détermination des positions relatives des antennes élémentaires est également mis en œuvre lorsque l'antenne

réseau est répartie sur des satellites en vol de formation en déterminant les positions et des attitudes relatives des satellites entre eux qui varient faiblement par rapport à la vitesse du satellite.

Dans une étape suivante 212, pour l'instant d'échantillonnage courant $(t(i))$ correspondant à la position échantillonnée $P(t(i))$ de l'antenne élémentaire $A(1)$, le champ électromagnétique, par exemple électrique, reçu par chaque antenne élémentaire $A(k)$ est mesuré de manière analytique afin de fournir pour chaque antenne élémentaire $A(k)$ une composante en phase et d'une composante en quadrature du champ mesuré $E(k, t(i))$.

Dans une étape suivante 214, l'indice k de l'antenne élémentaire et la date $t(i)$ d'échantillonnage correspondant à la mesure de champ électromagnétique $E(t, k)$ est affecté à la valeur complexe du champ mesuré.

Puis, dans une étape suivante 216, après l'écoulement d'une période d'échantillonnage ΔT_{ech} à partir de $t(i)$, le compteur des instants d'échantillonnage est incrémenté d'une unité et l'étape 206 est mise en œuvre avec l'instant d'échantillonnage incrémenté. Ici, la valeur de la période d'échantillonnage Δt_{ech} est prise égale à $1,25 \cdot 10^{-5}$ secondes.

En parallèle à l'exécution des étapes de boucle 206, 208, 210, 212, 214, 216, une étape de test 218 est effectuée pour vérifier si l'indice d'échantillonnage courant i dépasse une valeur de seuil i_{seuil} prédéterminée. La valeur de seuil i_{seuil} prédéterminée est définie par la relation

$$i_{seuil} = \frac{T_{pixel}}{V_{sat} \Delta T_{ech}} \quad (\text{rel.5})$$

Ici, avec la vitesse du satellite égale à 7 km/s, la taille du pixel T_{pixel} égale à 4 km, et la période d'échantillonnage Δt_{ech} égale à $1,25 \cdot 10^{-5}$, la valeur de seuil est égale à environ 4715.

Si l'indice courant i ne dépasse pas la valeur de seuil prédéterminée, alors dans étape de temporisation 220, l'exécution ultérieure de l'étape 218 est retardée par un délai fixé.

Si l'indice d'échantillonnage i courant dépasse la valeur de seuil prédéterminée i_{seuil} , dans une étape 220, pour de valeurs de i_m espacées par exemple de $T_{pixel}/\alpha V_{sat}/\Delta t_{ech}$, un domaine d'image temporel $D_{IM}(i_m)$ est défini en étant constitué par les instants d'échantillonnage $(t(j))$ tels que la différence $t(i_m)-t(j)$ est infé-

rieure ou égale à une durée temporelle de domaine d'image d'image Δt_{IM} prédéterminée.

Ici, la durée temporelle de domaine d'image d'image Δt_{IM} est égale au rapport de la plus grande des distances D séparant un couple quelconque d'antennes élémentaires $A(k)$ sur la vitesse de déplacement V_{sat} du satellite 4.

Dans l'étape suivante 222, à chaque couple (k, j) d'indice (k) d'antenne élémentaire $A(k)$ et d'indice d'instant d'échantillonnage j du domaine d'image temporel $D_{IM}(i_m)$, un vecteur de mesure $M(k, j)$ est fourni contenant ordonnés temporellement les échantillons des mesures du champ électromagnétique reçu par l'antenne élémentaire $A(k)$ aux instants d'échantillonnage compris entre l'instant d'échantillonnage $t(j)$ et l'instant d'échantillonnage $t(j - \frac{\Delta t_c}{\Delta t_{ech}})$, Δt_c désignant une

durée d'intégration de la corrélation entre deux vecteurs de mesure $M(k, j)$, $M(k', j')$, et caractérisant le degré d'acceptabilité de l'effet de bougé dû au mouvement du satellite.

La durée d'intégration de la corrélation entre deux mesures est égale au produit d'un coefficient fractionnaire α de la taille d'un pixel divisé par la vitesse du satellite V_{sat} , la valeur du coefficient fractionnaire étant inférieure ou égale à $1/3$ et de préférence égale à $1/5$.

En considérant ici la valeur du coefficient fractionnaire α égale à $1/5$, la durée d'intégration de la corrélation Δt_c est égale à environ 0, 12 secondes.

Dans l'étape suivante 224 une image est construite à partir d'une fonction de visibilité spatiotemporelle calculée à partir :

d'une part, d'une matrice de bases spatio-temporelles correspondant à un interféromètre spatio-temporel, une base spatio-temporelle étant définie par la donnée d'un doublet de couples (k, j) , (k', j') avec, ici k l'indice d'une première antenne élémentaire $A(k)$ et j un indice d'échantillonnage de la première antenne élémentaire $A(k)$, k' l'indice d'une deuxième antenne élémentaire $A(k')$ et j' un indice d'échantillonnage de la deuxième antenne élémentaire $A(k')$, les indices k, k' variant entre 1 et 251, et les indices d'échantillonnage j variant entre i et $i - \Delta t_{IM}/\Delta t_{ech}$,

d'autre part, des produits de corrélation sur la durée Δt_c entre les vecteurs de mesure $M(k, j)$, $M(k', j')$ correspondant à chaque base $((k, j), (k', j'))$.

Un produit de corrélation définit un coefficient de visibilité noté $V_m(((k,j), (k',j')))$ et l'ensemble des coefficients de visibilité pour k, k' variant de 1 à $N+1$ et j, j' variant sur $D_{IM}(i_m)$ définit une fonction de visibilité V_i .

Dans l'étape 224, le domaine de Fourier de l'image $IM(i_m)$ est ainsi reconstitué au travers de la fonction de visibilité V_m et l'image $IM(i_m)$ est finalement obtenue par un traitement classique d'inversion.

Parmi ces couples distincts, il existe des couples pour lesquels les instants d'échantillonnage sont différents. Ainsi, l'image reconstruite à partir de la fonction de visibilité est une véritable image obtenue par synthèse d'ouverture spatio-temporelle mettant œuvre les relations de cohérence spatio-temporelles entre les différentes mesures $M(k, j)$.

La fonction de visibilité s'écrit par l'expression générique suivante d'un coefficient de visibilité :

$$V((k, j), (k', j')) = \overrightarrow{M(k, j)} \cdot \overrightarrow{M(k', j')} = \sum_{l=0}^{l=\Delta t_c / \Delta t_{ech}} \overrightarrow{E(k, j-l)} \cdot \overrightarrow{E^*(k', j'-l)}$$

l'opérateur $*$ représentant l'opérateur de conjugaison et l'indice de sommation l variant de 0 au nombre de périodes d'échantillonnage Δt_{ech} contenues dans une durée de corrélation Δt_c .

Le traitement d'inversion est fondé sur une relation de constitution reliant les coefficients de visibilité $V_i((k,j), (k', j'))$ et la source de température de brillance de la surface observée désignée par S .

Le procédé permet à même résolution géométrique et même résolution radiométrique d'accroître la surface d'ouverture synthétisée du radiomètre.

Le procédé et le système permet également d'améliorer la résolution géométrique sans augmenter le nombre d'antennes élémentaires, sans diminuer la surface d'ouverture et sans dégrader la résolution radiométrique, en utilisant une antenne unidimensionnelle plus simple à réaliser et à monter sur un satellite et ne présentant pas d'effet d'augmentation de masse drastique sur le satellite.

Le procédé permet d'améliorer la résolution radiométrique lorsque la fréquence d'échantillonnage $1/\Delta t_{ech}$ augmente.

En variante, le procédé utilise un réseau interférométrique d'antennes élémentaires $A(k)$ disposées à bord d'au moins deux satellites mobiles par rapport à la surface observée, les satellites décrivant un vol en formation c'est-à-dire dont les positions relatives sont coordonnées finement.

Suivant la figure 6, une représentation spatio-temporelle du réseau d'interférométrie spatio-temporelle 300 obtenue à l'aide de l'antenne réseau 8 spatiale est décrite suivant un premier axe 302 orienté selon le déplacement du satellite représentatif de la dimension temporelle et un deuxième axe 304, orienté selon la direction d'extension unidimensionnelle de l'antenne réseau 8 physique constituée par l'ensemble des antennes élémentaires et représentatif d'une dimension spatiale.

Le premier axe 302 est représentatif de l'extension de l'image $IM(i_m)$ selon le sens de déplacement du satellite tandis que le deuxième axe 304 est représentatif de l'extension de l'image $IM(i_m)$ dans une direction perpendiculaire au déplacement du satellite.

Différentes vues 310, 312, 314, 316 de l'antenne 8 sont représentées à différents instants d'échantillonnage.

La première vue 310 de l'antenne 8 correspond à la position de l'antenne 8 à l'instant d'échantillonnage $t(i_m)$ repéré par l'indice i_m .

La deuxième vue 312 de l'antenne 8 correspond à la position de l'antenne 8 à l'instant d'échantillonnage $t(i_m-1)$ précédant immédiatement l'instant d'échantillonnage de la première vue 310.

La vue 314 de l'antenne 8 correspond à la position de l'antenne 8 à l'instant d'échantillonnage $t(i_m) - \Delta t_{IM}$ c'est-à-dire le dernier instant d'échantillonnage pris en compte dans la fourniture d'un vecteur de mesure $M(k,j)$, k étant un indice quelconque d'une antenne élémentaire $A(k)$ et j étant tel que $t(j)$ appartient au domaine d'image temporel $D_{IM}(i_m)$.

La vue 318 correspond à la position de l'antenne la plus éloignée temporellement de la vue 310 à l'horizon du temps d'intégration de corrélation Δt_c .

A titre d'exemple un vecteur de base 320 est représenté correspondant au doublet de couple $((k, j), (k', j'))$ avec k égal à 1, j égal à i , k' égal à 256 et j' égale à $i - \Delta t_{IM} / \Delta t_{ech}$.

Suivant la Figure 7, une variante du système d'imagerie radiométrique 402 comprend un premier satellite 404 et un deuxième satellite 406 en orbite autour de la Terre, aptes à survoler la surface observée de manière coordonnée, et une unité de traitement 408 des données d'observation recueillies et retransmises au sol par les deux satellites.

Le premier satellite d'observation 404 décrit une première orbite polaire 410 héliosynchrone de 755 kilomètres d'altitude, de période égale à 100 minutes et de vitesse linéaire désignée par $\vec{V}_{sat}$ ayant son module égal à 7 km/s.

Le deuxième satellite d'observation 406 décrit une deuxième orbite polaire 412 décalée en longitude d'environ 16,60 mètres au niveau de l'équateur par rapport à la première orbite, l'altitude étant modulée selon une amplitude de ± 25 mètres autour d'une altitude centrale identique à celle de la première orbite de sorte à éviter une collision aux pôles et à assurer un maintien côte à côte des satellites à une même latitude.

Les satellites 404 et 406 sont supposés ici ne pas être inclinés par rapport à leur direction Nadir respective.

Le premier satellite 404 comprend un premier segment 424 d'antennes élémentaires 426 et, non représentés, un premier ensemble de réception, une première antenne de télémessure apte à retransmettre vers l'unité de traitement 408 les données de mesures radiométriques des champs électromagnétiques reçus par les antennes élémentaires 426 du premier segment 424.

Le deuxième satellite 406 comprend un deuxième segment 428 d'antennes élémentaires 430 et, non représentés sur la Figure 7, un deuxième ensemble de réception, une deuxième antenne de télémessure apte à retransmettre vers l'unité de traitement 408 les données de mesures radiométriques des champs électromagnétiques reçus par les antennes élémentaires 430 du deuxième segment 428.

Le premier satellite 404 et le deuxième satellite comprennent également des moyens de détermination à précision élevée de leurs positions et attitudes relatives, utilisant par exemple des lasers.

Les antennes élémentaires 426 et 430 sont identiques à celles décrites à la Figure 2.

Les longueurs du premier segment 424 et du deuxième segment 428 sont
5 identiques et égales à 16,6 mètres.

L'architecture du premier ensemble de réception diffère de l'architecture de l'ensemble de réception décrite à la Figure 3 en ce qu'une première interface de liaison inter-satellites est connectée à la base de temps à précision élevée du premier ensemble de réception.

10 L'architecture du deuxième ensemble de réception diffère de l'architecture de l'ensemble de réception décrite à la Figure 3 en ce que la base de temps est remplacée par une deuxième interface de liaison inter-satellites compatible de la première interface de liaison inter-satellite.

Les deux segments 424 et 428 forment ainsi une antenne réseau 432
15 analogue à l'antenne réseau 8 décrite dans la figure 2.

L'antenne réseau 432 diffère toutefois de l'antenne réseau 8 de la Figure 2 en ce que les positions relatives des antennes élémentaires du deuxième segment par rapport aux antennes élémentaires du premier segment en raison d'un déplacement relatif entre le premier satellite.

20 Même si ce déplacement relatif reste confiné dans un volume de 25 m³ environ, varie lentement par rapport à la vitesse du satellite et reste négligeable pendant la durée de temps d'intégration de corrélation, il est nécessaire de corriger régulièrement les positions des antennes élémentaires $A(k)$ par rapport à une antenne élémentaire de référence $A(1)$.

25 Cette correction est mise en œuvre à partir de la connaissance des positions précises des antennes élémentaires par rapport à leur segment d'appartenance et à la connaissance de la position relative des segments 424 et 428.

La fourniture d'un horodatage précis par chaque antenne élémentaire est
30 réalisée par la synchronisation de l'horloge locale associée à l'antenne élémentaire sur unique base de temps à précision élevée embarquée à bord du premier satellite 404.

L'antenne réseau 432 fonctionne de manière analogue à l'antenne réseau 8 et le procédé d'imagerie radiométrique décrit à la Figure 5 est applicable.

L'avantage procuré par le découpage de l'antenne réseau en deux est la réalisation de satellites plus petits sur lesquels sont montées des antennes plus petites, même si ces antennes plus petites ne constituent que des segments de l'antenne réseau 432.

Suivant la Figure 8, une variante 502 du système d'imagerie radiométrique comprend un premier satellite 504, respectivement un deuxième satellite 506, identique au premier satellite 404, respectivement au deuxième satellite 406 de la Figure 7, les deux satellites 504 et 506 en orbite autour de la Terre étant aptes à survoler la surface observée de manière coordonnée, et une unité de traitement 508 identique à l'unité 408 de la Figure 7.

L'orbite 510 du premier satellite 504 est identique à celle du premier satellite 404 de la Figure 7.

Le deuxième satellite 506 décrit une orbite polaire 512 héliosynchrone, de même altitude que l'altitude de l'orbite 510 du premier satellite 504 et décalée en permanence de 25 mètres en latitude.

L'orbite polaire 512 est décalée en longitude d'environ 16,60 mètres au niveau de l'équateur par rapport à la première orbite.

Ainsi est évitée une collision des satellites aux pôles.

L'antenne réseau 532 correspondante fonctionne de manière analogue à l'antenne réseau 432 et le procédé d'imagerie radiométrique décrit à la Figure 5 est applicable.

La configuration de la Figure 8 présente l'avantage par rapport à celle de la Figure 7 de ne pas à avoir à ajuster la hauteur du deuxième satellite par rapport au premier satellite.

REVENDEICATIONS

1. Procédé d'imagerie radiométrique destiné à cartographier au moins un paramètre caractéristique d'objets distants disposés sur une surface et détectable par le rayonnement électromagnétique multi-angulaire émis par les objets, le procédé utilisant une antenne réseau (8 ; 432 ; 532) formée d'antennes élémentaires (A(k)) disposées à bord d'au moins un satellite (4 ; 404, 406; 504, 506) mobile par rapport à la surface, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

identifier (202) chaque antenne élémentaire (A(k)) par un indice k,

horodater (206) par une base de temps (60) des positions successives (P(t(i))) d'une antenne élémentaire (A(1)) prédéterminée de l'antenne réseau (8 ; 432, 532) servant de référence spatio-temporelle, les positions successives de l'antenne élémentaire de référence (A(1)) étant échantillonnées suivant une période d'échantillonnage (Δt_{ech}) à des instants successifs (t(i)) ordonnés suivant un indice (i) et étant repérées dans un repère spatial fixe par rapport à la surface survolée,

à chaque antenne élémentaire (A(k)) étant associée une horloge locale (H(k)), pour chaque position successive échantillonnée (P(t(i))) de l'antenne élémentaire de référence A(1), synchroniser (208) chaque horloge locale associée (H(k)) sur la base de temps (60),

pour chaque position successive échantillonnée (P(t(i))) de l'antenne élémentaire de référence (A(1)), déterminer (210) les positions spatiales respectives des antennes élémentaires A(k) par rapport à l'antenne élémentaire de référence (A(1)),

à chaque instant d'échantillonnage (t(i)) correspondant à une position échantillonnée (P(t(i))) de l'antenne élémentaire (A(1)), mesurer (212) de manière analytique un champ électromagnétique reçu par chaque antenne élémentaire (A(k)) et fournir pour chacune une composante en phase et une composante en quadrature du champ,

affecter (214) à chaque mesure analytique de champ électromagnétique (E(k,t(i))) mesuré l'indice (k) de l'antenne élémentaire correspondante et la date (t(i)) d'échantillonnage correspondante,

pour un indice d'image (i_m) prédéterminé, définir (220) un domaine d'image temporel ($D_{IM}(i_m)$) constitué par les instants d'échantillonnage ($t(j)$) tels que la différence $t(i_m)-t(j)$ est inférieure ou égale à une durée temporelle de domaine d'image Δt_{IM} prédéterminée,

- 5 à chaque couple (k, j) d'indice (k) d'antenne élémentaire ($A(k)$) et d'indice d'instant d'échantillonnage (j) correspondant au domaine d'image temporel $D_{IM}(i_m)$, fournir (222) un vecteur de mesure $M(k, j)$ contenant ordonnés temporellement les échantillons des mesures du champ électromagnétique reçu par l'antenne élémentaire ($A(k)$) aux instants d'échantillonnage compris entre l'instant
- 10 d'échantillonnage $t(j)$ et l'instant d'échantillonnage $t(j - \frac{\Delta t_c}{\Delta t_{ech}})$, Δt_c désignant une durée d'intégration de la corrélation entre deux vecteurs de mesure $M(k, j)$, $M(k', j')$,
- construire (224) une image ($IM(i_m)$) à partir d'une fonction de visibilité spatio-temporelle comprenant un ensemble de coefficients de visibilité, au moins un coefficient de visibilité étant égal à la corrélation de deux vecteurs de mesure
- 15 $M(k, j)$, $M(k', j')$ dont les indices d'échantillonnage j, j' sont distincts.

2. Procédé d'imagerie radiométrique selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'une taille de pixel (T_{pixel}) étant prédéterminée et l'au moins un satellite (4 ; 404 ; 504) portant l'antenne de référence élémentaire ($A(1)$) présentant une vitesse de déplacement par rapport à la surface observée (V_{sat}), la durée

20 d'intégration de corrélation (Δt_c) est égale au produit d'un coefficient fractionnaire (α) par la taille (T_{pixel}) d'un pixel divisé par la vitesse (V_{sat}) de l'au moins un satellite (4 ; 404 ; 504).

3. Procédé d'imagerie radiométrique selon la revendication 2, caractérisé en ce que le coefficient fractionnaire (α) est inférieur ou égal à 1/3 et de préférence égal à 1/5.

25

4. Procédé d'imagerie radiométrique selon l'une quelconque des revendications 2 à 3, caractérisé en ce que

la durée temporelle de domaine d'image (Δt_{IM}) est égale au rapport de la plus grande des distances (D) séparant un couple quelconque d'antennes élémentaires ($A(k)$) sur la vitesse de déplacement (V_{sat}) de l'au moins un satellite (4 ; 404 ; 504), et

30

en ce qu'une bande passante (B) de filtrage des fréquences autour d'une fréquence central (v_0) du champ électromagnétique mesuré par chacune des antennes élémentaires ($A(k)$) est inférieure ou égale au rapport de la vitesse de déplacement (V_{sat}) de l'au moins un satellite (4 ; 404 ; 504) sur la plus grande des distances (D) séparant un couple quelconque d'antennes élémentaires ($A(k)$).

5. Procédé d'imagerie radiométrique selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'une bande de fréquences de mesure du champ électromagnétique reçu par les antennes élémentaires ($A(k)$) est comprise dans la bande L et de préférence dans la bande des fréquences comprises entre 1400 et 1427 MHz.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 à 5, caractérisé en ce que la précision de localisation d'une antenne élémentaire ($A(k)$) est égale au produit d'un coefficient fractionnaire (β) par la longueur d'onde (λ_0) correspondant à la fréquence centrale (v_0), le coefficient fractionnaire (β) étant inférieur à 1/5 et de préférence inférieur à 3/20.

7. Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que la précision de la base de temps (δt) est inférieure au rapport de la précision de localisation sur la vitesse de la lumière.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la période d'échantillonnage (Δt_{ech}) est inférieure ou égale au minimum d'une première durée minimale d'échantillonnage ($\Delta t_{Shannon}$) correspondant à un critère de Shannon et d'une deuxième durée (Δt_B) correspondant à la satisfaction de l'exigence d'une résolution radiométrique prédéterminée (ΔT_B),

la première durée ($\Delta t_{Shannon}$) étant égale à la moitié de la période correspondant une longueur d'onde (λ_0) d'une fréquence de mesure,

la deuxième durée (Δt_B) étant fonction de la résolution radiométrique prédéterminée (ΔT_B), d'une température d'antenne (T_A), d'une température de récepteur (T_{rec}), d'une largeur de bande passante de filtrage (B), d'un nombre total (N+1) d'antennes élémentaires, d'une longueur (D) de l'antenne réseau (8), d'une surface efficace (S_e) d'une antenne élémentaire, de la taille d'un pixel (T_{pixel}), de la vitesse (V_{sat}) de l'au moins un satellite (4 ; 404 ; 504).

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la deuxième durée (Δt_B) satisfait l'équation :

$$\Delta t_B = \sqrt{2} \left(\frac{\Delta T_B}{T_A + T_{rec}} \right) \frac{S_e}{D^2} \frac{1}{\sqrt{B}} (N+1) \left(\frac{T_{pixel}}{V_{sat}} \right)^{\frac{3}{2}}$$

10. Système d'imagerie radiométrique destiné à cartographier au moins un paramètre caractéristique d'objets distants disposés sur une surface et détectable par le rayonnement électromagnétique multi-angulaire émis par les objets caracté-
 5 risé en ce qu'il comprend

une antenne réseau (8, 432, 532) formée d'antennes élémentaires (A(k)) disposées à bord d'au moins un satellite (4 ; 404, 406; 504, 506) mobile par rapport à la surface,

au moins un ensemble de réception connecté à l'antenne réseau (8 ; 432 ;
 10 532) apte à

horodater par une base de temps (60) à précision élevée des positions successives (P(t(i))) d'une antenne élémentaire (A(1)) prédéterminée de l'antenne réseau (8, 432, 532) servant de référence spatio-temporelle, les positions successives de l'antenne élémentaire de référence (A(1)) étant échantillonnées suivant
 15 une période d'échantillonnage ΔT_{ech} à des instants successifs (t(i)) ordonnés suivant un indice (i) et étant repérées dans un repère spatial fixe par rapport à la surface survolée,

chaque antenne élémentaire (A(k)) étant associée une horloge locale (H(k)), pour chaque position successive échantillonnée (P(t(i))) de l'antenne élémentaire de référence A(1), synchroniser chaque horloge locale associée (H(k))
 20 sur la base de temps (60),

pour chaque position successive échantillonnée (P(t(i))) de l'antenne élémentaire de référence (A(1)), déterminer les positions spatiales respectives des antennes élémentaires A(k) par rapport à l'antenne élémentaire de référence
 25 (A(1)),

à chaque instant d'échantillonnage (t(i)) correspondant à une position échantillonnée (P(t(i))) de l'antenne élémentaire (A(1)), mesurer de manière analytique un champ électromagnétique reçu par chaque antenne élémentaire (A(k)) et fournir pour chacune une composante en phase et d'une composante en quadra-
 30 ture,

affecter à chaque mesure analytique de champ électromagnétique ($E(k, t(i))$) mesuré l'indice (k) de l'antenne élémentaire correspondante et la date ($t(i)$) d'échantillonnage correspondante,

et une unité de traitement (6) apte à

5 pour un indice d'image (i_m) prédéterminé, définir (220) un domaine d'image temporel ($D_{IM}(i_m)$) constitué par les instants d'échantillonnage ($t(j)$) tels que la différence $t(i_m) - t(j)$ est inférieur ou égal à une durée temporelle de domaine d'image d'image Δt_{IM} prédéterminée,

10 à chaque couple (k, j) d'indice (k) d'antenne élémentaire ($A(k)$) et d'indice d'instant d'échantillonnage (j) correspondant au domaine d'image temporel ($D_{IM}(i_m)$), fournir (222) un vecteur de mesure $M(k, j)$ contenant ordonnés temporellement les échantillons des mesures du champ électromagnétique reçu par l'antenne élémentaire ($A(k)$) aux instants d'échantillonnage compris entre l'instant d'échantillonnage $t(j)$ et l'instant d'échantillonnage $t(j - \frac{\Delta t_c}{\Delta t_{ech}})$, Δt_c désignant une

15 durée d'intégration de la corrélation entre deux vecteurs de mesure $M(k, j)$, $M(k', j')$, construire (224) une image ($IM(i_m)$) à partir d'une fonction de visibilité spatio-temporelle comprenant un ensemble de coefficients de visibilité, au moins un coefficient de visibilité étant égal à la corrélation de deux vecteurs de mesure $M(k, j)$, $M(k', j')$ dont les indices d'échantillonnage j, j' sont distincts.

20 11. Système d'imagerie radiométrique selon la revendication 10, caractérisé en ce que

l'antenne réseau (8 ; 432 ; 532) comprend un premier segment (20 ; 424), d'antennes élémentaires alignées espacé d'un deuxième segment (428) d'antennes élémentaires ou d'une antenne isolé unique ($A(N+1)$) par une distance d'espacement inférieure ou égale à la moitié d'une taille de l'antenne réseau (8 ; 432 ; 532),

en ce que chaque antenne élémentaire ($A(k)$) ayant un centre respectif ($C(k)$), les centres ($C(k)$, $C(k+1)$) de deux antennes adjacentes d'un même segment (20, 424, 428) étant séparés d'une demi-longueur d'onde ($\lambda_0/2$), et en ce que
30 le premier segment (424) et le deuxième segment (428), respectivement le premier segment (20) et l'antenne isolée ($A(N+1)$) sont orientés selon une même direction.

12. Système d'imagerie radiométrique selon la revendication 11, caractérisé en ce qu'il comprend un seul satellite (4) et une seule antenne réseau (8) d'extension unidimensionnelle de longueur (D),

5 en ce que l'antenne réseau (8) comprend un seul segment (20) d'antennes élémentaires alignées, le segment (20) ayant une longueur (D1) moitié de la longueur (D) de l'antenne réseau (8), et une antenne élémentaire isolée (A(N+1)), séparée par un espace vide (30) de même longueur (D1) que celle du segment (20) et alignée sur les antennes élémentaires du segment (20).

10 13. Système selon la revendication 11, caractérisé en ce que les antennes élémentaires (426 ; 436) de l'antenne réseau (432 ; 532) sont disposées sur deux satellites (404, 406 ; 504, 506) décrivant chacun une orbite polaire héliosynchrone et formant un vol en formation, le premier segment (424) étant disposé sur le premier satellite (404 ; 504) et le deuxième segment (428) étant disposé sur le
15 deuxième satellite (406 ; 506).

14. Système selon la revendication 13, caractérisé en ce que les altitudes des orbites polaires diffèrent d'une hauteur inférieure au double de la longueur d'un segment.

20 15. Système selon la revendication 13 caractérisé en ce que le premier satellite (504) et le deuxième satellite (506) sont situés sur des orbites polaires héliosynchrones de même altitude, les satellites (504, 506) étant séparés dans la direction longitudinale d'une distance comprise entre une et deux longueurs d'un segment.

1/8

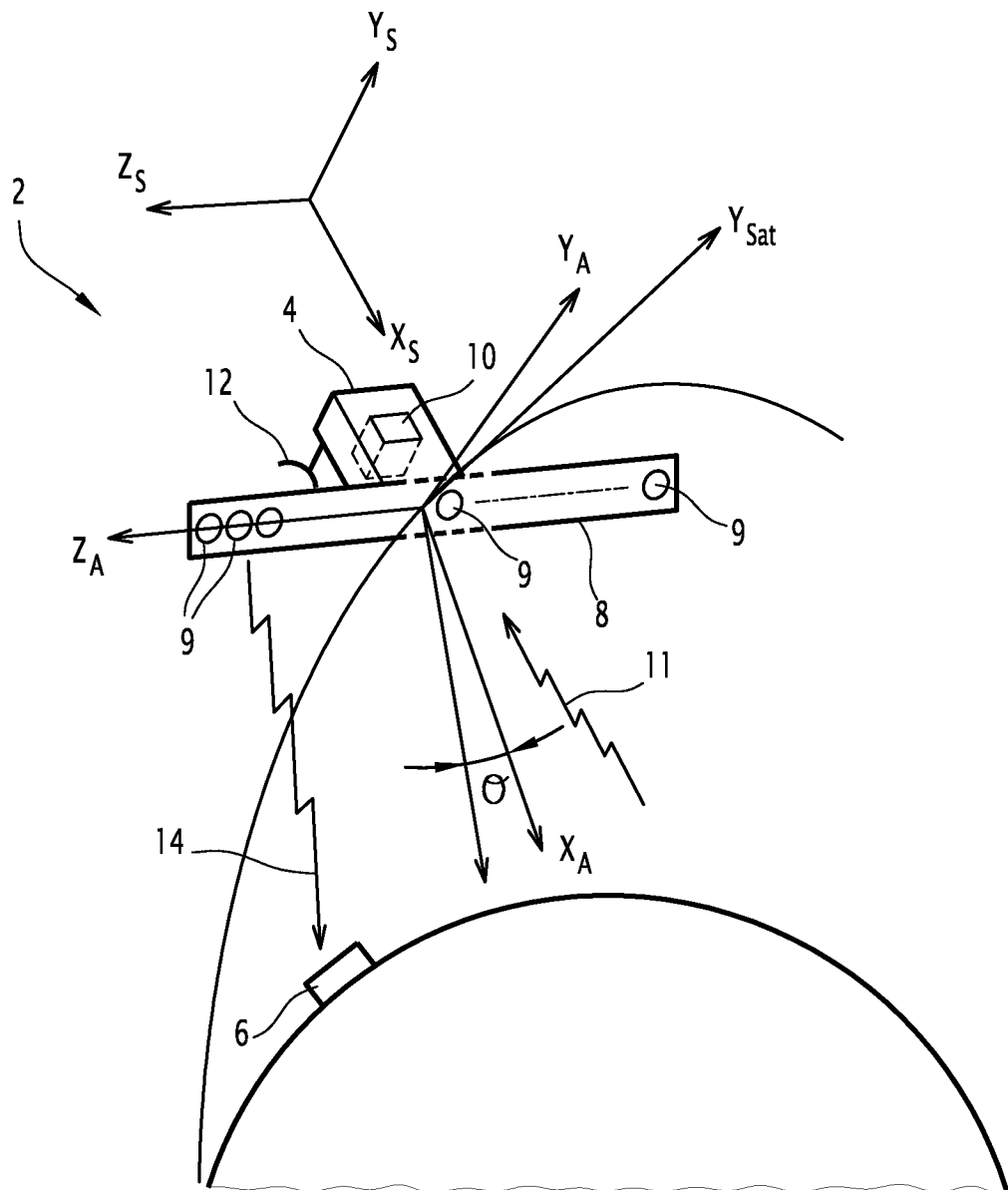


FIG.1

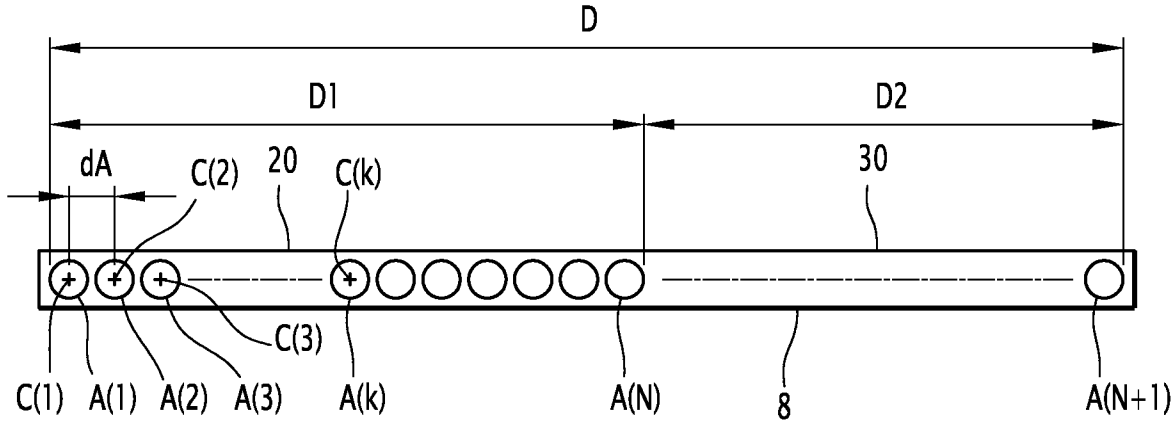


FIG.2

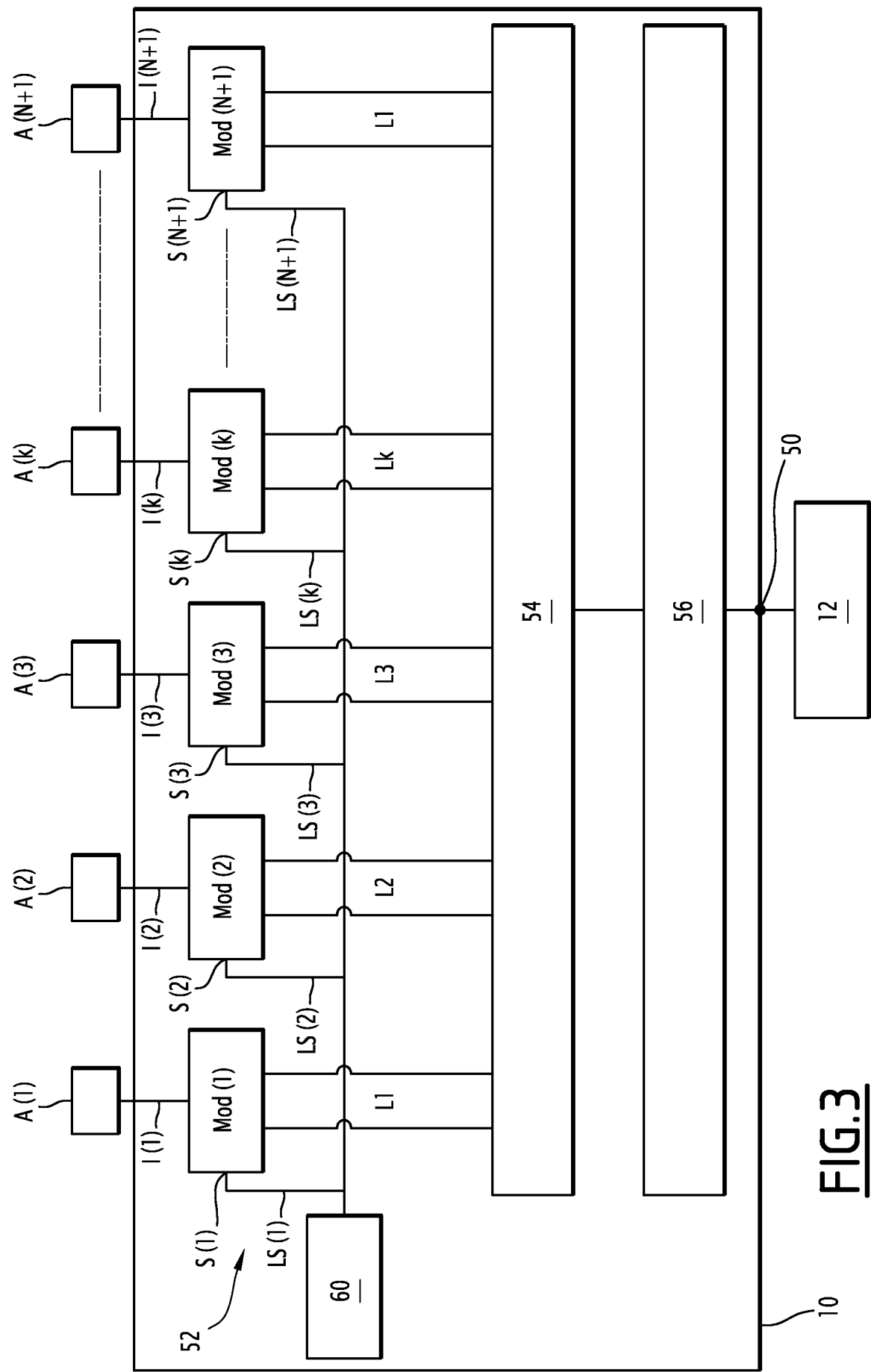
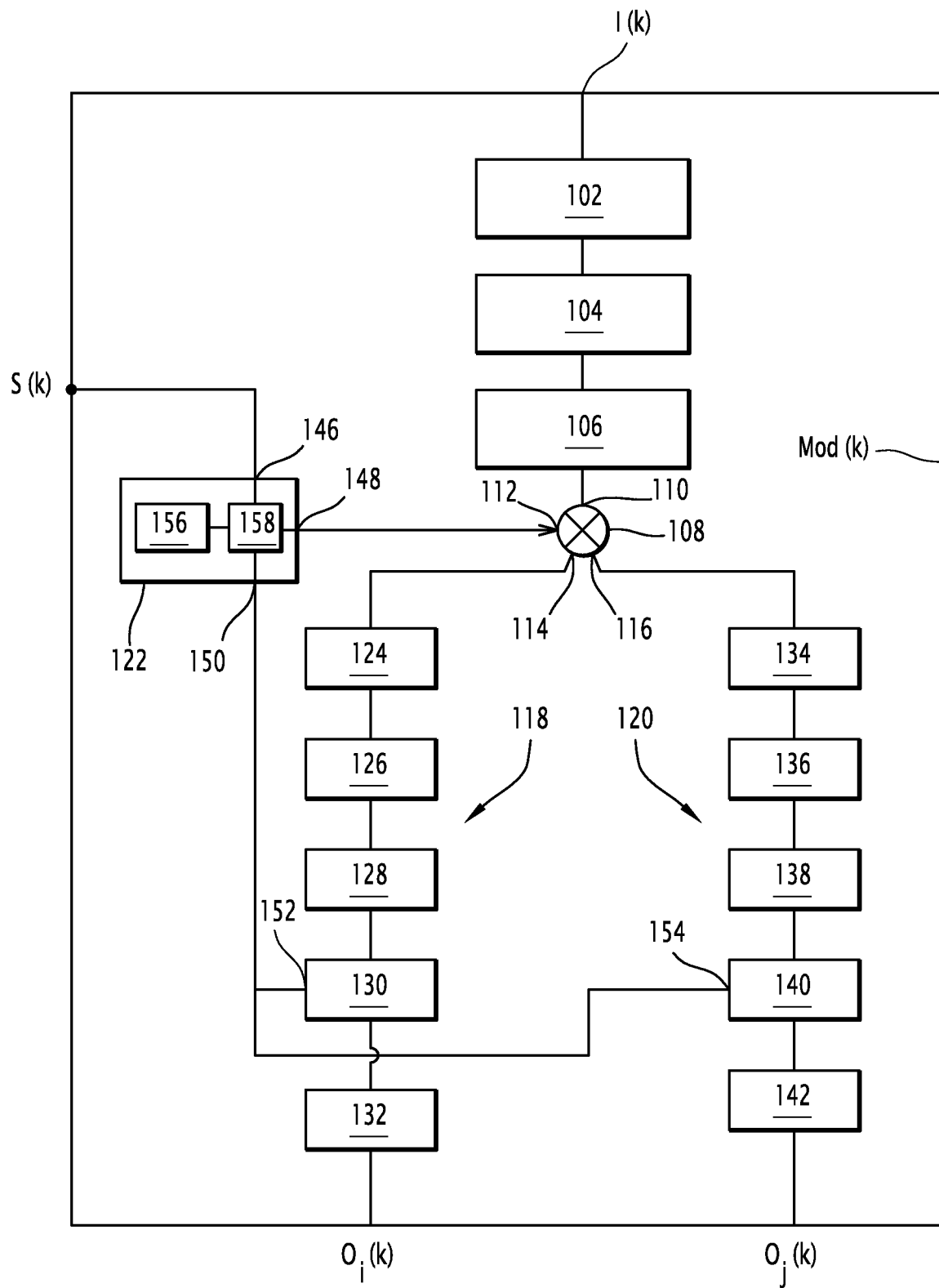
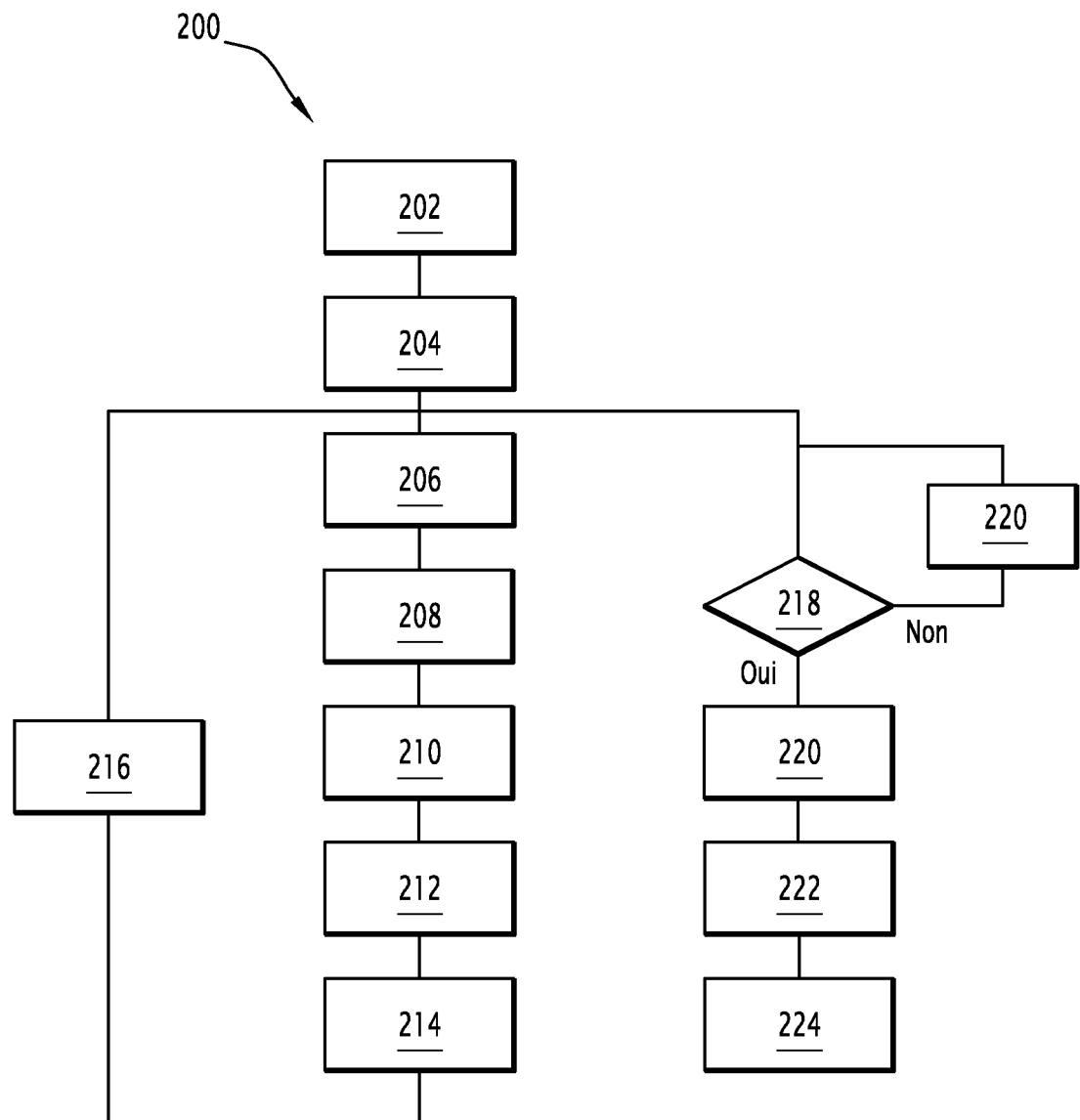


FIG.3

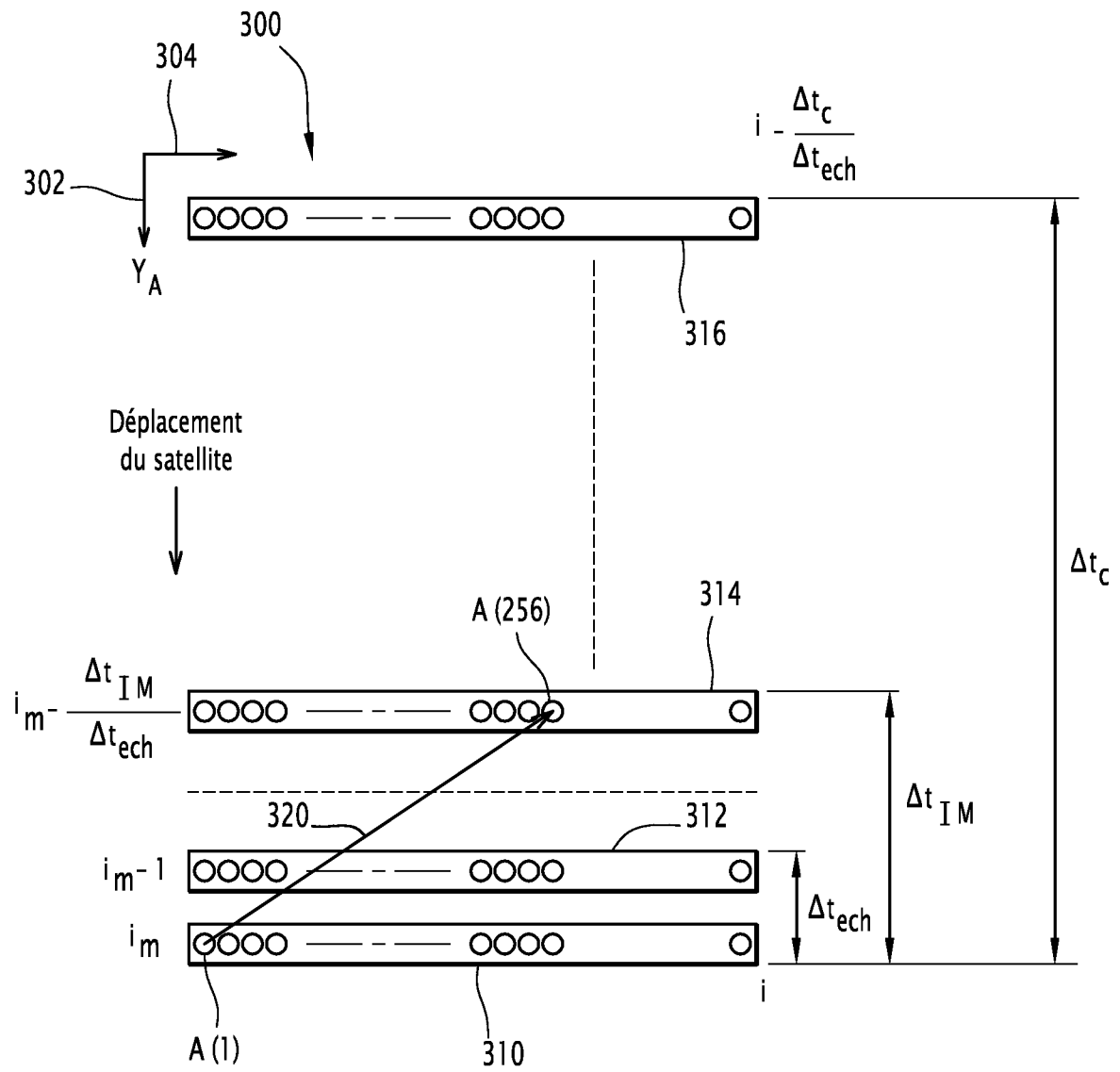
4/8

FIG.4

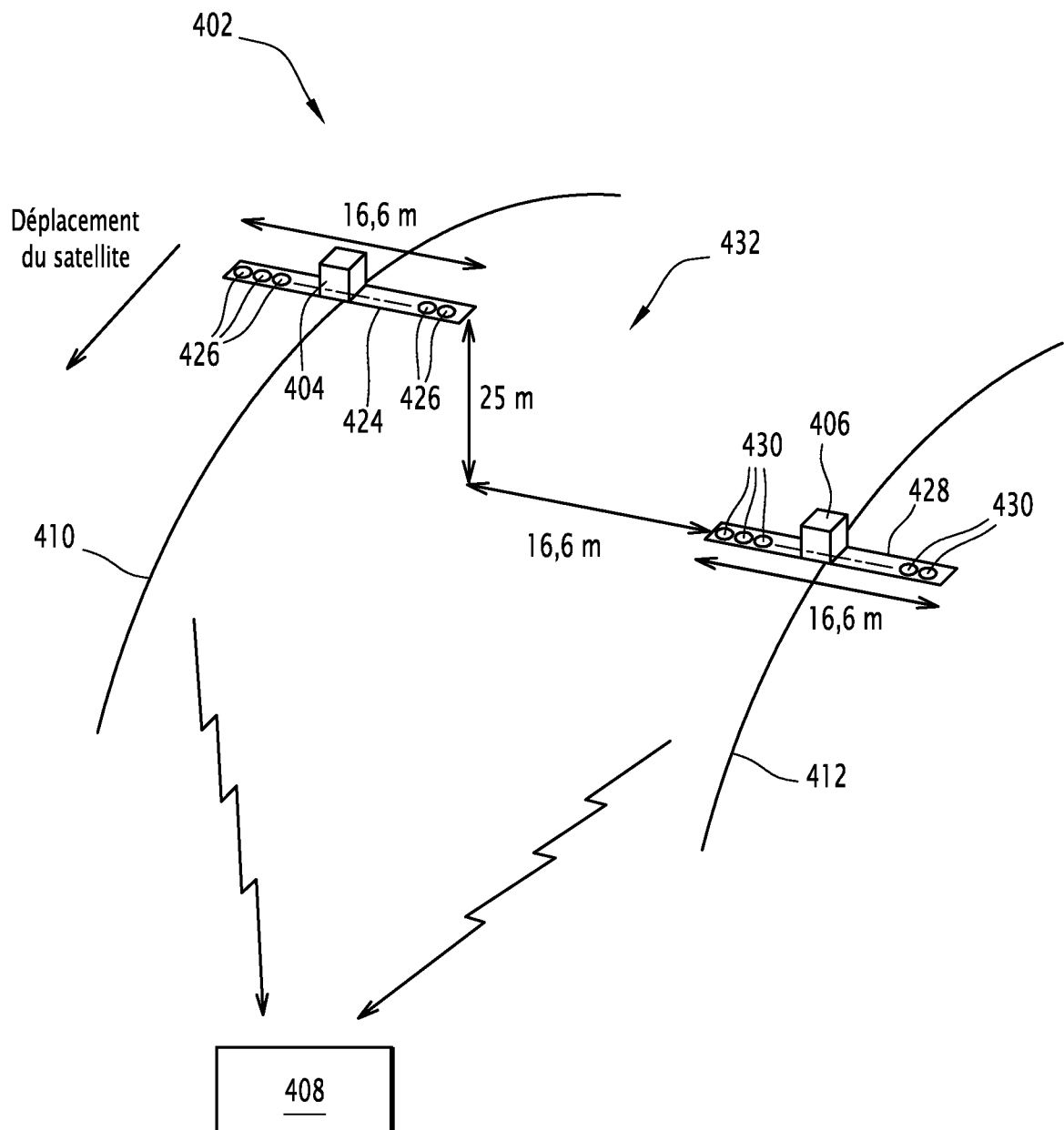
5/8

FIG.5

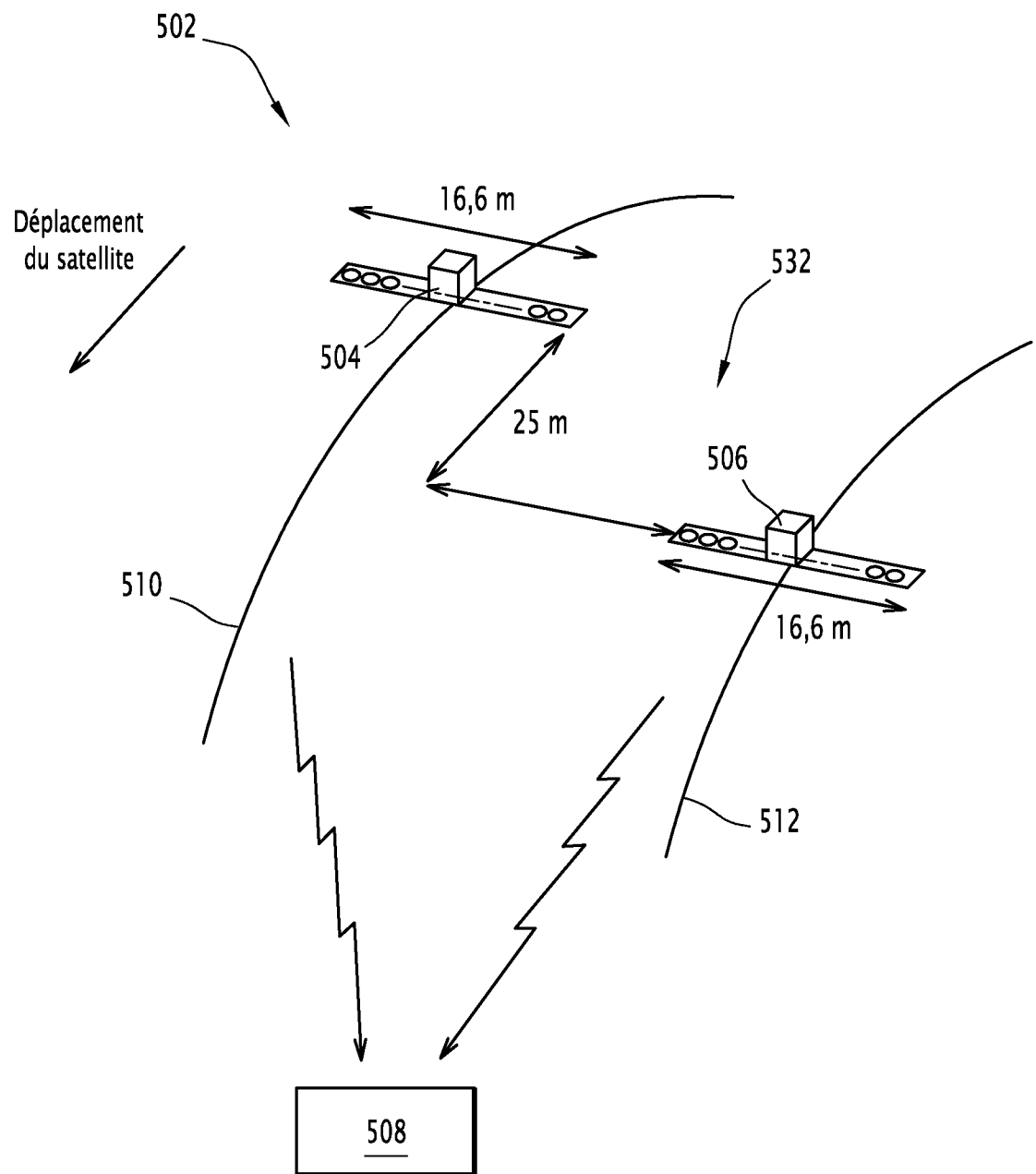
6/8

**FIG.6**

7/8

FIG.7

8/8

FIG.8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2010/050739

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01S3/06 G01S13/90 G01S13/95 G01K11/00 G01V3/17
G01S7/40

ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01S G01K G01V

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 practical, search terms used)

EPO-Internal, 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 4 724 439 A (WILEY CARL A [US] ET AL) 9 February 1988 (1988-02-09) * abstract; figures 1,8 column 11, line 20 - column 12, line 17 -----	1-15
A	GOUTOULE J-M ET AL: "Large interferometer antennas synthesised by satellittes in formation for earth remote sensing" GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2000. PROCEEDINGS. IGARSS 2000. IEEE 2000 INTERNATIONAL 24-28 JULY 2000, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, vol. 2, 24 July 2000 (2000-07-24), pages 869-870, XP010505891 ISBN: 978-0-7803-6359-5 the whole document ----- -/--	1-15

☒ 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 document 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

21 July 2010

Date of mailing of the international search report

27/07/2010

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

Mercier, Francois

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2010/050739

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	MARTIN-NEIRA M ET AL: "MIRAS, a two-dimensional aperture synthesis radiometer" GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 1994. IGARSS '94. SURFACE AND ATMOSPHERIC REMOTE SENSING: TECHNOLOGIES, DATA ANALYSIS AND INTERPRETATION., INTERNATIONAL PASADENA, CA, USA 8-12 AUG. 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, vol. 3, 8 August 1994 (1994-08-08), pages 1323-1325, XP010138556 ISBN: 978-0-7803-1497-9 * abstract	1-15
A	CAMPS A ET AL: "MIRAS End-to-End Calibration: Application to SMOS L1 Processor" IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 43, no. 5, 1 May 2005 (2005-05-01), pages 1126-1134, XP011130902 ISSN: 0196-2892 * abstract	1-15
A	MCMULLAN K D ET AL: "SMOS: The Payload" IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 46, no. 3, 1 March 2008 (2008-03-01), pages 594-605, XP011203535 ISSN: 0196-2892 * abstract paragraph [C. MOHA Description]; figure 3	1-15
A	EP 1 868 010 A1 (EUROP AGENCE SPATIALE [FR]) 19 December 2007 (2007-12-19) * abstract	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2010/050739

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4724439	A	09-02-1988	NONE
EP 1868010	A1	19-12-2007	AT 414918 T 15-12-2008
		ES 2320599 T3 25-05-2009	
		FR 2902526 A1 21-12-2007	
		US 2008007451 A1 10-01-2008	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2010/050739

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. G01S3/06 G01S13/90 G01S13/95 G01K11/00 G01V3/17 G01S7/40		
ADD. Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) G01S G01K G01V		
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, 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 4 724 439 A (WILEY CARL A [US] ET AL) 9 février 1988 (1988-02-09) * abrégé; figures 1,8 colonne 11, ligne 20 - colonne 12, ligne 17 -----	1-15
A	GOUTOULE J-M ET AL: "Large interferometer antennas synthesised by satellites in formation for earth remote sensing" GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2000. PROCEEDINGS. IGARSS 2000. IEEE 2000 INTERNATIONAL 24-28 JULY 2000, PISCATAWAY, NJ, USA, IEEE, vol. 2, 24 juillet 2000 (2000-07-24), pages 869-870, XP010505891 ISBN: 978-0-7803-6359-5 le document en entier ----- -/--	1-15
☒ 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 *Z* document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
21 juillet 2010	27/07/2010	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale		Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Mercier, Francois

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2010/050739

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	MARTIN-NEIRA M ET AL: "MIRAS, a two-dimensional aperture synthesis radiometer" GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 1994. IGARSS '94. SURFACE AND ATMOSPHERIC REMOTE SENSING: TECHNOLOGIES, DATA ANALYSIS AND INTERPRET ATION., INTERNATIONAL PASADENA, CA, USA 8-12 AUG. 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, vol. 3, 8 août 1994 (1994-08-08), pages 1323-1325, XP010138556 ISBN: 978-0-7803-1497-9 * abrégé	1-15
A	----- CAMPS A ET AL: "MIRAS End-to-End Calibration: Application to SMOS L1 Processor" IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 43, no. 5, 1 mai 2005 (2005-05-01), pages 1126-1134, XP011130902 ISSN: 0196-2892 * abrégé	1-15
A	----- MCMULLAN K D ET AL: "SMOS: The Payload" IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 46, no. 3, 1 mars 2008 (2008-03-01), pages 594-605, XP011203535 ISSN: 0196-2892 * abrégé alinéa [C. MOHA Description]; figure 3	1-15
A	----- EP 1 868 010 A1 (EUROP AGENCE SPATIALE [FR]) 19 décembre 2007 (2007-12-19) * abrégé -----	1-15

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2010/050739

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 4724439	A	09-02-1988	AUCUN	
EP 1868010	A1	19-12-2007	AT 414918 T	15-12-2008
			ES 2320599 T3	25-05-2009
			FR 2902526 A1	21-12-2007
			US 2008007451 A1	10-01-2008