

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 22.09.10.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 23.03.12 Bulletin 12/12.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : ONERA (OFFICE NATIONAL D'ETU-
DES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES) Etablis-
sement public — FR.

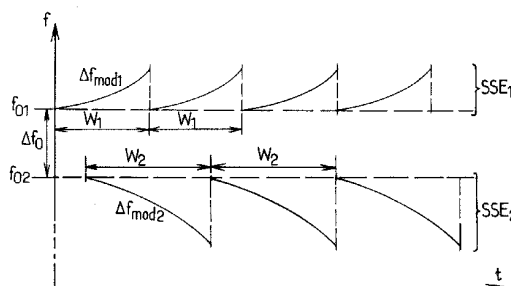
⑦2 Inventeur(s) : VALLA MATTHIEU, LEMAITRE
FRANCOIS, CARIOU JEAN-PIERRE, AUGERE BEA-
TRICE et BESSON CLAUDINE.

⑦3 Titulaire(s) : ONERA (OFFICE NATIONAL D'ETUDES
ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES) Etablis-
sement public.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

⑤4 MESURE TELEMETRIQUE UTILISANT UN DISPOSITIF DE TYPE LIDAR A DETECTION HETERODYNE.

⑤7 Un procédé de mesure télémétrique utilisant un dispo-
sitif LIDAR à détection hétérodyne met en oeuvre un signal
d'émission LIDAR qui est constitué de deux composantes
d'onde optique (SSE_1 , SSE_2) produites simultanément. Une
soustraction entre des fréquences de battement qui sont
produites par la détection hétérodyne, et qui correspondent
respectivement aux deux composantes (SSE_1 , SSE_2), per-
met d'obtenir une mesure d'une distance d'éloignement
d'une cible visée avec le dispositif. Une telle mesure est
exacte même lorsque la cible est en mouvement, et est ro-
buste par rapport à des distorsions de phase qui peuvent al-
térer les deux composantes du signal d'émission LIDAR.



MESURE TELEMETRIQUE UTILISANT UN DISPOSITIF DE TYPE LIDAR A DETECTION HETERODYNE

La présente invention concerne une mesure télémétrique qui est réalisée en utilisant un dispositif de type LIDAR à détection hétérodyne, aussi appelé LIDAR cohérent. Elle concerne un procédé ainsi qu'un dispositif pour effectuer une telle mesure.

5 Les dispositifs de type LIDAR, pour «Light Detection And Ranging» en anglais, sont très utilisés pour de nombreuses applications de détection et de mesure. Parmi ces applications, on peut citer la mesure de vitesses anémométriques, l'étude d'écoulements fluides, l'étude de phénomènes vibratoires, la mesure de vitesses de véhicules, des applications du domaine
10 du transport aérien, etc. Leur fonctionnement consiste à émettre une onde optique cohérente en direction d'une cible distante à étudier, et à recueillir une partie de cette onde qui est rétrodiffusée par la cible. Dans un dispositif LIDAR cohérent, la partie recueillie de l'onde rétrodiffusée est soumise à une détection hétérodyne. La mesure de vitesse de la cible est alors déduite d'un décalage
15 Doppler qui est mesuré dans un signal produit par la détection hétérodyne.

Il est aussi connu d'utiliser ces mêmes dispositifs pour obtenir une mesure de la distance d'éloignement de la cible. Une telle mesure, dite de télémétrie, est basée sur la détection du retard de propagation de l'onde émise puis rétrodiffusée, par rapport à un signal de référence modulé en fréquence
20 qui est utilisé pour la détection hétérodyne. Dans ce cas, la fréquence f_{Ref} de l'onde optique qui est émise en direction de la cible est :

$$f_{\text{Ref}} = f_0 + \Delta f_{\text{mod}}(t) \quad (1a)$$

où f_0 est une fréquence optique de base qui est constante, $\Delta f_{\text{mod}}(t)$ représente la modulation temporelle de la fréquence d'émission, et t désigne l'instant
25 d'émission. Pour obtenir une mesure de la distance D , Δf_{mod} est une fonction continue croissante ou décroissante en fonction du temps t . L'onde qui est rétrodiffusée par la cible possède alors la fréquence f_R suivante :

$$f_R = f_{\text{Ref}}(t - 2 \cdot D/C) + \Delta f_{\text{Doppler}} = f_0 + \Delta f_{\text{mod}}(t - 2 \cdot D/C) + \Delta f_{\text{Doppler}} \quad (1b)$$

- 2 -

où $\Delta f_{\text{Doppler}}$ désigne le décalage fréquentiel par effet Doppler qui est produit par le déplacement de la cible, D est la distance entre la tête optique d'émission-réception du dispositif LIDAR et la cible, et C est la vitesse de propagation de l'onde optique. La détection hétérodyne produit une mesure de l'écart Δf entre les fréquences f_{Ref} et f_R à un même instant de réception, qui est égal à :

$$\Delta f = f_R - f_{\text{Ref}} = \Delta f_{\text{mod}}(t - 2 \cdot D/C) - \Delta f_{\text{mod}}(t) + \Delta f_{\text{Doppler}} \quad (1c)$$

Cet écart Δf correspond à une fréquence de battement du signal qui est produit par la détection hétérodyne. Or, les contributions respectives de l'éloignement et de la vitesse de la cible sont mélangées dans cette fréquence de battement Δf .

Pour séparer ces deux contributions et obtenir des mesures à la fois pour la distance d'éloignement et la vitesse de déplacement de la cible, il est connu de moduler la fréquence de l'onde optique qui est émise de façon opposée pendant des fenêtres de temps successives. Ainsi, pendant une première fenêtre de temps qui est repérée par l'indice 1, la fréquence f_{Ref} de l'onde optique qui est émise et la fréquence de battement de la détection hétérodyne sont respectivement :

$$f_{\text{Ref } 1} = f_0 + \Delta f_{\text{mod}}(t_1) \quad (2a)$$

$$\Delta f_1 = \Delta f_{\text{mod}}(t_1 - 2 \cdot D(t_1)/C) - \Delta f_{\text{mod}}(t_1) + \Delta f_{\text{Doppler}}(t_1) \quad (2c)$$

puis pendant une seconde fenêtre de temps ultérieure qui est repérée par l'indice 2 et pendant laquelle la modulation de l'onde optique émise est $-\Delta f_{\text{mod}}(t)$:

$$f_{\text{Ref } 2} = f_0 - \Delta f_{\text{mod}}(t_2) \quad (2a')$$

$$\Delta f_2 = - [\Delta f_{\text{mod}}(t_2 - 2 \cdot D(t_2)/C) - \Delta f_{\text{mod}}(t_2)] + \Delta f_{\text{Doppler}}(t_2) \quad (2c')$$

Dans ces relations (2a), (2c) et (2a'), (2c'), t_1 et t_2 désignent deux instants qui appartiennent respectivement à la première et à la seconde fenêtre de temps.

On effectue alors la différence puis la somme des deux fréquences de battement Δf_1 et Δf_2 qui sont mesurées respectivement pour les deux fenêtres de temps successives. Si la distance d'éloignement de la cible et sa vitesse sont les mêmes pendant les deux fenêtres de temps, ces différence et somme

- 3 -

se réduisent à :

$$\Delta f_1 - \Delta f_2 = 2 \times [\Delta f_{\text{mod}}(t - 2 \cdot D/C) - \Delta f_{\text{mod}}(t)] \quad (3a)$$

$$\Delta f_1 + \Delta f_2 = 2 \times \Delta f_{\text{Doppler}} \quad (3b)$$

Connaissant la fonction $\Delta f_{\text{mod}}(t)$, la relation (3a) permet d'obtenir une
 5 mesure de la distance d'éloignement D à partir du résultat de la soustraction
 $\Delta f_1 - \Delta f_2$ entre les deux fréquences de battement. Par exemple, lorsque la
 fonction de modulation $\Delta f_{\text{mod}}(t)$ est une rampe linéaire, la différence $\Delta f_1 - \Delta f_2$
 est directement proportionnelle à la distance d'éloignement D . De façon plus
 générale, une mesure de la distance D est obtenue en réalisant un filtrage
 10 adapté du signal qui est produit par la détection hétérodyne. Simultanément, la
 somme $\Delta f_1 + \Delta f_2$ des deux fréquences de battement selon la relation (3b) est
 égale à $4 \cdot V/\lambda$, où V est la vitesse de déplacement de la cible et λ est la
 longueur d'onde optique utilisée : $\lambda = C/f_0$.

Mais les relations (3a) et (3b) ci-dessus sont inexactes lorsque la cible
 15 se déplace de sorte que la distance d'éloignement D et la vitesse V varient
 entre les deux fenêtres de temps successives : $D(t_1) \neq D(t_2)$ et $\Delta f_{\text{Doppler}}(t_1) \neq \Delta f_{\text{Doppler}}(t_2)$. En particulier, l'opération de soustraction entre les deux
 fréquences de battement Δf_1 et Δf_2 de la relation (3a) ne permet plus de
 supprimer la contribution de la vitesse de déplacement pour obtenir une
 20 grandeur mesurée qui ne dépende plus que de la distance d'éloignement D . En
 appliquant néanmoins les relations (3a) et (3b) à une telle cible en mouvement,
 les valeurs qui sont obtenues pour la distance D et la vitesse V ne sont
 qu'approximatives, voire sont inexactes.

D'autres phénomènes peuvent aussi modifier les résultats de telles
 25 mesures par rapport aux valeurs réelles de la distance d'éloignement D et de la
 vitesse V de la cible. Notamment, un bruit de phase qui altère l'onde optique
 émise puis rétrodiffusée d'une façon qui est différente pendant les deux
 fenêtres de temps successives est particulièrement néfaste. Or un tel bruit de
 phase peut être produit lors de l'amplification de l'onde optique qui est destinée
 30 à être émise, lors de son émission elle-même, et/ou par des turbulences du
 milieu de propagation de l'onde optique entre le dispositif LIDAR et la cible. En
 particulier, des turbulences atmosphériques perturbent de telles mesures

- 4 -

télémétriques et vélocimétriques qui sont réalisées pour des applications de trafic aérien ou de contrôle à longue distance.

Dans ces conditions, un but de l'invention consiste à fournir des mesures télémétriques dont l'exactitude est améliorée, notamment pour une
5 cible mobile.

Un autre but de l'invention est de fournir de telles mesures télémétriques, qui utilisent encore un dispositif LIDAR à détection hétérodyne, mais qui soient robustes par rapport à des phénomènes parasites qui peuvent altérer l'onde optique qui est mise en œuvre.

10 Pour atteindre ces buts et d'autres, l'invention propose un procédé de mesure télémétrique qui utilise un dispositif de type LIDAR à détection hétérodyne, dans lequel un signal d'émission d'onde optique est produit en direction d'une cible à partir d'une tête optique du dispositif, et un signal rétrodiffusé qui provient de la cible est recueilli par cette tête optique, puis
15 détecté par détection hétérodyne de façon à produire un signal de détection hétérodyne, le procédé comprenant les étapes suivantes :

/1/ produire une modulation de fréquence de l'onde optique dans le signal d'émission, cette modulation comprenant des segments de croissance continue et des segments de décroissance continue de la fréquence ;

20 /2/ soustraire l'une à l'autre deux fréquences de battement du signal de détection hétérodyne qui sont obtenues respectivement pour le segment de croissance et le segment de décroissance ; et

/3/ déduire une valeur d'une distance d'éloignement de la cible, à partir d'un résultat de la soustraction des fréquences de battement.

25 Le procédé de l'invention est caractérisé en ce que l'étape /1/ est exécutée de sorte que le signal d'émission possède simultanément deux composantes d'onde optique, avec une première de ces composantes d'onde optique qui est modulée en fréquence selon les segments de croissance continue pour la fréquence de cette première composante, en même temps
30 qu'une seconde de ces composantes d'onde optique est modulée en fréquence

- 5 -

selon les segments de décroissance continue pour la fréquence de cette seconde composante.

L'étape /2/ est alors exécutée en soustrayant une première fréquence de battement qui est obtenue pour la première composante d'onde optique à l'intérieur du signal de détection hétérodyne, à une seconde fréquence de battement qui est obtenue pour la seconde composante d'onde optique à l'intérieur du même signal de détection hétérodyne, ces première et seconde fréquences de battement étant relatives à un même instant de détection du signal rétrodiffusé.

Ainsi, l'invention consiste à émettre une onde optique LIDAR qui est composite en direction de la cible, cette onde d'émission comprenant simultanément les deux composantes d'onde optique à certains instants au moins du fonctionnement du dispositif. La mesure de la distance d'éloignement de la cible est alors déduite d'une différence entre les fréquences de battement de la détection hétérodyne qui sont obtenues respectivement pour les deux composantes de l'onde d'émission, et pour un même instant d'émission.

Les contributions respectives de la distance d'éloignement et de la vitesse de la cible aux fréquences de battement, sont identiques pour les deux composantes de l'onde optique qui sont mises en œuvre, puisque ces fréquences de battement sont produites pour un même instant de détection hétérodyne. Ainsi, les valeurs de la distance d'éloignement et de la vitesse de la cible sont univoques pour chaque mesure. L'opération de soustraction de l'étape /2/, entre les deux fréquences de battement qui sont produites par la détection hétérodyne, permet donc de supprimer avec exactitude la contribution de la vitesse de déplacement de la cible. Autrement dit, la relation (3a) qui est donnée ci-dessus reste exacte même lorsque la cible est mobile, et la valeur qui est ainsi obtenue pour la distance d'éloignement de la cible, à partir du résultat de cette soustraction, correspond exactement à la distance réelle à l'instant de la mesure.

En outre, des perturbations qui peuvent affecter l'onde LIDAR qui est émise, notamment sa phase, altèrent de la même façon les deux composantes d'onde optique. Tel est le cas notamment, pour un bruit de phase qui serait

- 6 -

produit lors de l'amplification ou de l'émission de l'onde LIDAR, ou encore par des turbulences atmosphériques qui se produiraient entre le dispositif LIDAR et la cible. Les contributions de telles perturbations se compensent alors mutuellement entre les deux composantes d'onde optique lors de l'opération de soustraction de l'étape /2/. De cette façon, le résultat de la mesure télémétrique qui est obtenu à l'issue de l'étape /3/ est robuste par rapport à de telles perturbations.

Dans des mises en œuvre de l'invention qui sont préférées, notamment pour leur simplicité, les perfectionnements suivants peuvent être utilisés, chacun isolément ou par combinaison de plusieurs d'entre eux :

- les variations de fréquence dans les segments de croissance continue et dans les segments de décroissance continue, respectivement pour la première et la seconde composante d'onde optique du signal d'émission, peuvent être opposées ;
- les segments de croissance continue de la fréquence et les segments de décroissance continue de la fréquence, respectivement pour la première et la seconde composante d'onde optique du signal d'émission, peuvent être des rampes linéaires de pentes constantes ;
- les segments de croissance continue de la fréquence et les segments de décroissance continue de la fréquence, respectivement pour la première et la seconde composante d'onde optique du signal d'émission, peuvent être synchrones à chaque instant du fonctionnement du dispositif ; et
- la fréquence modulée de la première composante d'onde optique peut être obtenue à l'étape /1/ en appliquant les segments de croissance continue à partir d'une première fréquence optique initiale, et la fréquence modulée de la seconde composante d'onde optique peut être obtenue en appliquant les segments de décroissance continue à partir d'une seconde fréquence optique initiale, avec la première fréquence optique initiale qui est supérieure à la seconde fréquence optique initiale d'un écart fixé.

L'invention propose aussi un dispositif de type LIDAR à détection

- 7 -

hétérodyne adapté pour effectuer des mesures télémétriques, et comprenant :

- un oscillateur laser, qui est adapté pour produire une onde optique ;
- un séparateur optique, qui est disposé pour diviser l'onde optique en un signal de source d'émission et un signal de référence ;
- 5 - un amplificateur optique, qui est adapté pour produire un signal d'émission à partir du signal de source d'émission ;
- une tête optique, qui est adaptée pour transmettre le signal d'émission en direction d'une cible et pour recevoir un signal rétrodiffusé provenant de la cible ;
- 10 - une unité de mélange-détection, qui est adaptée pour transmettre le signal d'émission à la tête optique, et pour produire un signal de détection hétérodyne à partir du signal rétrodiffusé reçu par la tête optique et du signal de référence ;
- des moyens d'analyse du signal de détection hétérodyne, qui sont
15 adaptés pour réaliser un traitement spectral du signal de détection hétérodyne ;
- un modulateur, qui est disposé pour moduler en fréquence au moins le signal de source d'émission ; et
- une unité de commande qui est reliée à une entrée de commande du
20 modulateur.

Le dispositif de l'invention est caractérisé en ce l'unité de commande est adaptée pour commander un fonctionnement du modulateur pour mettre en œuvre un procédé tel que décrit précédemment. Pour cela, le signal de source d'émission est modulé pour générer les deux composantes d'onde optique
25 dans le signal d'émission, avec des fréquences de ces composantes qui varient respectivement selon des segments de croissance continue ou de décroissance continue. De plus, les moyens d'analyse sont adaptés pour fournir un résultat de la soustraction de la première fréquence de battement obtenue pour la première composante d'onde optique à l'intérieur du signal de
30 détection hétérodyne, à la seconde fréquence de battement obtenue pour la seconde composante d'onde optique à l'intérieur du même signal de détection

hétérodyne, ces première et seconde fréquences de battement étant relatives à un même instant de détection du signal rétrodiffusé. Ils sont adaptés en outre pour déduire la valeur de la distance d'éloignement de la cible à partir du résultat de la soustraction des deux fréquences de battement.

5 Selon une possibilité, les moyens d'analyse peuvent être adaptés pour combiner une première partie du signal de détection hétérodyne qui possède la première fréquence de battement et qui correspond à la première composante d'onde optique du signal d'émission, avec une seconde partie du même signal de détection hétérodyne qui possède la seconde fréquence de battement et qui
10 correspond à la seconde composante d'onde optique du signal d'émission. Les mêmes moyens d'analyse peuvent alors mesurer une différence entre les première et seconde fréquences de battement en tant que fréquence d'un signal résultant de la combinaison.

 Selon une autre possibilité, les première et seconde fréquences de
15 battement peuvent être déterminées séparément, et l'opération de soustraction entre elles peut être effectuée numériquement.

 Dans un perfectionnement d'un dispositif selon l'invention, les moyens d'analyse peuvent en outre être adaptés pour additionner la première fréquence de battement qui est obtenue pour la première composante d'onde
20 optique à l'intérieur du signal de détection hétérodyne, à la seconde fréquence de battement qui est obtenue pour la seconde composante d'onde optique à l'intérieur du même signal de détection hétérodyne, ces première et seconde fréquences de battement étant relatives à un même instant de détection du signal rétrodiffusé, et pour effectuer une analyse d'effet Doppler de façon à
25 déduire une valeur pour la vitesse de déplacement de la cible à partir du résultat de l'addition des première et seconde fréquences de battement. Le dispositif peut alors fournir simultanément des mesures de la distance d'éloignement et de la vitesse de la cible, qui sont relatives à un même instant au cours d'un déplacement de la cible.

30 D'autres particularités et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description ci-après d'exemples de mise en œuvre non limitatifs, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- 9 -

- les figures 1a et 1b montrent deux architectures de dispositifs LIDAR à détection hétérodyne, avec lesquelles l'invention peut être mise en œuvre ;
- les figures 2a et 2b illustrent deux compositions possibles pour un signal d'émission LIDAR adapté selon l'invention ; et
- les figures 3a et 3b illustrent deux modes de réalisation d'un modulateur de fréquence pouvant être utilisé alternativement dans chaque architecture des figures 1a et 1b.

Dans les figures 1a et 1b, des éléments qui sont désignés par des références identiques sont eux-mêmes identiques ou ont des fonctions qui sont identiques. En outre, les références suivantes désignent les composants qui sont indiqués ci-après, et qui sont utilisés de la même façon que dans un dispositif LIDAR à détection hétérodyne, de type monostatique, tel que connu avant la présente invention :

- 100 : le dispositif LIDAR à détection hétérodyne dans son ensemble ;
- 1 : un oscillateur laser, qui est adapté pour produire une onde optique OL ;
- 2 : un séparateur optique, qui est disposé pour diviser l'onde optique OL en un signal de source d'émission SSE et un signal de référence S_{Ref} ;
- 3 : un amplificateur optique, qui est adapté pour produire un signal d'émission SE à partir du signal de source d'émission SSE ;
- 11 : une unité de mélange-détection («mixing and detection unit») ;
- 12 : une tête optique, qui est adaptée pour transmettre le signal d'émission SE en direction d'une cible et pour recevoir un signal rétrodiffusé R ; et
- 20 : des moyens d'analyse.

En outre, T désigne la cible dont la distance d'éloignement D par rapport à la tête optique 12 doit être mesurée, ainsi que sa vitesse radiale V, éventuellement. La direction qui relie la tête optique 12 à la cible T est la direction de pointage du dispositif 100. On entend alors par vitesse radiale V de

- 10 -

la cible T la composante de la vitesse de cette cible qui est parallèle à la direction de pointage.

L'oscillateur laser 1, le séparateur optique 2 et l'amplificateur 3 peuvent appartenir à une unité laser d'émission 10, qui produit le signal d'émission SE.

5 De façon connue et particulièrement avantageuse, chacun de ces composants peut être réalisé à partir d'au moins une fibre optique qui conduit l'onde optique OL ou les signaux SSE, S_{Ref} ou SE. De façon courante, l'onde optique OL et les signaux SSE, S_{Ref} et SE appartiennent à la bande de rayonnement électromagnétique infrarouge, pour laquelle la longueur d'onde est comprise
10 entre 1,535 μm et 1,565 μm (micromètre).

L'unité de mélange-détection 11 est adaptée pour transmettre le signal d'émission SE à la tête optique 12, et pour produire un signal de détection hétérodyne S_{RF} à partir du signal rétrodiffusé R qui est reçu par la tête optique 12 et du signal de référence S_{Ref} .

15 Les moyens d'analyse 20 sont adaptés pour analyser le signal de détection hétérodyne S_{RF} . D'une façon qui est couramment utilisée, ces moyens d'analyse 20 réalisent une combinaison d'opérations de filtrage, de composition de signaux, d'analyse spectrale, ainsi qu'une analyse d'effet Doppler, à partir du signal de détection hétérodyne S_{RF} .

20 Le dispositif 100 peut comprendre aussi d'autres composants, d'une façon qui est usuelle pour des dispositifs LIDAR à détection hétérodyne. De tels composants ne sont pas repris dans la présente description, dans la mesure où ils n'ont pas de liaison directe avec l'objet de l'invention.

En plus des composants précédents, un dispositif 100 selon l'invention
25 comprend :

- un modulateur de fréquence 4, pour moduler au moins le signal de source d'émission SSE ; et

- une unité de commande 40, pour commander un fonctionnement du modulateur de fréquence 4.

30 Dans le dispositif 100 de la figure 1a, le modulateur 4 est disposé pour recevoir en entrée le signal de source d'émission SSE qui est produit par le

séparateur optique 2, et pour transmettre en sortie le signal de source d'émission modulé à l'amplificateur optique 3. Autrement dit, le modulateur 4 est situé entre le séparateur 2 et l'amplificateur 3. Dans ce premier cas, seul le signal de source d'émission SSE comporte la modulation de fréquence qui est produite par le modulateur 4.

Dans le dispositif alternatif 100 de la figure 1b, le modulateur 4 est disposé pour recevoir en entrée l'onde optique OL qui est produite par l'oscillateur laser 1, et pour transmettre en sortie cette onde optique modulée au séparateur optique 2. Autrement dit, le modulateur 4 est situé entre l'oscillateur laser 1 et le séparateur 2. Dans ce second cas, le signal de source d'émission SSE et le signal de référence S_{Ref} sont modulés d'une façon identique.

Les deux dispositifs 100 des figures 1a et 1b sont équivalents vis-à-vis de l'invention, si bien que toutes les mises en œuvre de l'invention qui sont décrites dans la suite peuvent utiliser indifféremment l'un ou l'autre de ces dispositifs.

Le modulateur 4 produit la modulation temporelle du signal de source d'émission SSE qui est illustrée par la figure 2a. Cette modulation génère deux composantes à l'intérieur du signal SSE, qui sont appelées composantes d'onde optique et notées respectivement SSE_1 et SSE_2 . Chacune de ces composantes est elle-même modulée en fréquence à l'intérieur de périodes temporelles successives. Dans le diagramme de la figure 2a, l'axe des abscisses repère le temps t , et l'axe des ordonnées repère la fréquence instantanée f de chaque composante. La fréquence de la première composante SSE_1 croît continûment à l'intérieur de chaque période temporelle W_1 , et la fréquence de la seconde composante SSE_2 décroît continûment à l'intérieur de chaque période temporelle W_2 . De façon générale pour l'invention, il n'est pas nécessaire que les périodes W_1 et W_2 aient des durées qui soient identiques ou soient synchrones. De même, les variations de la fréquence de chaque composante SSE_1 ou SSE_2 peuvent être quelconques dans chaque période, à condition que la fréquence soit croissante pour la première composante SSE_1 et décroissante pour la seconde composante SSE_2 . Les variations de la

- 12 -

fréquence de la composante SSE_1 à l'intérieur de chaque période W_1 sont alors appelées segments de croissance continue et notés $\Delta f_{\text{mod } 1}$, et celles de la composante SSE_2 à l'intérieur de chaque période W_2 segments de décroissance continue et notés $\Delta f_{\text{mod } 2}$. Du fait de ces sens de variations différents, les variations de la fréquence de la composante SSE_1 sont toujours différentes de celles de la fréquence de la composante SSE_2 , entre deux instants qui appartiennent à la fois à une même période W_1 et à une même période W_2 .

Pour une raison qui sera expliquée plus loin, les variations de fréquence de la composante SSE_1 peuvent avantageusement démarrer à partir d'une première fréquence f_{01} au début de chaque période W_1 , et celles de la composante SSE_2 à partir d'une seconde fréquence f_{02} au début de chaque période W_2 , f_{01} étant supérieure à f_{02} d'un écart fixé Δf_0 : $f_{01} - f_{02} = \Delta f_0$.

La figure 2b correspond à la figure 2a pour un mode préféré de mise en œuvre de l'invention. Dans ce mode de mise en œuvre, les deux composantes SSE_1 et SSE_2 ont des variations de fréquence respectives qui sont opposées, synchrones et linéaires à l'intérieur de périodes de temps communes W . Autrement dit, la fréquence de la composante SSE_1 varie selon des rampes croissantes rectilignes, ou linéaires, avec une pente positive qui est notée K_{mod} , et la fréquence de la composante SSE_2 varie simultanément selon des rampes décroissantes rectilignes de pente $-K_{\text{mod}}$. A titre d'exemple, la période W peut être de l'ordre de quelques millisecondes lorsque le modulateur 4 est de type électro-optique. L'écart de fréquence optique Δf_0 peut être de l'ordre de 1 GHz (gigahertz).

Pour réaliser de telles modulations du signal de source d'émission SSE, qui soient conformes à la figure 2a ou 2b, le modulateur de fréquence 4 peut être réalisé en utilisant un modulateur d'intensité ou un modulateur de phase.

La figure 3a illustre une réalisation du modulateur de fréquence 4 à partir d'un modulateur d'intensité électro-optique. Un tel modulateur d'intensité peut comprendre deux cellules de Pockels 41 et 42 qui sont connectées optiquement en parallèle, de façon à recevoir chacune environ la moitié de

l'intensité du signal de source d'émission SSE dans le cas d'un dispositif 100 qui est conforme à la figure 1a, ou la moitié environ de l'intensité de l'onde optique OL dans le cas d'un dispositif 100 qui est conforme à la figure 1b. De façon connue, une cellule de Pockels produit un champ électrique variable à l'intérieur d'un matériau actif qui est adapté pour modifier la phase d'une onde optique en fonction du champ électrique. Les cellules de Pockels 41 et 42 peuvent être à base de niobate de lithium et sont de préférence identiques. Le modulateur 4 comprend en outre un générateur électrique de signal de modulation 43, qui est connecté à des entrées de commande respectives des deux cellules de Pockels 41 et 42. En outre, les deux cellules 41 et 42 sont orientées de façon que le même signal de modulation qui est produit par le générateur 43 génère des déphasages optiques qui sont opposés entre les deux cellules, à chaque instant d'un fonctionnement du dispositif 100. Par ailleurs, un générateur additionnel de tension continue 44 peut être inséré entre la sortie du générateur 43 et l'une des deux cellules de Pockels, par exemple la cellule 42. Le générateur 43 est commandé par l'unité 40 pour produire une tension sinusoïdale de modulation V_{mod} dont la phase varie quadratiquement en fonction du temps selon la relation :

$$V_{\text{mod}} = \beta \cdot V_{1 \text{ rad}} \cdot \cos(\pi \cdot K \cdot t^2) \quad (4)$$

en repartant de 0 à chaque début de période W . β est le rapport entre l'amplitude de la tension de modulation et la tension électrique $V_{1 \text{ rad}}$ qui est nécessaire pour qu'une cellule de Pockels change de 1 radian la phase de la partie d'onde optique qui la traverse. D'une façon superposée au déphasage variable d'onde optique qui est produit par le générateur 43, le générateur 44 produit un déphasage supplémentaire constant α , entre les ondes qui traversent respectivement les deux cellules 41 et 42. De façon connue, le développement en série de Bessel du champ total de l'onde optique à la sortie S du modulateur 4, après la superposition des parties d'onde qui ont traversé respectivement les cellules 41 et 42, montre que l'onde optique résultante possède la forme à deux composantes de la figure 2b, pour le couple de valeurs $\alpha = 0$ et $\beta = 2,4048$ avec la pente $K_{\text{mod}} = 2 \times K$, ou pour le couple de valeurs $\alpha = \pi$ et $\beta = 1,8412$ avec la pente $K_{\text{mod}} = K$. Dans la pratique, le second de ces couples de valeurs pour α et β est préféré, car la modulation de l'onde

optique qui est obtenue est alors moins sensible à des fluctuations de paramètres du modulateur.

L'Homme du métier sait en outre comment modifier la relation (4) de la tension de modulation pour introduire l'écart Δf_0 entre les valeurs de départ des rampes respectives de modulation de fréquence des deux composantes SSE₁ et SSE₂.

Les inventeurs signalent toutefois qu'il est préférable que l'écart entre les fréquences respectives des deux composantes SSE₁ et SSE₂ soit supérieur à l'inverse d'un temps de réaction de l'amplificateur 3. De cette façon, l'amplification du signal de source d'émission ne génère pas de distorsion du signal d'émission SE.

La figure 3b illustre une réalisation du modulateur de fréquence 4 à partir d'un modulateur de phase électro-optique. Un tel modulateur de phase est adapté pour produire une modulation de fréquence d'une onde optique conformément à un signal de commande qui est périodique à deux états. Il peut comprendre une cellule de Pockels 45 qui est connectée pour recevoir en entrée le signal de source d'émission SSE (figure 1a) ou l'onde optique OL (figure 1b). Le modulateur 4 comprend alors un générateur électrique de signal de modulation 46 qui est connecté à une entrée de commande de la cellule 45. Lorsque le générateur 46 est commandé par l'unité 40 pour produire le signal de commande périodique à deux états, correspondant respectivement aux valeurs de tension électrique $V_{\pi/2}$ et $V_{-\pi/2}$, et avec une fréquence de commutation qui varie elle-même linéairement en fonction du temps, l'onde optique modulée possède encore la forme à deux composantes de la figure 2b. Dans ce signal de commande, les valeurs $V_{\pi/2}$ et $V_{-\pi/2}$ sont sélectionnées pour que la cellule de Pockels 45 produise des variations égales à $\pi/2$ et $-\pi/2$, respectivement, de la phase de l'onde optique qui la traverse.

Lorsque le signal de source d'émission SSE est constitué des deux composantes SSE₁ et SSE₂, le signal de détection hétérodyne S_{RF}, qui est transmis par l'unité de détection 11 aux moyens d'analyse 20, comprend des termes de superposition de chaque composante rétrodiffusée avec le signal de référence S_{Ref} utilisé. Ces termes présentent une fréquence de battement qui

- 15 -

est égale à la différence entre les fréquences des ondes optiques qui sont superposées. Ainsi, pour un dispositif 100 qui est conforme à la figure 1a, c'est-à-dire lorsque l'onde de référence S_{Ref} n'est pas elle-même modulée, la fréquence de celle-ci est f_0 , et les fréquences des deux composantes d'onde optique SSE₁ et SSE₂ rétrodiffusées par la cible T sont :

$$f_1 = f_0 + \Delta f_{mod\ 1}(t - 2 \cdot D/C) + \Delta f_{Doppler} \quad (5a)$$

$$f_2 = f_0 + \Delta f_{mod\ 2}(t - 2 \cdot D/C) + \Delta f_{Doppler} \quad (5b)$$

où $\Delta f_{mod\ 1}$ et $\Delta f_{mod\ 2}$ sont les deux fonctions de modulation continues, croissante et décroissante par segments respectivement pour les composantes d'onde optique SSE₁ et SSE₂. La première fréquence de battement mesurée pour la composante SSE₁ est alors :

$$\Delta f_1 = f_1 - f_0 = f_{01} - f_0 + \Delta f_{mod\ 1}(t - 2 \cdot D/C) + \Delta f_{Doppler} \quad (6a)$$

et la seconde fréquence de battement, qui est mesurée pour la composante SSE₂, est :

$$\Delta f_2 = f_2 - f_0 = f_{02} - f_0 + \Delta f_{mod\ 2}(t - 2 \cdot D/C) + \Delta f_{Doppler} \quad (6b)$$

Grâce au procédé de l'invention, les valeurs de la distance d'éloignement D de la cible T et du décalage Doppler $\Delta f_{Doppler}$ sont rigoureusement les mêmes dans les deux relations (6a) et (6b), puisque ces valeurs se rapportent à des signaux de détection qui sont simultanés.

Lors d'une combinaison par les moyens d'analyse 20 des deux battements de détection hétérodyne qui ont les fréquences données par les relations (6a) et (6b), les fréquences suivantes apparaissent par soustraction et par addition, en supposant que f_0 est égale à la moyenne de f_{01} et f_{02} :

$$\Delta f_1 - \Delta f_2 = \Delta f_0 + [\Delta f_{mod\ 1} - \Delta f_{mod\ 2}](t - 2 \cdot D/C) \quad (7a)$$

$$\Delta f_1 + \Delta f_2 = [\Delta f_{mod\ 1} + \Delta f_{mod\ 2}](t - 2 \cdot D/C) + 2 \cdot \Delta f_{Doppler} \quad (7b)$$

Les composantes de signal qui ont respectivement la fréquence $\Delta f_1 - \Delta f_2$ et la fréquence $\Delta f_1 + \Delta f_2$ peuvent facilement être séparées par filtrage fréquentiel, grâce à la présence du terme Δf_0 dans la relation (7a).

Dans ce cas de la figure 1a, avec la fonction composite $[\Delta f_{mod\ 1} - \Delta f_{mod\ 2}]$ qui n'est pas nécessairement linéaire mais qui est néanmoins

connue, l'Homme du métier sait déduire de la relation (7a) une mesure de la distance d'éloignement D. En effet, il est possible notamment de comprimer temporellement la composante du signal de combinaison qui correspond à la soustraction des fréquences de battement Δf_1 et Δf_2 , en utilisant la technique bien connue de la compression d'impulsions. Une telle compression d'impulsions est réalisée usuellement en utilisant un filtre adapté, c'est-à-dire en filtrant la composante du signal qui correspond à la fréquence $\Delta f_1 - \Delta f_2$ avec une réplique renversée temporellement de cette même composante. La réplique renversée temporellement possède une fréquence instantanée qui est égale à $[\Delta f_{\text{mod } 1} - \Delta f_{\text{mod } 2}](-t)$. Ce type de filtrage remet en phase les composantes spectrales du signal en entrée de filtre, si bien que la réponse temporelle du signal en sortie de filtre est comprimée jusqu'à atteindre la limite de Fourier. Ainsi, la cible T apparaît alors dans le signal filtré comme si le signal d'émission LIDAR avait été produit par un laser à fonctionnement par impulsions, dont la durée des impulsions est égale à l'inverse de l'excursion en fréquence de la fonction composite $[\Delta f_{\text{mod } 1} - \Delta f_{\text{mod } 2}]$. La réponse temporelle ainsi comprimée permet, en mesurant le retard de propagation, d'obtenir une valeur pour la distance d'éloignement D de la cible T.

Pour un dispositif 100 qui est conforme à la figure 1b, l'onde de référence S_{Ref} comporte elle-même les deux composantes SSE_1 et SSE_2 . Dans ce cas, la première fréquence de battement résulte de la superposition de la composante SSE_1 telle qu'émise avec la même composante SSE_1 rétrodiffusée par la cible T puis reçue par la tête optique 12. Cette première fréquence de battement est alors :

$$\Delta f_1 = \Delta f_{\text{mod } 1}(t - 2 \cdot D/C) - \Delta f_{\text{mod } 1}(t) + \Delta f_{\text{Doppler}} \quad (6a')$$

De même, la seconde fréquence de battement résulte de la superposition de la composante SSE_2 telle qu'émise avec la même composante SSE_2 rétrodiffusée par la cible T puis reçue par la tête optique 12 :

$$\Delta f_2 = \Delta f_{\text{mod } 2}(t - 2 \cdot D/C) - \Delta f_{\text{mod } 2}(t) + \Delta f_{\text{Doppler}} \quad (6b')$$

Comme précédemment, les valeurs de la distance d'éloignement D et du décalage Doppler $\Delta f_{\text{Doppler}}$ qui interviennent dans la relation (6a') sont rigoureusement égales à celles qui interviennent dans la relation (6b'), puisque

ces valeurs se rapportent à des instants de détection qui sont identiques pour les deux composantes d'onde optique SSE_1 et SSE_2 , grâce à l'invention.

Des termes additionnels apparaissent en outre dans le signal de détection hétérodyne S_{RF} pour ce second cas conforme à la figure 1b, qui correspondent à la superposition de la composante SSE_1 telle qu'émise par la tête optique 12 avec la composante SSE_2 telle que rétrodiffusée puis reçue, ainsi qu'à la superposition de la composante SSE_2 telle qu'émise par la tête optique 12 avec la composante SSE_1 telle que rétrodiffusée puis reçue. Mais ces termes ont une fréquence de battement qui est proche de Δf_0 , et sont éliminés par filtrage fréquentiel.

Les relations (7a) et (7b) deviennent alors dans le cas de la figure 1b :

$$\Delta f_1 - \Delta f_2 = [\Delta f_{\text{mod } 1} - \Delta f_{\text{mod } 2}](t - 2 \cdot D/C) - [\Delta f_{\text{mod } 1} - \Delta f_{\text{mod } 2}](t) \quad (7a')$$

$$\Delta f_1 + \Delta f_2 = [\Delta f_{\text{mod } 1} + \Delta f_{\text{mod } 2}](t - 2 \cdot D/C) - [\Delta f_{\text{mod } 1} + \Delta f_{\text{mod } 2}](t) + 2 \cdot \Delta f_{\text{Doppler}} \quad (7b')$$

Lorsque les deux fonctions de modulation $\Delta f_{\text{mod } 1}$ et $\Delta f_{\text{mod } 2}$ sont linéaires, le résultat de l'opération de soustraction des fréquences de battement selon la relation (7a') est une fonction linéaire de la distance d'éloignement D. Il fournit donc directement une mesure de la distance D.

De façon générale, étant donné que les fonctions de modulation $\Delta f_{\text{mod } 1}$ et $\Delta f_{\text{mod } 2}$ sont respectivement croissante et décroissante, leur différence dans les relations (7a) et (7a') n'est jamais constamment nulle.

Selon un perfectionnement de l'invention, le résultat de l'opération d'addition des fréquences de battement selon la relation (7b) ou (7b') fournit une mesure du décalage fréquentiel par effet Doppler $\Delta f_{\text{Doppler}}$. Par exemple, lorsque les deux fonctions de modulation $\Delta f_{\text{mod } 1}$ et $\Delta f_{\text{mod } 2}$ sont opposées, le résultat de l'opération d'addition des fréquences de battement selon la relation (7b) ou (7b') est directement égal au double du décalage fréquentiel par effet Doppler $\Delta f_{\text{Doppler}}$. Une analyse de ce décalage, effectuée d'une des façons connues de l'Homme du métier, fournit alors une mesure de la vitesse d'éloignement V de la cible T.

Il est entendu que l'invention peut être reproduite en modifiant des aspects de mise en œuvre par rapport à la description détaillée donnée ci-

- 18 -

dessus, tout en conservant certains au moins des avantages qui ont été mentionnés. En particulier, le modulateur d'onde optique de type électro-optique peut être remplacé par un modulateur de type acousto-optique. De façon connue, un tel modulateur acousto-optique peut être constitué d'un

5 réseau d'indice de réfraction dont les caractéristiques sont variées en utilisant une commande d'élément piézoélectrique.

REVENDICATIONS

1. Procédé de mesure télémétrique utilisant un dispositif de type LIDAR à détection hétérodyne (100), dans lequel un signal d'émission d'onde optique (SE) est produit en direction d'une cible (T) à partir d'une tête optique (12) dudit dispositif, et un signal rétrodiffusé (R) provenant de la cible est recueilli par ladite tête optique, puis détecté par détection hétérodyne de façon à produire un signal de détection hétérodyne (S_{RF}),

ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

10 /1/ produire une modulation de fréquence de l'onde optique dans le signal d'émission (SE), ladite modulation comprenant des segments de croissance continue et des segments de décroissance continue de la fréquence ;

15 /2/ soustraire l'une à l'autre deux fréquences de battement du signal de détection hétérodyne (S_{RF}) obtenues respectivement pour ledit segment de croissance et ledit segment de décroissance ; et

/3/ déduire une valeur d'une distance d'éloignement (D) de la cible, à partir d'un résultat de la soustraction des fréquences de battement,

le procédé étant caractérisé en ce que l'étape /1/ est exécutée de sorte que le signal d'émission (SE) possède simultanément deux composantes d'onde optique, une première des dites composantes d'onde optique (SSE_1) étant modulée en fréquence selon les segments de croissance continue en même temps qu'une seconde desdites composantes d'onde optique (SSE_2) est modulée en fréquence selon les segments de décroissance continue,

20 et l'étape /2/ est exécutée en soustrayant une première fréquence de battement obtenue pour la première composante d'onde optique (SSE_1) à l'intérieur du signal de détection hétérodyne (S_{RF}), à une seconde fréquence de battement obtenue pour la seconde composante d'onde optique (SSE_2) à l'intérieur dudit signal de détection hétérodyne (S_{RF}), lesdites première et seconde fréquences de battement étant relatives à un même instant de
30 détection du signal rétrodiffusé (R).

- 20 -

2. Procédé selon la revendication 1, suivant lequel les variations de fréquence dans les segments de croissance continue pour la première composante d'onde optique (SSE_1) du signal d'émission (SE) sont opposées aux variations de fréquence dans les segments de décroissance continue pour la seconde composante d'onde optique (SSE_2) dudit signal d'émission.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, suivant lequel les segments de croissance continue de la fréquence et les segments de décroissance continue de la fréquence, respectivement pour la première (SSE_1) et la seconde (SSE_2) composante d'onde optique du signal d'émission (SE), sont des rampes linéaires de pentes constantes.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, suivant lequel les segments de croissance continue de la fréquence et les segments de décroissance continue de la fréquence, respectivement pour la première (SSE_1) et la seconde (SSE_2) composante d'onde optique du signal d'émission (SE), sont synchrones à chaque instant d'un fonctionnement du dispositif.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, suivant lequel la fréquence modulée de la première composante d'onde optique (SSE_1) est obtenue à l'étape /1/ en appliquant les segments de croissance continue à partir d'une première fréquence optique initiale (f_{01}), et la fréquence modulée de la seconde composante d'onde optique (SSE_2) est obtenue en appliquant les segments de décroissance continue à partir d'une seconde fréquence optique initiale (f_{02}), ladite première fréquence optique initiale étant supérieure à ladite seconde fréquence optique initiale avec un écart fixé (Δf_0).

6. Dispositif de type LIDAR à détection hétérodyne (100) adapté pour effectuer des mesures télémétriques, et comprenant :

- un oscillateur laser (1), adapté pour produire une onde optique (OL) ;
- un séparateur optique (2), disposé pour diviser l'onde optique en un signal de source d'émission (SSE) et un signal de référence (S_{Ref}) ;
- un amplificateur optique (3), adapté pour produire un signal d'émission (SE) à partir du signal de source d'émission ;

- 21 -

- une tête optique (12), adaptée pour transmettre le signal d'émission en direction d'une cible (T) et pour recevoir un signal rétrodiffusé (R) provenant de la cible ;
- 5 - une unité de mélange-détection (11), adaptée pour transmettre le signal d'émission à la tête optique, et pour produire un signal de détection hétérodyne (S_{RF}) à partir du signal rétrodiffusé reçu par ladite tête optique et du signal de référence ; et
- 10 - des moyens d'analyse (20) du signal de détection hétérodyne, adaptés pour réaliser un traitement spectral dudit signal de détection hétérodyne,

le dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

- un modulateur (4) disposé pour moduler en fréquence au moins le signal de source d'émission (SSE) ; et
- 15 - une unité de commande (40), reliée à une entrée de commande du modulateur, et adaptée pour commander un fonctionnement dudit modulateur pour mettre en œuvre un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes ; et

les moyens d'analyse (20) étant adaptés pour fournir un résultat de la soustraction de la première fréquence de battement obtenue pour la première
20 composante d'onde optique (SSE_1) à l'intérieur du signal de détection hétérodyne (S_{RF}), à la seconde fréquence de battement obtenue pour la seconde composante d'onde optique (SSE_2) à l'intérieur dudit signal de détection hétérodyne (S_{RF}), lesdites première et seconde fréquences de battement étant relatives à un même instant de détection du signal rétrodiffusé
25 (R), et pour déduire la valeur de la distance d'éloignement (D) de la cible (T) à partir du résultat de la soustraction des deux fréquences de battement.

7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel les moyens d'analyse (20) sont adaptés pour combiner une première partie du signal de détection hétérodyne (S_{RF}) ayant la première fréquence de battement et correspondant à
30 la première composante d'onde optique (SSE_1) du signal d'émission (SE), avec une seconde partie dudit signal de détection hétérodyne (S_{RF}) ayant la seconde

- 22 -

fréquence de battement et correspondant à la seconde composante d'onde optique (SSE_2) dudit signal d'émission (SE), et pour mesurer une différence entre les première et seconde fréquences de battement en tant que fréquence d'un signal résultant de la combinaison.

5 8. Dispositif selon la revendication 6 ou 7, dans lequel le modulateur (4) est un modulateur d'intensité électro-optique.

9. Dispositif selon la revendication 8, dans lequel le modulateur d'intensité électro-optique comprend deux cellules de Pockels (41, 42) connectées optiquement en parallèle, et un générateur électrique de signal de modulation (43) connecté à des entrées de commande respectives des deux
10 cellules de Pockels, et adapté pour produire une tension sinusoïdale de modulation (V_{mod}) dont une phase varie quadratiquement en fonction du temps, les dites deux cellules de Pockels étant orientées de façon que le même signal de modulation génère des déphasages optiques qui sont opposés entre les
15 deux cellules, à chaque instant d'un fonctionnement du dispositif (100).

10. Dispositif selon la revendication 6 ou 7, dans lequel le modulateur (4) est un modulateur de phase électro-optique, adapté pour produire une modulation de fréquence d'une onde optique conformément à un signal de commande périodique à deux états.

20 11. Dispositif selon la revendication 10, dans lequel le modulateur de phase électro-optique comprend une cellule de Pockels (45) et un générateur électrique de signal de modulation (46), ledit générateur électrique de signal de modulation étant connecté à une entrée de commande de la cellule de Pockels et adapté pour produire le signal de commande périodique à deux états avec
25 une fréquence de commutation qui varie elle-même linéairement en fonction du temps.

12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 11, dans lequel le modulateur (4) est disposé pour recevoir en entrée le signal de source d'émission (SSE) produit par le séparateur optique (2), et pour transmettre en
30 sortie ledit signal de source d'émission modulé à l'amplificateur optique (3).

- 23 -

13. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 11, dans lequel le modulateur (4) est disposé pour recevoir en entrée l'onde optique (OL) produite par l'oscillateur laser (1), et pour transmettre en sortie ladite onde optique modulée au séparateur optique (2), de sorte que le signal de source d'émission (SSE) et le signal de référence (S_{Ref}) sont modulés d'une façon identique.
14. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 13, dans lequel les moyens d'analyse (20) sont en outre adaptés pour additionner la première fréquence de battement obtenue pour la première composante d'onde optique (SSE_1) à l'intérieur du signal de détection hétérodyne (S_{RF}), à la seconde fréquence de battement obtenue pour la seconde composante d'onde optique (SSE_2) à l'intérieur dudit signal de détection hétérodyne (S_{RF}), lesdites première et seconde fréquences de battement étant relatives à un même instant de détection du signal rétrodiffusé (R), et pour effectuer une analyse d'effet Doppler de façon à déduire une valeur d'une vitesse de déplacement (V) de la cible (T), à partir d'un résultat de l'addition des première et seconde fréquences de battement.

1/3

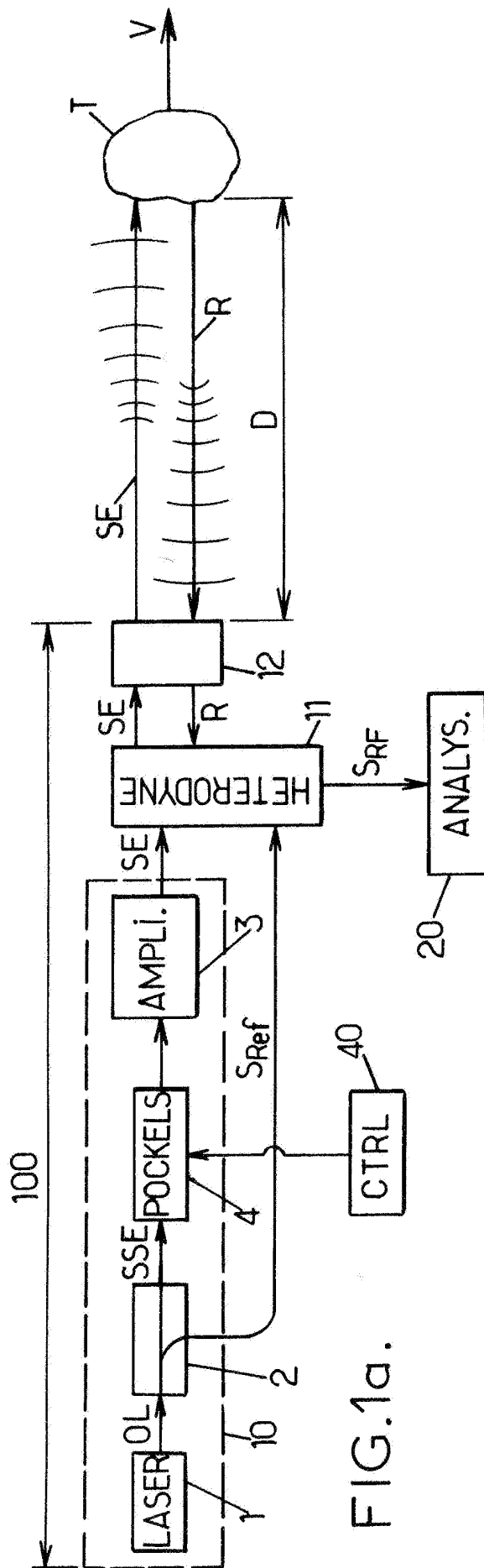


FIG. 1a.

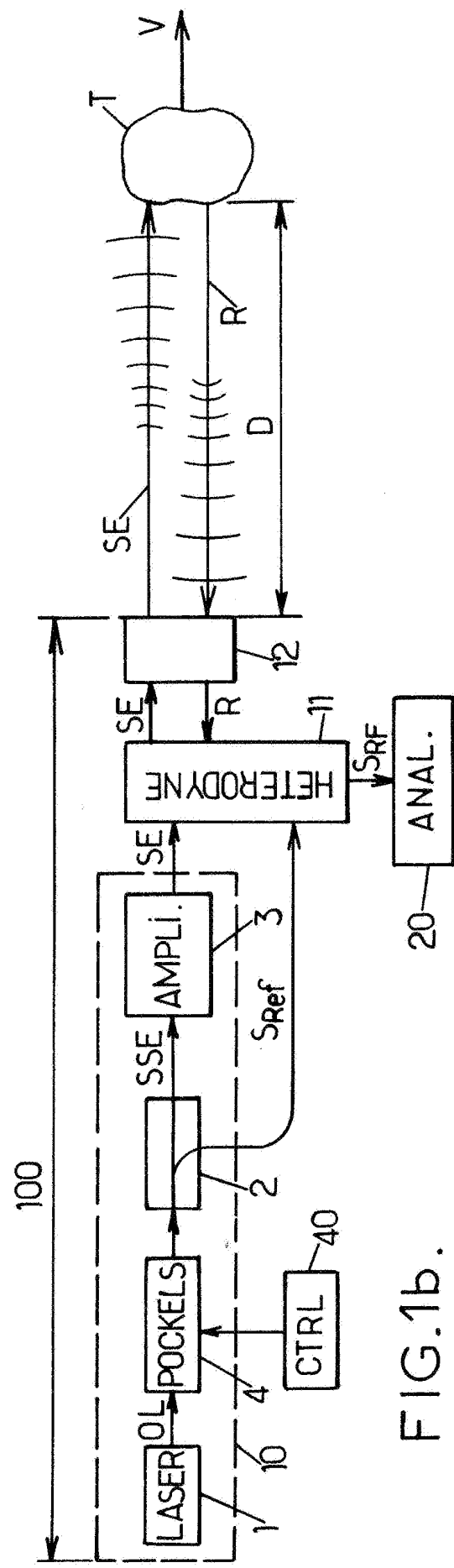


FIG. 1b.

2/3

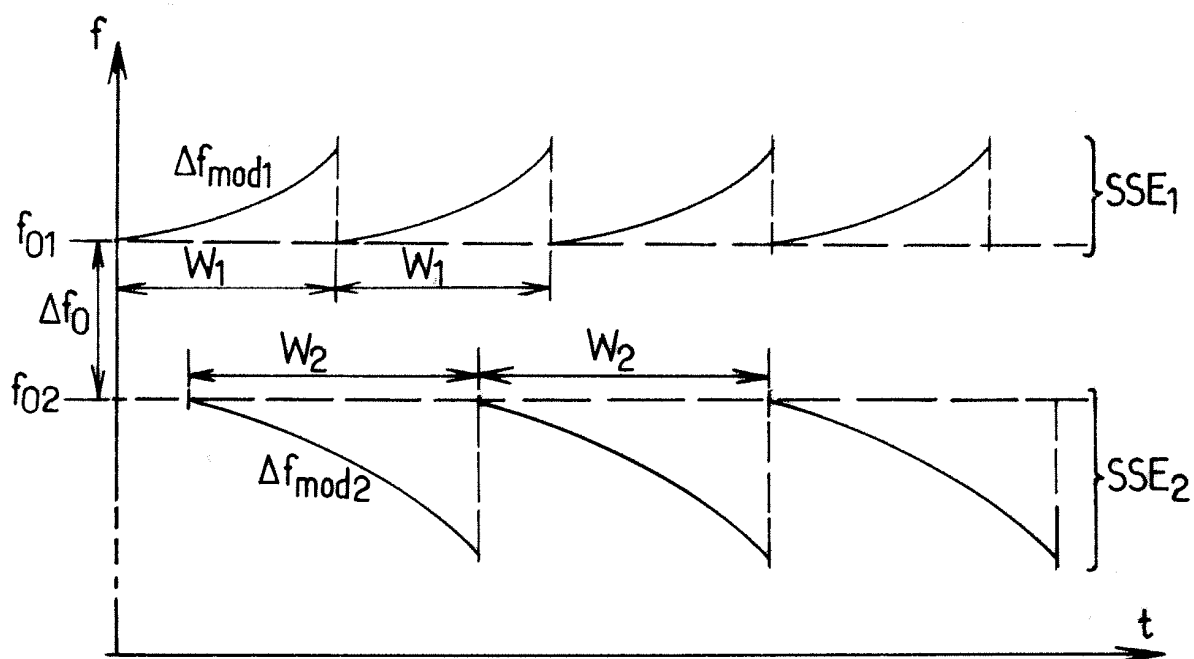
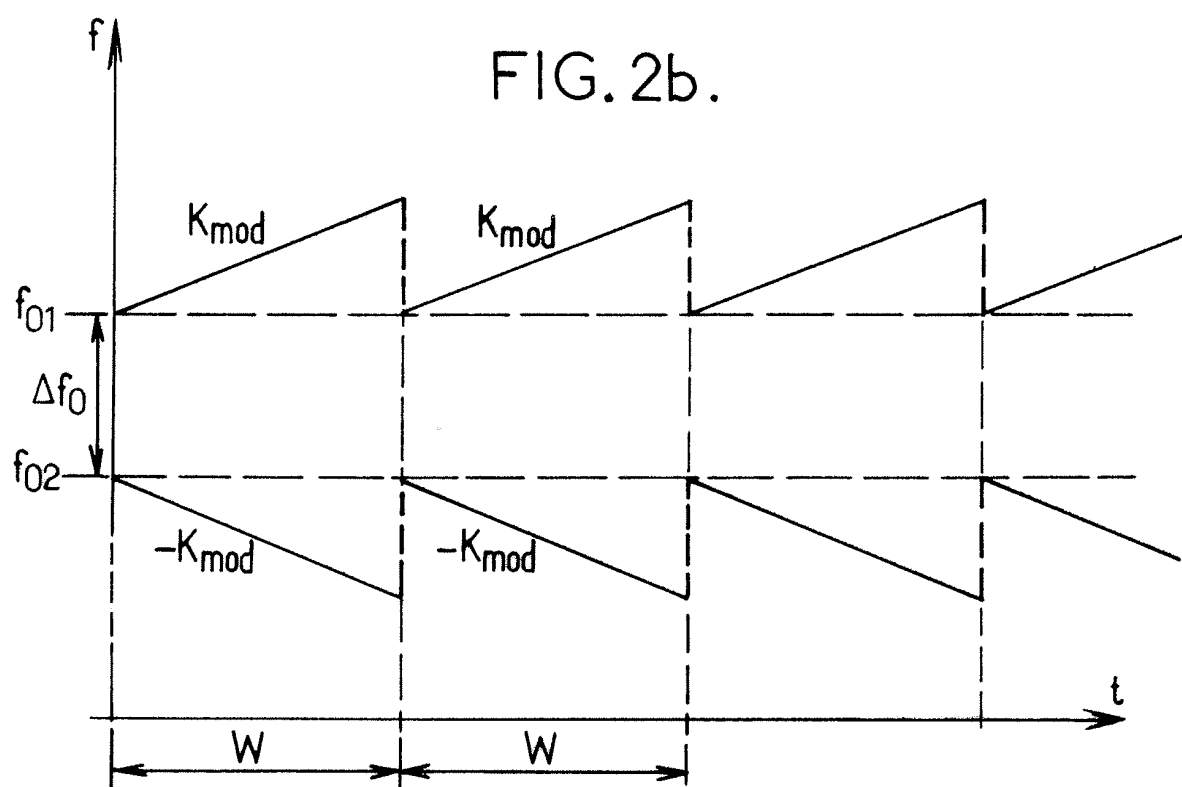
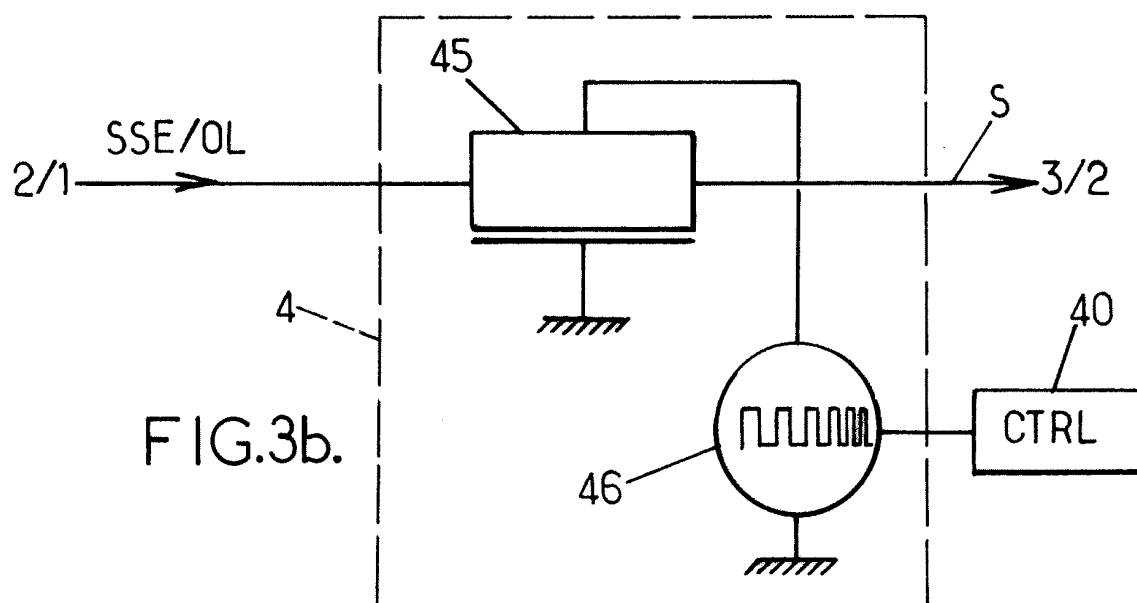
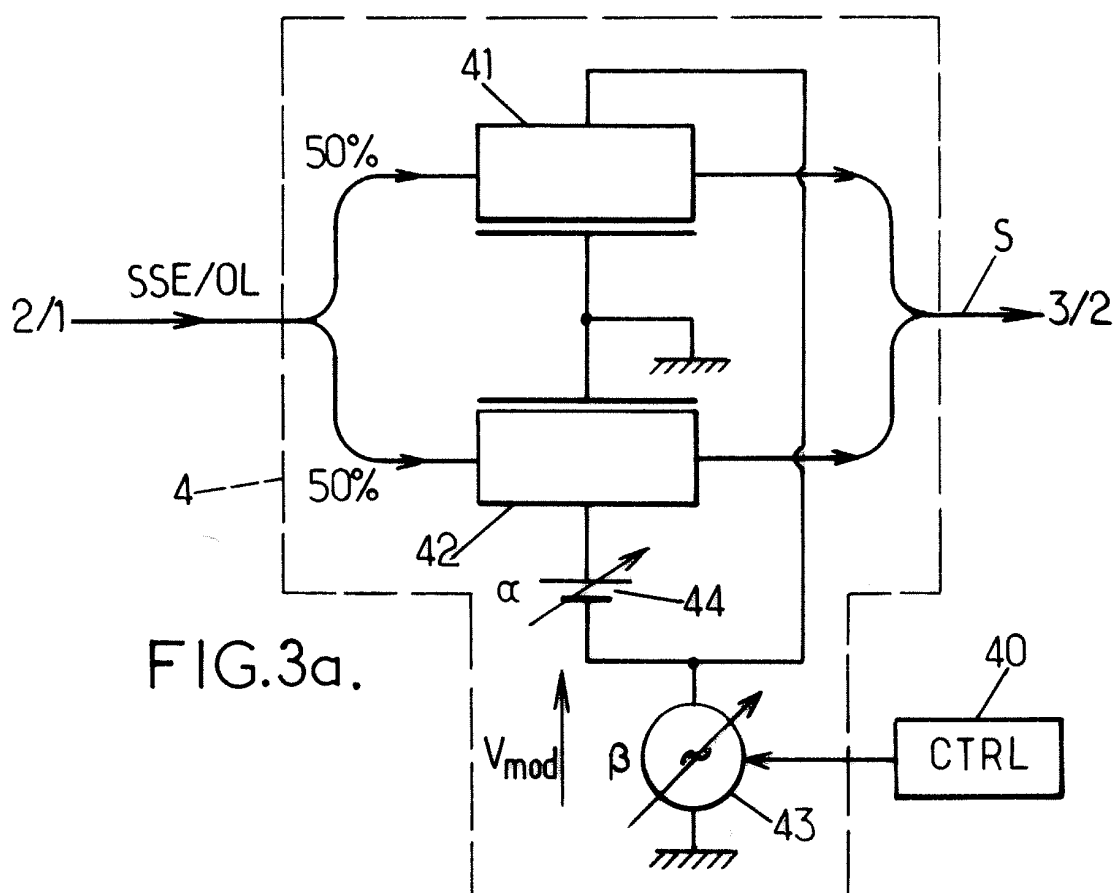


FIG. 2a.



3/3





RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 745079
FR 1057608

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	WO 2010/000044 A2 (LEICA GEOSYSTEMS AG [CH]; RAFIYEV OGTAY [AZ]; JENSEN THOMAS [CH]; ROHN) 7 janvier 2010 (2010-01-07) * page 8, ligne 14 - page 9, ligne 11; figure 2 *	1-8, 10-14	G01S17/36 H01S3/107
A	US 2008/304042 A1 (UENO TATSUYA [JP]) 11 décembre 2008 (2008-12-11) * figures 1,2,38 *	1	
Y	US 2002/190893 A1 (AKASU MASAHIRA [JP]) 19 décembre 2002 (2002-12-19) * alinéas [0076] - [0083]; figures 1,4 *	1-8, 10-14	
A	US 4 388 622 A (FLETCHER JR ROBERT H) 14 juin 1983 (1983-06-14) * figures 1,2 *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			G01S
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
12 mai 2011		Kern, Olivier	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1057608 FA 745079**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **12-05-2011**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2010000044 A2	07-01-2010	AU 2009266433 A1	07-01-2010
		CA 2723346 A1	07-01-2010
		CN 102047071 A	04-05-2011
		EP 2128561 A1	02-12-2009
		US 2011051146 A1	03-03-2011
-----	-----	-----	-----
US 2008304042 A1	11-12-2008	EP 2015021 A2	14-01-2009
-----	-----	-----	-----
US 2002190893 A1	19-12-2002	JP 2002372580 A	26-12-2002
-----	-----	-----	-----
US 4388622 A	14-06-1983	AUCUN	
-----	-----	-----	-----