

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 07.01.11.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 13.07.12 Bulletin 12/28.

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) : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES
SA Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : LALOUE PEGGY, L'ECOLIER JAC-
QUES et JOURDAIN JEAN BENOÎT.

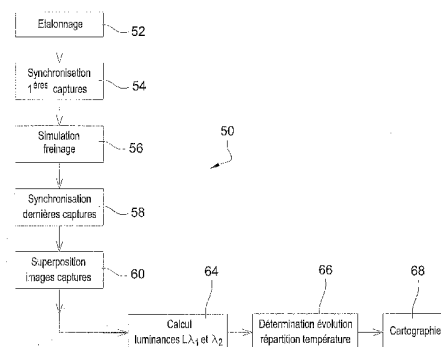
73 Titulaire(s) : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES
SA Société anonyme.

74 Mandataire(s) : PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILES
SA.

54 PROCÉDE ET DISPOSITIF DE DETERMINATION DE TEMPERATURE D'UN DISQUE DE FREIN PAR
THERMOGRAPHIE INFRAROUGE.

57 L'invention concerne un procédé (50) de détermination à distance d'une répartition de température (T) d'une surface d'un objet (12), dans lequel

- on capture (54), suivant deux angles de vue, au moins deux images d'un rayonnement électromagnétique de type infrarouge émis par ledit objet, lesdites images,
- on calcule (64) une première et une deuxième luminances énergétiques (L_{λ_1} ; L_{λ_2}) à une première et une deuxième longueur d'onde dudit objet,
- on détermine (66) ladite répartition de température en fonction d'au moins les deux dites luminances.



PROCEDE ET DISPOSITIF DE DETERMINATION DE TEMPERATURE D'UN DISQUE DE FREIN PAR THERMOGRAPHIE INFRAROUGE

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

5 La présente invention se rapporte à un procédé et un dispositif de
détermination de température de disque de frein par thermographie
infrarouge. Le domaine technique de l'invention est, d'une façon générale,
celui de la thermographie. Plus particulièrement, l'invention concerne la
détermination à distance d'une répartition de température à la surface d'un
10 disque de frein de véhicule de type automobile.

ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

L'étude des phénomènes thermiques liés au freinage de véhicules
automobiles a toujours présenté un intérêt technique considérable,
15 notamment pour la sécurité des passagers.

Dans l'art antérieur, la mesure de température d'un disque de frein se
fait en général soit au moyen de thermocouples avec une instrumentation
intrusive et ponctuelle, soit à l'aide de pyromètres infrarouges avec une
mesure ponctuelle.

20 Avec les thermocouples, il est nécessaire de mettre en œuvre une
instrumentation toujours délicate.

Avec un pyromètre infrarouge monochromatique, pour déterminer une
température sans contact, il est nécessaire de connaître l'émissivité du
matériau étudié.

25 Avec un pyromètre infrarouge bichromatique, on suppose que
l'émissivité est identique aux deux fréquences de mesure choisies ; c'est
l'approximation dite du corps gris.

Pour rappel, l'émissivité ξ d'un corps est le rapport entre l'émission
d'énergie d'une unité de surface donnée à celle d'une unité de surface d'un
30 corps noir à la même température et dans les mêmes conditions,
géométriques et d'environnement. On peut considérer l'émissivité totale ou
l'émissivité monochromatique, c'est-à-dire pour une longueur d'onde donnée
du spectre. Dans le cas du corps noir, qui absorbe toute l'énergie sans en
réfléchir ni en transmettre, $\xi = 1$ et, pour un corps quelconque, de
35 température uniforme, on aura $\xi < 1$.

Dans l'état de la technique, on connaît l'enseignement du document FR2703455 (A1) qui divulgue un pyromètre bichromatique servant à détecter la température d'un objet à partir de deux photodiodes sensibles au rayonnement dans un domaine de longueurs d'onde donné. Ce dispositif s'affranchit de l'émissivité de la surface mesurée grâce à l'utilisation de deux éléments de mesure correspondants à deux longueurs d'ondes différentes.

Mais en pratique, ce dispositif ne permet que des mesures ponctuelles et non surfaciques. D'autre part, les mesures réalisées avec une seule caméra thermique ne tiennent pas compte correctement des variations très importantes d'émissivité de la surface du disque en cours de freinage.

On connaît également l'enseignement du document US4956538 (A) qui divulgue une méthode de détection de température en temps réel via deux pyromètres infrarouges.

Mais ces pyromètres ne s'affranchissent pas du facteur d'émissivité.

DESCRIPTION GENERALE DE L'INVENTION

L'invention propose de résoudre les problèmes techniques précédemment cités.

Dans l'invention, on utilise deux caméras thermiques avec des filtres infrarouges pour mesurer deux luminances et ainsi s'affranchir de l'émissivité.

L'invention peut s'appliquer à de nombreux éléments.

L'invention a donc pour objet un procédé de détermination à distance d'une répartition de température d'une surface d'un objet, dans lequel

- on capture, suivant un premier angle de vue, au moins une première image d'un rayonnement électromagnétique de type infrarouge émis par ledit objet, ladite première image comportant un premier nombre de pixels,

- on calcule, pour chaque pixel de la première image, une première luminance énergétique à une première longueur d'onde dudit objet,

- caractérisé en ce que

- on capture, suivant un deuxième angle de vue, au moins une deuxième image dudit rayonnement, ladite image comportant un deuxième nombre de pixels,

- on calcule, pour chaque pixel de la deuxième image, une deuxième luminance énergétique à une deuxième longueur d'onde, et

3

- on détermine ladite répartition de température en fonction d'au moins les deux dites luminances.

Grâce à ces dispositions, on obtient une estimation précise, sans aucun contact avec l'objet, de la répartition de température dudit objet. La présente invention fournit ainsi un moyen de mesure de la température de surface d'un disque de frein qui est non intrusif et qui permet d'obtenir une cartographie, partielle ou, préférentiellement, complète du disque en s'affranchissant de l'émissivité du disque.

Selon des caractéristiques particulières,
 - on étalonne en luminance les deux caméras,
 - on synchronise les captures d'images des deux caméras,
 - on superpose lesdites images et
 - on cartographie la répartition de température par une technique dite de fausse couleur.

Grâce à ces dispositions, on améliore de façon significative la connaissance des phénomènes thermiques intervenant au cours des freinages et on permet des avancées pour une meilleure représentativité des modèles numériques.

Selon des caractéristiques particulières,
 - l'objet est un disque de frein de véhicule de type automobile, et
 - on capture, avec chaque caméra, une succession d'images pendant une durée prédéterminée,
 - on simule un freinage, puis
 - on détermine une évolution de la répartition de température au cours du temps en fonction de ladite simulation.

Grâce à ces dispositions, on peut étudier l'influence du freinage, autrement dit des frottements, sur l'échauffement dudit disque.

Selon des caractéristiques particulières, les luminances L_λ sont calculées au moyen de l'équation suivante :

$$L_\lambda = \frac{C_1}{\lambda^5} e^{\left(\frac{C_2}{\lambda Ta}\right)}$$
 dans laquelle C_1 est une constante qui vaut $1,191062 \cdot 10^{-16} \text{ W.m}^2 = 2hc^2$, où h est la constante de Planck, c est la vitesse de la lumière, ξ_λ est l'émissivité dudit objet pour une longueur d'onde donnée, λ est la longueur d'onde et Ta est la température absolue de la partie de la surface de l'objet en regard du pixel considéré.

Les inventeurs ont déterminé que ces dispositions étaient optimales.

Selon des caractéristiques particulières, la température de la partie de la surface de l'objet en regard du pixel considéré est déterminée, en considérant que l'émissivité dudit objet est la même pour les deux dites
5 longueurs d'onde, au moyen de l'équation suivante

$$T = \frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}{\ln \left(\frac{L_{\lambda_1} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^5}{L_{\lambda_2}} \right)}$$

dans laquelle C_2 est une constante qui vaut

$1,4388 \cdot 10^{-2} \text{ m.K} = hc/k$ où k est la constante de Boltzmann.

Grâce à ces dispositions, on s'affranchit complètement de la connaissance des valeurs et des variations de l'émissivité à la surface du
10 disque et on optimise la précision des valeurs de température.

L'invention a également pour objet un dispositif de détermination à distance d'une répartition de température d'une surface d'un objet, ledit dispositif comportant

- une première caméra thermique adaptée à capturer, à un instant
15 donné et suivant un premier angle, au moins une première image d'un rayonnement électromagnétique de type infrarouge émis par ledit objet, ladite image comportant un premier nombre de pixels,

- un calculateur adapté à calculer, pour chaque pixel de la première image, une première luminance énergétique à une première longueur d'onde
20 dudit objet,

caractérisé en ce que

- il comporte en outre une deuxième caméra thermique adaptée à capturer, au même dit instant et suivant un deuxième angle, au moins une deuxième image dudit rayonnement, ladite image comportant un deuxième
25 nombre de pixels,

- le calculateur est adapté à

- pour chaque pixel de la deuxième image, calculer une deuxième luminance énergétique à une deuxième longueur d'onde, et

- déterminer ladite répartition de température en fonction d'au
30 moins les deux dites luminances.

Les avantages, buts et caractéristiques particuliers de ce dispositif étant similaires à ceux du procédé objet de la présente invention, ne sont pas

rappelés ici.

Selon des caractéristiques particulières,

- les caméras présentent chacune un filtre infrarouge de bandes spectrales différentes,

5 - les deux bandes spectrales sont étroites et proches.

Selon des caractéristiques particulières, l'objet est un disque métallique de frein de véhicule de type automobile.

Grace à ces dispositions, on peut optimiser les performances desdits disques et donc la sécurité des passagers dudit véhicule.

10 L'invention a également pour objet un banc d'essai caractérisé en ce qu'il comporte un tel dispositif.

Les avantages, buts et caractéristiques particuliers de ce banc d'essai étant similaires à ceux du procédé objet de la présente invention, ne sont pas rappelés ici.

15 L'invention et ses différentes applications seront mieux comprises à la lecture de la description qui suit et à l'examen des figures qui l'accompagnent.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

20 Celles-ci ne sont présentées qu'à titre indicatif et nullement limitatif de l'invention. Les figures montrent :

- figure 1 : une représentation schématique d'une vue d'ensemble d'un dispositif selon un mode de réalisation de l'invention ;

25 - figure 2 : une représentation, sous forme d'un logigramme, des étapes de mise en œuvre d'un procédé selon un mode de réalisation de l'invention.

Dans ces figures, les éléments identiques conservent les mêmes références.

30 DESCRIPTION DETAILLEE DES FORMES DE REALISATION PREFEREES DE L'INVENTION

La figure 1 représente, de façon schématique, une vue d'ensemble d'un dispositif 10 selon un mode de réalisation de l'invention.

35 Le dispositif 10 est adapté à déterminer, à distance, une répartition de température T d'une surface d'un objet 12.

Le dispositif 10 comporte une première caméra thermique 14 adaptée à capturer, à un instant donné et suivant un premier angle, au moins une première image d'un rayonnement électromagnétique de type infrarouge émis par ledit objet, la première image comportant un premier nombre de pixels.

Le dispositif 10 comporte en outre une deuxième caméra thermique 20 adaptée à capturer, au même instant et suivant un deuxième angle, au moins une deuxième image dudit rayonnement, la deuxième image comportant un deuxième nombre de pixels.

Le dispositif 10 comporte, en outre, un calculateur 18 adapté à calculer, pour chaque pixel de la première image, une première luminance énergétique $L\lambda_1$ à une première longueur d'onde λ_1 de cette partie de l'objet en regard du pixel,

Le calculateur 18 est également adapté à calculer, pour chaque pixel de la deuxième image, une deuxième luminance énergétique $L\lambda_2$ à une deuxième longueur d'onde λ_2 de cette partie de l'objet en regard du pixel. Typiquement, les caméras 14 et 20 présentent chacune un filtre infrarouge, respectivement référencés 22 et 24, de bandes spectrales différentes.

De préférence, les deux bandes spectrales sont étroites et proches.

Des tests d'optimisation ont abouti au choix d'une première bande spectrale de $3.4 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$ et d'une deuxième bande spectrale de $3.8 \mu\text{m} \pm 0.1 \mu\text{m}$. Ce choix dépend, dans un premier temps, des réponses spectrales des deux caméras utilisées, et dans un second temps, d'un compromis à réaliser entre l'incertitude tolérée, en fonction de l'application, sur les mesures de températures et le respect de l'hypothèse de corps gris.

Le calculateur 18 est adapté à fournir 28, par exemple sur un écran vidéo, une cartographie 26 de la répartition de température T par une technique dite de fausse couleur.

Dans ce mode de réalisation de l'invention, l'objet 12 est un disque métallique de frein de véhicule de type automobile.

La figure 2 représente, sous forme d'un logigramme, des étapes de mise en œuvre d'un procédé 50 selon un mode de réalisation de l'invention.

Dans ce mode de réalisation, on capture, avec chaque caméra 14 et 20, une succession d'images pendant une durée prédéterminée.

Le procédé 50 de détermination, à distance, de la répartition de

température T d'une surface de l'objet 12 comporte des étapes dans lesquelles, dans un premier temps,

- on étalonne, au cours d'une étape 52, en luminance les deux caméras 14 et 20,

5 - on synchronise, au cours d'une étape 54, les premières captures d'images des deux caméras 14 et 20,

- on simule, au cours d'une étape 56, un freinage,

- on synchronise, au cours d'une étape 58, les dernières captures d'images des deux caméras 14 et 20 afin de toujours réaliser les captures au même moment et pendant la même durée.

10

- on superpose, au cours d'une étape 60, les images issues des deux caméras 14 et 20.

Le procédé 50 comporte des étapes supplémentaires dans lesquelles, dans un deuxième temps, on calcule, au cours d'une étape 64, la première
15 luminance énergétique $L\lambda_1$ à une première longueur d'onde de la partie de l'objet en regard de chaque pixel de la première caméra 14, et la deuxième luminance énergétique $L\lambda_2$ à une deuxième longueur d'onde de la partie de l'objet en regard de chaque pixel de la deuxième caméra 20.

20 Dans un troisième temps, on détermine, au cours d'une étape 66, une évolution de la répartition de température T au cours du temps en fonction de la simulation faite, au cours de l'étape 56 et des deux luminances $L\lambda_1$ et $L\lambda_2$.

Enfin, on cartographie, au cours d'une étape 68, l'évolution de la répartition de température T par une technique dite de fausse couleur.

25 Les luminances $L\lambda_1$ et $L\lambda_2$ sont calculées au moyen de l'équation suivante :

$$L_{\lambda} = C_1 \cdot e^{\left(\frac{C_2}{\lambda T_a}\right)}$$
 dans laquelle C_1 est une constante qui vaut

$1,191062 \cdot 10^{-16} \text{ W.m}^2 = 2hc^2$, où h est la constante de Planck, c est la vitesse de la lumière, ξ_{λ} est l'émissivité dudit objet pour une longueur d'onde donnée, λ est la longueur d'onde et T_a est la température absolue de la partie de la
30 surface de l'objet en regard du pixel considéré.

La température de l'objet 12 est calculée, en considérant que l'émissivité dudit objet est la même pour les deux dites longueurs d'onde, au moyen de l'équation suivante

$$T = \frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}{\ln \left(\frac{L_{\lambda_1} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^5}{L_{\lambda_2}} \right)}$$

dans laquelle C_2 est une constante qui vaut

$1,4388 \cdot 10^{-2} \text{ m.K} = hc/k$ où k est la constante de Boltzmann.

L'invention concerne également un banc d'essai comportant un tel dispositif selon l'invention.

REVENDICATIONS

- 1 - Procédé (50) de détermination à distance d'une répartition de température (T) d'une surface d'un objet (12), dans lequel
- 5 - on capture (54), suivant un premier angle de vue, au moins une première image d'un rayonnement électromagnétique de type infrarouge émis par ledit objet, ladite première image comportant un premier nombre de pixels,
- 10 - on calcule (64) une première luminance énergétique ($L\lambda_1$) à une première longueur d'onde dudit objet, caractérisé en ce que
- on capture (54), suivant un deuxième angle de vue, au moins une deuxième image dudit rayonnement, ladite image comportant un deuxième nombre de pixels,
- 15 - on calcule (64) une deuxième luminance énergétique ($L\lambda_2$) à une deuxième longueur d'onde, et
- on détermine (66) ladite répartition de température en fonction d'au moins les deux dites luminances.
- 2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que
- 20 - on étalonne (52) en luminance les deux caméras,
- on synchronise (54 ; 58) les captures d'images des deux caméras,
- on superpose (60) lesdites images et
- on cartographie (68) la répartition de température par une technique dite de fausse couleur.
- 25 3 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 2, caractérisé en ce que
- l'objet est un disque de frein de véhicule de type automobile, et
- on capture (54 ; 58), avec chaque caméra, une succession d'images pendant une durée prédéterminée,
- 30 - on simule (56) un freinage, puis
- on détermine (66) une évolution de la répartition de température au cours du temps en fonction de ladite simulation.
- 4 - Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les luminances L_λ sont calculées au moyen de l'équation suivante :

$$L_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} C_1 \lambda^{-5} e^{\left(\frac{-C_2}{\lambda T_a}\right)}$$
 dans laquelle C_1 est une constante qui vaut $1,191062 \cdot 10^{-16} \text{ W.m}^2 = 2hc^2$, où h est la constante de Planck, c est la vitesse de la lumière, ξ_{λ} est l'émissivité dudit objet pour une longueur d'onde donnée et T_a est la température absolue de la partie de l'objet en regard du pixel considéré.

5 - Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que

- la température de la partie de l'objet en regard du pixel considéré est déterminée, en considérant que l'émissivité dudit objet est la même pour les deux dites longueurs d'onde, au moyen de l'équation suivante

$$T = \frac{C_2 \left(\frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right)}{\ln \left(\frac{L_{\lambda_1} \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \right)^5}{L_{\lambda_2} \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)^5} \right)}$$

dans laquelle C_2 est une constante qui vaut

$1,4388 \cdot 10^{-2} \text{ m.K} = hc/k$ où k est la constante de Boltzmann.

6 - Dispositif (10) de détermination à distance d'une répartition de température (T) d'une surface d'un objet (12), ledit dispositif comportant

- une première caméra thermique (14) adaptée à capturer, à un instant donné et suivant un premier angle, au moins une première image d'un rayonnement électromagnétique de type infrarouge émis par ledit objet, ladite première image comportant un nombre prédéterminé de pixels,

- un calculateur (18) adapté à calculer, pour chaque pixel de la première image, une première luminance énergétique (L_{λ_1}) à une première longueur d'onde dudit objet,

caractérisé en ce que

- il comporte en outre une deuxième caméra thermique (20) adaptée à capturer, au même dit instant et suivant un deuxième angle, au moins une deuxième image dudit rayonnement, ladite image comportant un deuxième nombre de pixels,

- le calculateur est adapté à

- pour chaque pixel de la deuxième image, calculer une deuxième luminance énergétique (L_{λ_2}) à une deuxième longueur d'onde, et

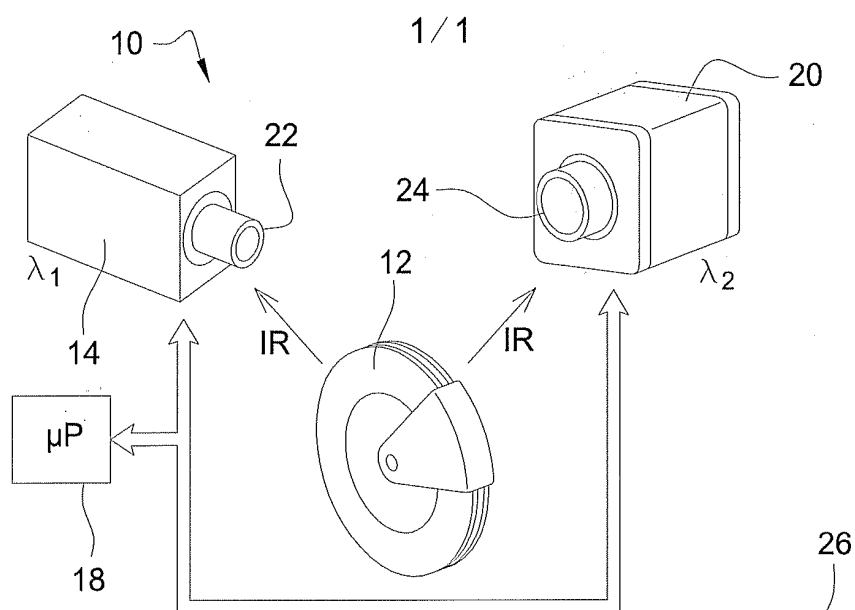
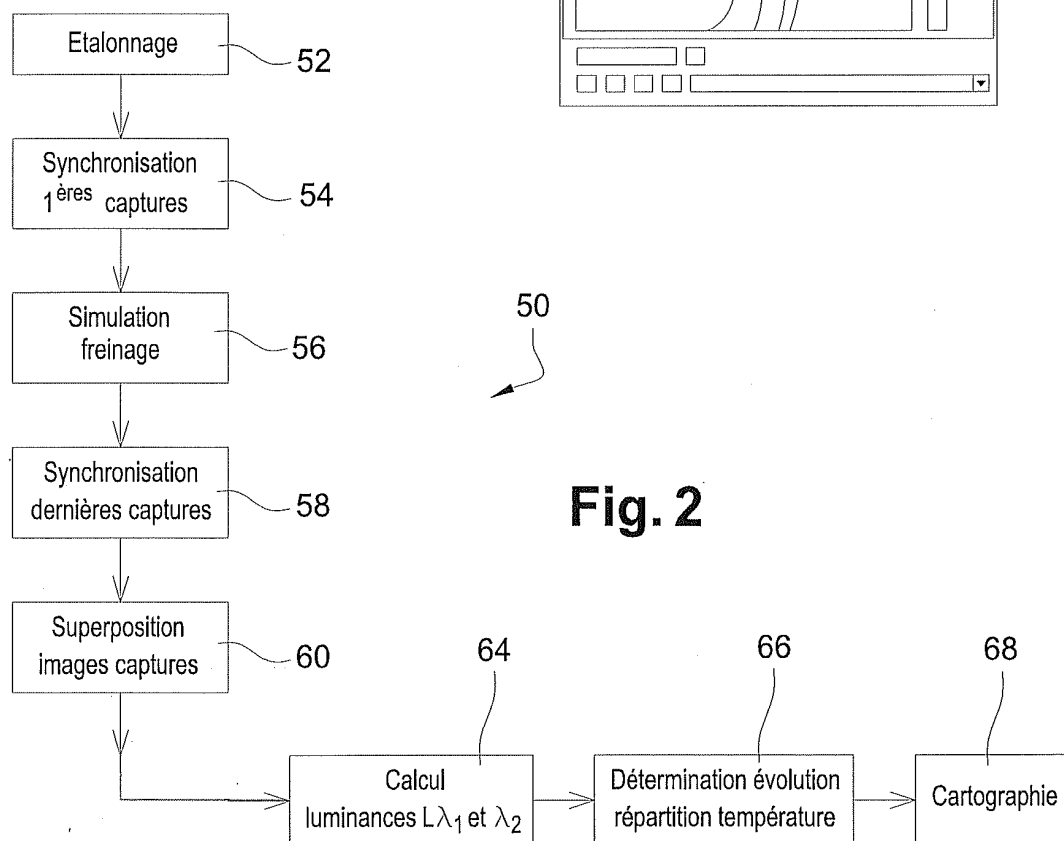
- déterminer ladite répartition de température en fonction d'au moins les deux dites luminances.

7 - Dispositif selon la revendication 6, caractérisé en ce que les

caméras présentent chacune un filtre infrarouge (22 ; 24) de bandes spectrales différentes et les deux bandes spectrales sont étroites et proches.

8 - Dispositif selon l'une des revendications 6 à 7, caractérisé en ce que l'objet est un disque métallique de frein de véhicule de type automobile.

5 9 - Banc d'essai caractérisé en ce qu'il comporte un dispositif selon l'une des revendications 6 à 8.

**Fig. 1****Fig. 2**



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 750144
FR 1150111

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	US 2004/008753 A1 (HASHIMOTO MIYUKI [JP] ET AL) 15 janvier 2004 (2004-01-15) * alinéas [0003], [0012] - [0016], [0045], [0046], [0049] - [0052], [0067] * * figures 1,12 *	1-9	G01J5/48 F16D66/00 H04N5/33 G01M99/00
A	FR 2 768 510 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]) 19 mars 1999 (1999-03-19) * abrégé * * page 3, ligne 15 - ligne 21 * * page 7, ligne 6 - page 8, ligne 18 * * page 11, ligne 16 * * page 12, ligne 11 * * figure 1 *	1,6	
A	JP 57 077924 A (SUMITOMO METAL IND; SHIGUMA DENSHI KOGYO KK) 15 mai 1982 (1982-05-15) * abrégé * * figure 1 *	1,6	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Y	EP 2 009 412 A1 (FOSS ANALYTICAL AS [DK]) 31 décembre 2008 (2008-12-31) * alinéas [0013], [0030] *	1-9	G01J
Y	KASEM, THEVENET, BOIDIN, SIROUX ET AL: "An emissivity corrected method for the accurate radiometric measurement of transient surface temperatures during braking", TRIBOLOGY INTERNATIONAL, vol. 43, 4 février 2010 (2010-02-04), pages 1823-1830, XP002652282, * le document en entier *	3	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
22 juillet 2011		Jacquin, Jérôme	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1150111 FA 750144**

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 **22-07-2011**

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
US 2004008753 A1	15-01-2004	JP 2004045306 A KR 20040010172 A	12-02-2004 31-01-2004
FR 2768510 A1	19-03-1999	WO 9914566 A1	25-03-1999
JP 57077924 A	15-05-1982	JP 1396923 C JP 62001203 B	24-08-1987 12-01-1987
EP 2009412 A1	31-12-2008	WO 2009000339 A1	31-12-2008