

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①① N° de publication : **3 066 592**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **17 54293**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **G 01 J 5/06 (2017.01), G 01 V 9/00**

①②

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤④ DISPOSITIF ADAPTE A ETRE EMBARQUE A BORD D'UN VEHICULE POUR DE LA CARTO-  
GRAPHIE THERMIQUE.

②② Date de dépôt : 16.05.17.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 23.11.18 Bulletin 18/47.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 04.12.20 Bulletin 20/49.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥① Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *THEMACS INGENIERIE Société par  
actions simplifiée — FR.*

⑦② Inventeur(s) : *MONCHAU JEAN-PIERRE et  
LALANNE NICOLAS.*

⑦③ Titulaire(s) : *THEMACS INGENIERIE Société par  
actions simplifiée.*

⑦④ Mandataire(s) : *MARKS & CLERK FRANCE Société  
en nom collectif.*

**FR 3 066 592 - B1**



## Dispositif adapté à être embarqué à bord d'un véhicule pour de la cartographie thermique

Le domaine de l'invention concerne le relevé de données thermiques appelé cartographie thermique, de zones d'intérêt pouvant être de manière non limitative des surfaces extérieures de type route à saler ou à sabler contre le gel, des bâtiments, des ouvrages de génie civil, des îlots de chaleur en zone urbaine, ...

Notamment mais de manière non limitative, dans les dispositifs d'estimation du risque hivernal, il peut être intéressant de réaliser de la cartographie thermique de chaussée de manière à localiser avec précision des zones plus ou moins froides afin d'optimiser des opérations de salage ou de sablage.

On peut ainsi optimiser les quantités nécessaires en sel ou en sable à de telles opérations en fonction des lieux précis présentant des températures plus ou moins élevées. En identifiant localement des zones plus ou moins froides de chaussées et en croisant avec des prévisions météorologiques, on affine la prédiction des quantités nécessaires aux opérations.

De plus, le salage des routes modifie l'écologie de sols, car, après le dégel, le ruissellement de l'eau salée jusque dans les cours d'eau contamine les nappes phréatiques, Il est donc particulièrement intéressant de limiter les quantités superflues de sel.

Il a déjà été proposé d'enregistrer des informations sur l'état thermique d'une route, afin de déclencher ultérieurement une opération de salage ou de sablage adéquate, depuis un véhicule dans lequel un opérateur peut recueillir ces données grâce à une caméra embarquée. Puis de manière différée, un opérateur peut alors traiter lesdites informations recueillies.

La figure 1 illustre un tel dispositif. Une caméra IR **20** est montée à l'extérieur d'un véhicule **10** de manière à enregistrer des relevés de la température d'une zone d'intérêt **Zi** au niveau d'une route, ces relevés étant enregistrés dans une unité centrale **UC**. Ces informations peuvent également être corrélées à des informations de positionnement. Dans un second temps, un opérateur traite ces informations pour organiser des instructions de salage ou de sablage.

La caméra IR, dont le champ de vision est représenté, recueille le rayonnement global issu de la zone  $Z_i$  comprenant le rayonnement propre de la zone d'intérêt, le rayonnement provenant de l'environnement et le rayonnement atmosphérique.

5 Lorsque l'on est amené à effectuer une mesure de la température du sol, l'étendue de la surface à caractériser est la principale difficulté que l'on rencontre. En effet, les caractéristiques thermiques et environnementales du sol peuvent évoluer d'un point à un autre, ce qui incite à utiliser des appareils qui effectuent directement des mesures sans contact sur un  
10 ensemble de points du sol.

La contrainte « sans contact » implique d'effectuer une mesure du rayonnement infrarouge de la surface d'intérêt, puis d'en déduire la température de surface réelle. La problématique est alors de réussir à calculer une température de surface à partir du signal infrarouge acquis par  
15 l'appareil. La seconde problématique est d'adapter l'appareil et la méthode à une grande étendue de surface (sous entendue très supérieure à la surface « de fonctionnement » classique de l'appareil).

Selon l'art antérieur, la mesure du rayonnement infrarouge provenant du sol peut être classiquement effectuée par des capteurs  
20 satellitaires, par des capteurs linéiques ou matriciels embarqués dans un système aéroporté, ou par des capteurs embarqués sur un véhicule. La température du sol est alors estimée à partir de « mires » fixes disposées sur le sol, et dont les propriétés thermiques et la température sont connues.

De manière générale, les différents rayonnements IR d'intensité  
25 lumineuse ou luminance, recueillis au niveau d'une caméra IR incorporée dans un boîtier embarqué à bord d'un véhicule pour mesurer la température de la route dans la zone d'intérêt située au niveau du sol, sont :

Le signal reçu au niveau du capteur  $S_{\text{capteur}}$  est défini par l'équation suivante :

$$30 \quad S_{\text{capteur}} = S_{\text{propre}} + S_{\text{env}} + S_{\text{atm}}$$

Avec :

$S_{\text{propre}}$  : le signal issu de la luminance propre de la surface de la zone au sol d'intérêt ;

$S_{\text{env}}$  : le signal issu de la luminance de l'environnement (pouvant  
35 comprendre : la végétation, les habitations, ...) ;

$S_{atm}$  : le signal issu de la luminance propre de l'atmosphère situé sur le chemin optique.

Seul le rayonnement propre de la surface du sol permet de déterminer sa température référence, les deux autres rayonnements parasitant le signal reçu par le détecteur IR, présentant des angles d'inclinaison alpha.

Il est donc nécessaire d'appliquer des traitements au niveau du signal reçu pour pouvoir déterminer spécifiquement la luminance propre et ainsi la température de la zone d'intérêt.

C'est pourquoi dans ce contexte, l'invention a pour objet un dispositif combinant :

- l'utilisation d'un détecteur de rayonnement infrarouge embarqué sur ou dans un véhicule en mouvement et orienté vers une zone thermique d'intérêt pouvant typiquement être le sol, une route notamment ;
- le positionnement dans le champ de vision du détecteur IR, d'au moins deux surfaces dont l'émissivité est soit connue et très proche de 1 (surface de corps noirs) et d'orientation quelconque, soit d'émissivité quelconque (surface de corps gris) et orientées parallèlement à la zone thermique d'intérêt ;

Les corps noirs, sont couplés à une surface de type « miroir diffusant » (émissivité très proche de zéro dans la bande spectrale du détecteur IR) également placée dans le champ de vision du détecteur IR.

Le dispositif de l'invention permet ainsi de déterminer en temps réel la température de la zone d'intérêt sans avoir recours à des traitements du signal complexes.

Dans la présente description, on définit la surface apparente d'un corps noir qui peut être un objet physique ou virtuel au sens de l'optique géométrique, car c'est sur cette surface que les propriétés idéales sont définies (forte absorption dans la bande spectrale du détecteur IR et donc d'émissivité très proche de 1 dans ladite bande spectrale).

Les corps noirs sont conçus pour absorber la quasi totalité du flux électromagnétique incident. On considère alors que leurs autres propriétés optiques, i.e. la réflectance et la transmission, sont négligeables devant

l'émissivité. Le rayonnement émis par la surface apparente du corps noir ne dépend alors plus que de sa température.

De manière connue, une manière de reproduire le plus fidèlement les caractéristiques d'un corps noir est de réaliser une cavité dont les parois internes sont recouvertes d'un enduit très émissif, et dont l'ouverture correspond à la surface apparente décrite précédemment.

Ainsi, tout rayonnement traversant cette ouverture subit de multiples diffusions sur les parois internes, maximisant la probabilité d'absorption.

On définit de même une surface de corps gris dans le cadre de la présente invention utilisant un détecteur infrarouge, comme une surface apparente d'un objet présentant de faibles variations d'émissivité sur la bande spectrale du détecteur IR et homogène sur l'ensemble de sa surface (caractéristiques obtenues pour la quasi totalité des peintures).

Plus précisément, la présente invention a pour objet un dispositif de cartographie thermique de zone thermique d'intérêt, configuré pour être embarqué sur ou dans un véhicule en mouvement et comprenant :

- des moyens de détection IR de ladite zone thermique d'intérêt, présentant un champ de vision ;
- au moins deux corps gris ou au moins deux corps noirs ;
- les moyens de détection IR détectant simultanément les rayonnements IR reçus depuis la zone thermique d'intérêt et depuis les corps noirs ou gris, pour réaliser des mesures de rayonnement IR ;
- des moyens pour créer un écart de température entre lesdits corps noirs ou entre lesdits corps gris ;
- des moyens de mesure de température associés à chacun desdits corps noirs ou desdits corps gris ;
- des moyens de synchronisation des mesures de température des corps noirs ou gris, avec les mesures de rayonnement IR ;
- des moyens de détermination de la température de la zone thermique d'intérêt à partir desdites mesures de température et desdites mesures de rayonnement IR.

Selon des variantes de l'invention, le dispositif comprend un miroir diffusant.

Selon des variantes de l'invention, le dispositif peut comprendre :

- deux corps gris ayant une surface spécifique orientée sensiblement parallèlement à la surface de la zone thermique d'intérêt et placée dans ledit champ de vision ou ;
- 5 - un miroir diffusant plan orienté sensiblement parallèlement à la surface de ladite zone thermique d'intérêt et deux corps noirs, lesdits corps noirs et ledit miroir étant placés dans ledit champ de vision ou ;
- 10 - un miroir diffusant plan orienté sensiblement parallèlement à la surface de ladite zone thermique d'intérêt et deux corps gris, lesdits corps gris et ledit miroir étant placés dans ledit champ de vision.

On considère le terme sensiblement comme signifiant un angle typiquement inférieur à une quinzaine de degrés.

15 Lorsque l'on utilise un corps gris, le signal recueilli en direction de la surface spécifique du corps gris dépend de son émissivité (inconnue ou mesurée à priori), de sa température (contrôlée et mesurée à chaque instant) et du rayonnement provenant de l'environnement (inconnu, mais supposé identique à celui du sol). Il devient alors possible d'effectuer l'étalonnage du

20 détecteur simultanément à la mesure, de définir une fonction d'interpolation corrélant le signal détecté par le détecteur IR et la température, d'identifier les paramètres de ladite fonction d'interpolation et de réaliser une inversion de ladite fonction pour déterminer la température recherchée.

La fonction peut typiquement être une fonction polynomiale. De

25 manière générale, pour déterminer une fonction polynomiale de degré (n-1) entre les températures et les valeurs du signal, on doit disposer de n corps de référence (gris ou noirs) à placer dans le champ de vision du détecteur.

L'adjoint d'une surface réfléchissante et diffusante est également nécessaire en cas de corps gris orientés de manière quelconque.

30 Avantageusement le dispositif de l'invention peut comprendre une carte électronique, et un système informatique permettant d'effectuer une opération d'étalonnage et une opération de détermination de température de la zone thermique d'intérêt à partir de l'opération d'étalonnage.

Avantageusement, le dispositif de l'invention comprend une carte

35 électronique et un système informatique réalisant une courbe d'étalonnage

des signaux reçus desdits corps noirs ou desdits corps gris en fonction des températures des corps noirs ou des corps gris et réalisant la détermination de température de la zone thermique d'intérêt à partir de ladite courbe d'étalonnage.

5 Typiquement, les moyens de synchronisation sont intégrés au niveau du système informatique.

Selon des variantes, le dispositif comprend une caméra IR pour détecter ladite zone thermique d'intérêt.

Selon des variantes de l'invention, un détecteur IR peut être  
10 également un détecteur IR de type « scanner » : détecteur à balayage linéaire susceptible de reconstituer des images lors d'un déplacement relatif : un tel détecteur balaie une ligne de la zone thermique d'intérêt et l'image est constituée avec le déplacement du véhicule qui embarque ledit dispositif.

Le détecteur IR peut également comprendre un détecteur ponctuel  
15 (de type pyromètre IR) associé à un système mécanique pour viser des zones élémentaires de la zone thermique d'intérêt et/ou avec un système de miroirs

Selon des variantes de l'invention, le dispositif comprend des  
moyens fonctionnant par effet Peltier pour générer la différence de  
20 température entre les deux corps noirs ou entre les deux corps gris.

Selon des variantes de l'invention, le dispositif comprend des  
moyens de mesure de la température d'un corps noir ou d'un corps gris  
pouvant être un pyromètre ou une sonde Platine ou un thermocouple.

Selon des variantes de l'invention, les moyens de synchronisation  
25 comprennent une carte d'acquisition pilotant l'acquisition des images et la mesure des températures des corps noirs ou des corps gris.

Selon des variantes de l'invention, les corps noirs sont disposés  
dans un plan perpendiculaire à celui du miroir diffusant et à celui de ladite  
surface de la zone thermique d'intérêt.

30 Selon des variantes de l'invention, le détecteur IR est un détecteur matriciel et le dispositif comprend avantageusement des moyens d'homogénéité comprenant une surface présentant une température et une émissivité homogènes, régulièrement placée au plus près du détecteur IR.

L'invention a aussi pour objet l'utilisation d'un dispositif selon  
35 l'invention, embarqué à bord d'un véhicule terrestre.

L'invention a aussi pour objet l'utilisation d'un dispositif selon l'invention, embarqué à bord d'un drone ou d'un aéronef.

L'invention a encore pour objet un procédé d'élaboration d'une cartographie thermique de zone thermique d'intérêt réalisée par le dispositif selon l'invention comprenant :

- l'acquisition d'image, déterminant des signaux relatifs à la zone thermique d'intérêt comprenant une composante atmosphérique, aux corps noirs et au miroir diffusant ou relatifs aux corps gris ;
- l'acquisition des températures des corps noirs ou des températures des corps gris,
- l'élaboration d'une courbe d'étalonnage à partir des signaux générés par les corps noirs ou par les corps gris ;
- la détermination d'une fonction d'interpolation  $\text{Signal} = f(\text{Température})$  corrélée à ladite courbe d'étalonnage ;
- l'identification des paramètres de ladite fonction d'interpolation ;
- une opération de correction du signal relatif à la zone thermique d'intérêt par soustraction de la contribution de la composante atmosphérique ;
- la détermination de température de la zone thermique d'intérêt à partir du signal corrigé par inversion de fonction d'interpolation.

Selon une variante du procédé de l'invention, la fonction d'interpolation est une fonction polynomiale.

Selon une variante du procédé de l'invention, la fonction d'interpolation est une fonction de la forme :

$$S(T) = \frac{a}{\exp\left(\frac{b}{T}\right) + c} + d$$

où a, b, c et d sont les quatre paramètres de la fonction.

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre donnée à titre non limitatif et grâce aux figures annexées parmi lesquelles :

- La figure 1 illustre un dispositif de cartographie de route, embarqué dans un véhicule terrestre selon l'art connu ;



- Les figures 2a et 2b illustrent l'ensemble des rayonnements IR pouvant être détectés par une caméra IR en présence de 2 corps noirs et d'un miroir, selon un dispositif de l'invention ;
- 5     • Les figures 3a et 3b illustrent l'ensemble des rayonnements IR pouvant être détectés par une caméra IR en présence de 2 corps gris, selon un dispositif de l'invention ;
- La figure 4 illustre un exemple de corps noir régulé en température et pouvant être utilisé dans un dispositif de l'invention ;
- 10    • La figure 5 illustre un exemple de corps gris régulé en température et pouvant être utilisé dans un dispositif de l'invention ;
- La figure 6 illustre le schéma d'une image acquise par un détecteur IR matriciel pour une route dans un dispositif de l'invention ;
- 15    • La figure 7 schématise les fonctions de traitement d'un exemple de dispositif de l'invention comprenant deux corps noirs et un miroir ;
- La figure 8 schématise les fonctions de traitement d'un exemple de dispositif de l'invention comprenant deux corps gris ;
- 20    • La figure 9 illustre un premier exemple de dispositif de l'invention ;
- La figure 10 illustre un second exemple de dispositif de l'invention.

25

La présente description détaille ci-après le fonctionnement du dispositif de la présente invention, comprenant un détecteur IR (ou capteur IR).

30 L'intensité lumineuse spectrale (la luminance) qui atteint le capteur IR est la somme de trois rayonnements contributeurs comme décrit précédemment :

- le rayonnement « propre » de la surface visée de la zone thermique d'intérêt ;
  - le rayonnement issu du reste de l'environnement réfléchi sur la surface visée ;
- 35

- le rayonnement « propre » des couches d'air entre le capteur IR et la surface.

Seul le rayonnement « propre » de la surface du sol permet de remonter à sa température, les deux autres rayonnements contributeurs « parasitent » donc le signal reçu.

Selon la présente invention, il peut être envisagé plusieurs configurations récapitulées dans le Tableau 1 ci-après :

Variante	Orientation du miroir	Orientation des corps gris ou noirs
Miroir + corps noir	parallèle à Zi	quelconque
Miroir + corps gris	parallèle à Zi	quelconque
Corps gris seuls	-	parallèle à Zi

10

Tableau 1

#### Première configuration avec deux corps noirs et un miroir diffusant

Dans le cas d'un dispositif comportant deux corps noirs et un miroir diffusant, on suppose que l'environnement vu depuis le sol est identique à celui vu depuis la surface du miroir diffusant, et en supposant que les couches d'air ont la même contribution entre le sol et le capteur IR qu'entre la surface miroir et le capteur IR, on peut alors utiliser cette surface comme un détecteur du rayonnement issu de l'environnement et qui atteint la surface du sol.

Le Demandeur a considéré que lorsque la luminance propre du sol est isolée, la température peut être obtenue à partir d'un étalonnage du capteur IR. En condition de laboratoire, celui-ci consisterait à présenter au capteur IR au moins deux sources de rayonnement dont la température est connue (par un capteur de contact par exemple). Les températures de ces sources doivent être différentes afin que les sources de rayonnement encadrent la luminance propre du sol.

Dans la suite de la description, on définit le terme « signal » comme l'intégrale sur la bande spectrale de détection du détecteur d'une

30

luminance énergétique spectrale pondérée par la réponse du détecteur, depuis un point précis (première lettre en indice) vers un autre point précis dans une direction donnée (seconde lettre en indice). Trois luminances sont utilisées :

- 5 - la luminance propre, indiquée « propre », qui correspond à la luminance d'un corps noir à la même température que la surface  $L_{\lambda}^O(T)$ , multipliée par son émissivité directionnelle spectrale  $\varepsilon_{\lambda}^{\theta}$  :

$$L_{propre} = \varepsilon_{\lambda}^{\theta} L_{\lambda}^O(T)$$

Où  $\theta$  est l'angle d'émission de la luminance.

- 10 - la luminance réfléchie, indiquée « réfl », qui correspond à la luminance provenant de l'environnement et qui se réfléchit sur la surface à travers un facteur de réflexion  $\rho_{\lambda}^{\cap\theta}$  :

$$L_{réfl} = \rho_{\lambda}^{\cap\theta} \cdot L_{environnement}$$

Où  $\cap$  désigne l'ensemble des directions d'incidence.

On montre que, pour des surfaces opaques, ce facteur de réflexion peut s'exprimer en fonction de l'émissivité par :

$$\rho_{\lambda}^{\cap\theta} = 1 - \varepsilon_{\lambda}^{\theta}$$

- 15 Il est détaillé ci-après, l'ensemble des luminances pouvant être recueillies au niveau du capteur IR, comme illustré en figure 2a et 2b. Pour alléger les écritures, on ne fait pas apparaître la réponse spectrale du détecteur, car cela ne nuit en rien à la compréhension du processus :

20 Avec un cas simplifié sans atmosphère, on a :

- le signal provenant du point P au sol appartenant à la zone thermique d'intérêt reçu par le détecteur D :

$$S_{DP} = \int_{\Delta\lambda} L_{propre DP}(T_P) d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DP} d\lambda$$

25

Avec  $\lambda$  : longueur d'onde du signal provenant de M (miroir) vers D (détecteur) et  $\Delta\lambda$  la bande spectrale de détection du détecteur.

- 30 - le signal provenant du miroir M :

$$S_{DM} = \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DM} d\lambda$$

- les signaux provenant des corps noirs chaud (C) et froid (F) vers D :

5

$$S_{DC} = \int_{\Delta\lambda} L_{propre DC}(T_C) d\lambda$$

$$S_{DF} = \int_{\Delta\lambda} L_{propre DF}(T_F) d\lambda$$

On fait l'approximation que le signal réfléchi depuis M (miroir) vers D est identique à celui réfléchi depuis P (sol) vers D, sur l'ensemble des longueurs  
10 d'ondes de la bande spectrale de fonctionnement du détecteur :

$$\int_{\Delta\lambda} L_{réfl DP} d\lambda = \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DM} d\lambda$$

15

Avec une composante atmosphérique, on a :

- un signal provenant de P (sol) vers D :

20

$$S_{DP} = \int_{\Delta\lambda} L_{propre DP}(T_P) d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DP} d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{atm DP} d\lambda$$

- un signal provenant de M (miroir) vers D :

$$S_{DM} = \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DM} d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{atm DM} d\lambda$$

- des signaux provenant des corps noirs chaud (C) et froid (F) vers D :

5

$$S_{DC} = \int_{\Delta\lambda} L_{propre\ DC}(T_C)d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{atm\ DC}d\lambda$$

$$S_{DF} = \int_{\Delta\lambda} L_{propre\ DF}(T_F)d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{atm\ DF}d\lambda$$

avec les approximations suivantes ((1) contribution identique de l'environnement sur P et sur M, (2) contribution identique de l'atmosphère entre D et P qu'entre D et M, et (3) pas de contribution de l'atmosphère entre D et C ou F) :

15 (1)

$$\int_{\Delta\lambda} L_{réfl\ DP}d\lambda = \int_{\Delta\lambda} L_{réfl\ DM}d\lambda$$

(2)

$$\int_{\Delta\lambda} L_{atm\ DP}d\lambda = \int_{\Delta\lambda} L_{atm\ DM}d\lambda$$

20

(3)

$$\int_{\Delta\lambda} L_{atm\ DC}d\lambda = \int_{\Delta\lambda} L_{atm\ DF}d\lambda = 0$$

Un premier corps noir est à une température dite chaude définissant dans la suite de la description un corps noir chaud, un second corps noir est à une température dite froide définissant dans la suite de la description un corps noir froid.

5 Selon la présente invention, il est prévu des moyens permettant de générer une différence de température entre les deux corps noirs respectivement dit chaud et froid, par apport et/ou extraction d'énergie thermique.

10 Il est également prévu des moyens permettant de mesurer la température de chacun des corps noirs chaud et froid.

#### Deuxième configuration avec deux corps gris :

15 Il est détaillé ci-après, l'ensemble des luminances pouvant être recueillies au niveau du capteur IR, comme illustré en figure 3a et 3b.

Avec un cas simplifié sans atmosphère, on a comme signaux :

- le signal provenant de P (sol) vers D :

20

$$S_{DP} = \int_{\Delta\lambda} L_{propre DP}(T_P)d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DP}d\lambda$$

- les signaux provenant des corps gris (G) à température chaude ( $T_C$ ) et froide ( $T_F$ ) vers D :

$$S_{DC} = \int_{\Delta\lambda} L_{propre DG}(T_C)d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DG}d\lambda$$

$$S_{DF} = \int_{\Delta\lambda} L_{propre DG}(T_F)d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DG}d\lambda$$

25

avec comme approximation une contribution identique de l'environnement sur P (sol) et sur G (corps gris) :

$$\int_{\Delta\lambda} L_{réfl DP} d\lambda = \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DG} d\lambda$$

Avec une composante atmosphérique, on a comme signaux :

- le signal provenant de P (sol) vers D :

5

$$S_{DP} = \int_{\Delta\lambda} L_{propre DP}(T_P) d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DP} d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{atm DP} d\lambda$$

- les signaux provenant des corps gris (G) à température chaude ( $T_C$ ) et froide ( $T_F$ ) vers D :

10

$$S_{DC} = \int_{\Delta\lambda} L_{propre DG}(T_C) d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DG} d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{atm DG} d\lambda$$

$$S_{DF} = \int_{\Delta\lambda} L_{propre DG}(T_F) d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DG} d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{atm DG} d\lambda$$

avec les approximations suivantes (contribution identique de l'environnement sur P et sur G, et contribution identique de l'atmosphère entre D et P qu'entre D et G) :

15

$$\int_{\Delta\lambda} L_{réfl DP} d\lambda = \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DG} d\lambda$$

$$\int_{\Delta\lambda} L_{atm DP} d\lambda = \int_{\Delta\lambda} L_{atm DG} d\lambda$$

20

A titre d'exemple, la figure 4 illustre un corps noir régulé en température comprenant :

- une enceinte thermique conductrice 401 ;
- une gaine isolante 402 ;
- un boîtier 403 ;
- un échangeur Peltier 404 ;
- 5     • un convecteur 405 ;
- un revêtement noir 406 ;
- une sonde Platine PT100, 407.

A titre d'exemple, la figure 5 illustre un corps gris régulé en  
10 température et comprenant :

- une gaine isolante 402 ;
- un boîtier 403 ;
- un échangeur Peltier 404 ;
- un convecteur 405 ;
- 15     • une sonde Platine PT100, 407 ;
- un matériau thermiquement conducteur 408 ;
- un revêtement « gris » 409.

L'étalonnage peut alors s'effectuer pour chaque image acquise par  
20 le capteur IR, au détriment de quelques zones non exploitables sur l'image  
acquise comme représenté en figure 6 qui schématise une image acquise  
par un capteur matriciel IR **21** pour une route.

Plus précisément, l'image comporte au moins :

- une région relative à des pixels de la zone d'intérêt référencé :  
25      $Z_I$  ;
- une région relative à des pixels relatifs au miroir :  $Z_M$  ;
- une région relative à des pixels du premier corps noir chaud :  
       $Z_C$  ;
- une région relative à des pixels du second corps noir froid :  $Z_F$

30 L'étalonnage du détecteur consiste, pour chaque image acquise, à  
réaliser le nuage de points qui relie le signal au niveau du détecteur à la  
température des corps de référence placés dans le champ de vision.

Selon la présente invention, il est possible à partir d'une courbe  
d'étalonnage de définir une fonction d'interpolation permettant d'expliquer au  
35 mieux ce nuage de points.



Cette fonction d'interpolation peut typiquement être une fonction polynomiale.

Il peut s'agir d'une fonction polynomiale qui permet d'expliquer au mieux ce nuage de points, à l'aide d'un polynôme de degré  $n-1$  :

$$S_{DC} = P^{(n-1)}(T_{CN})$$

5 où  $P^{(n-1)}(T_{CN})$  est un polynôme de degré  $(n-1)$  de variable de  $T_{CN}$  :

$$P^{(n-1)}(T_{CN}) = \sum_{i=0}^{i=n-1} a_i \cdot T_{CN}^i$$

De manière générale, la luminance propre d'un corps noir est définie par une loi en  $T^4$  ( $T$  étant la température), néanmoins pour de faibles variations  $\Delta L$ , on peut considérer que la luminance  $L$  est proportionnelle à  $T$ .

10 Le degré maximal à prendre pour le polynôme est donc  $(n-1)=4$ , et est au minimum de  $(n-1)=1$  (relation linéaire). Les coefficients  $a_i$  sont déterminés en réalisant une régression polynomiale sur le nuage de points. On peut disposer de  $n$  corps de référence à température connue.

15 A ce stade, cette relation n'est cependant utilisable que pour déterminer des températures équivalentes de corps noir vue par le détecteur et à travers une atmosphère identique à celle entre le détecteur et le corps de référence.

Afin de déterminer la température d'un corps réel d'intérêt de la zone  $Z_i$ , il est nécessaire d'isoler la luminance du corps noir ou du corps gris et la contribution de l'atmosphère dans l'expression du signal  $S_{DP}$  :

$$\frac{S_{DP} - \int_{\Delta\lambda} L_{refl DP} d\lambda}{\varepsilon_{\Delta\lambda}^{DP}} = \int_{\Delta\lambda} L_{\lambda}^o(T_P) d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{atm DP} d\lambda$$

25 Pour réaliser cette opération, il a été nécessaire de considérer dans le cas d'un corps gris, la surface d'intérêt grise sur la bande spectrale du détecteur (afin de « sortir » l'émissivité de l'intégrale). Le terme de droite de cette dernière équation est alors comparable aux signaux utilisés pour l'étalonnage, et la température de  $Z_i$  peut alors être directement calculée par inversion de la relation polynomiale précédente.

Dans le présent exemple d'application, on considère les variations de température suffisamment faibles pour pouvoir utiliser un polynôme de

degré  $(n-1) = 1$  (relation linéaire), soit  $n=2$ , c'est-à-dire utilisant 2 corps noirs ou 2 corps gris. On cherche alors à exprimer le signal par une relation de ce type :

$$S_{DC} = a_1 \cdot T_{CN} + a_0$$

Où  $a_1$  et  $a_0$  sont les coefficients caractéristiques de la relation linéaire.

En utilisant une méthode de régression linéaire sur les points correspondant aux corps de référence chaud et froid, les coefficients  $a_1$  et  $a_0$  peuvent être déterminés directement. En inversant la relation linéaire donnée par cet étalonnage, la température de la zone thermique d'intérêt  $Z_i$  peut alors être obtenue au même instant.

La figure 7 schématise les fonctions de traitement d'un exemple de dispositif de l'invention comprenant deux corps noirs et un miroir :

- la caméra IR qui reçoit les signaux  $S_{DP}$ ,  $S_{DF}$ ,  $S_{DC}$ ,  $S_{DM}$  ;
- une carte électronique recueillant les températures du corps noir froid et celle du corps noir chaud obtenues depuis deux sondes PT100 (F) et PT100 (C) ;
- un système informatique qui regroupe les informations depuis la caméra et depuis la carte électronique pour :

- établir une courbe d'étalonnage ;
- choisir une fonction d'interpolation ;
- identifier les paramètres de la fonction d'interpolation ;
- appliquer au signal recherché  $S_{DP}$  la correction mentionnée précédemment ;

$$\frac{S_{DP} - \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DP} d\lambda}{\varepsilon_{\Delta\lambda}^{DP}} = \int_{\Delta\lambda} L_{\lambda}^O(T_P) d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{atm DP} d\lambda$$

et déterminer la température  $T_p$  à partir du signal corrigé par inversion de la fonction d'interpolation .

La figure 8 schématise les fonctions de traitement d'un exemple de dispositif de l'invention comprenant deux corps gris :

- la caméra IR qui reçoit les signaux  $S_{DP}$ ,  $S_{DF}$ ,  $S_{DC}$  ;

- une carte électronique recueillant les températures du corps gris froid et celle du corps gris chaud obtenues depuis deux sondes PT100 (F) et PT100 (C) ;
- un système informatique qui regroupe les informations depuis la caméra et depuis la carte électronique pour :
  - établir une courbe d'étalonnage ;
  - choisir une fonction d'interpolation ;
  - identifier les paramètres de la fonction d'interpolation ;
  - appliquer au signal recherché  $S_{DP}$  la correction mentionnée précédemment ;

$$\frac{S_{DP} - \int_{\Delta\lambda} L_{réfl DP} d\lambda}{\varepsilon_{\Delta\lambda}^{DP}} = \int_{\Delta\lambda} L_{\lambda}^O(T_P) d\lambda + \int_{\Delta\lambda} L_{atm DP} d\lambda$$

et déterminer la température  $T_p$  à partir du signal corrigé par inversion de la fonction d'interpolation .

Premier exemple de dispositif selon l'invention :

La figure 9 illustre un exemple de dispositif de l'invention embarqué à bord d'un véhicule **100** pour déterminer une cartographie d'une zone thermique d'intérêt de route comprenant une caméra IR **200** dans un boîtier **300**.

Le boîtier comprend un hublot **301** transparent sur  $\Delta\lambda$ , une casquette de protection **302**, et un bras de support **303** destiné à recevoir un miroir diffusant **500**.

Le dispositif comprend en outre les deux corps noirs régulés en température **401** et **402**, placés perpendiculairement à la surface du sol et couplés à deux sondes de température PT100 et à des échangeurs Peltier. Les corps noirs régulés en température sont reliés par des liaisons **701** et **702** à un ensemble **600** : carte d'acquisition/système informatique.

Second exemple de dispositif selon l'invention :

La figure 10 illustre un exemple de dispositif de l'invention embarqué à bord d'un véhicule **100** pour déterminer une cartographie d'une zone thermique d'intérêt de route comprenant une caméra IR **200** dans un boîtier **300**.

Le boîtier comprend un hublot **301** transparent sur  $\Delta\lambda$ , une casquette de protection **302**.

Le dispositif comprend en outre les deux corps gris régulés en température **403** et **404** placés parallèlement à la surface du sol et couplés à  
5 deux sondes de température PT100 et à des échangeurs Peltier. Les corps gris régulés en température sont reliés par des liaisons **703** et **704** à un ensemble **600** : carte d'acquisition/système informatique.

Le dispositif comprend en outre un système de fixation magnétique **800** permettant de positionner au niveau du capot du véhicule,  
10 les deux corps gris.

3. Dispositif de cartographie selon l'une des revendications 1 ou 2, comprenant une caméra IR pour détecter ladite zone thermique d'intérêt.

4. Dispositif de cartographie selon l'une des revendications 1 ou 2, comprenant un détecteur IR est un détecteur à balayage linéaire susceptible de reconstituer des images lors d'un déplacement relatif par rapport à la zone thermique d'intérêt.

5. Dispositif de cartographie selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel le détecteur IR comprend un pyromètre associé à un système mécanique pour viser des zones élémentaires de la zone thermique d'intérêt et/ou associé à un système de miroirs.

6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, comprenant des moyens fonctionnant par effet Peltier pour générer la différence de température entre les deux dits corps noirs ou gris.

7. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel lesdits moyens de mesure de la température d'un corps noir ou d'un corps gris comprennent un pyromètre.

8. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel lesdits moyens de mesure de la température d'un corps noir ou d'un corps gris comprennent une sonde Platine.

25

9. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel lesdits moyens de mesure de la température d'un corps noir ou d'un corps gris comprennent un thermocouple.

10. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 9, dans lequel les moyens de synchronisation comprennent une carte d'acquisition pilotant l'acquisition des images et la mesure des températures des corps noirs ou des corps gris.

30

11. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 10, dans lequel les corps noirs sont disposés dans un plan perpendiculaire à celui du miroir diffusant et à celui de ladite surface de la zone thermique d'intérêt.

5                   12. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'il comporte un détecteur IR matriciel et des moyens d'homogénéité comprenant une surface présentant une température et une émissivité homogènes, régulièrement placée au plus près du détecteur IR.

10                   13. Utilisation d'un dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, embarqué à bord d'un véhicule terrestre.

14. Utilisation d'un dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, embarqué à bord d'un drone ou d'un aéronef.

15

15. Procédé d'élaboration d'une cartographie thermique de zone thermique d'intérêt réalisé par le dispositif selon l'une des revendications 1 à 12, comprenant :

- 20                   - l'acquisition d'image, déterminant des signaux relatifs à la zone thermique d'intérêt comprenant une composante atmosphérique, aux corps noirs et au miroir diffusant ou relatifs aux corps gris ;
- l'acquisition des températures des corps noirs ou des températures des corps gris,
- 25                   - l'élaboration d'une courbe d'étalonnage à partir des signaux générés par les corps noirs ou par les corps gris ;
- la détermination d'une fonction d'interpolation  $Signal = f(Température)$  corrélée à ladite courbe d'étalonnage ;
- l'identification des paramètres de ladite fonction d'interpolation ;
- 30                   - une opération de correction au signal relatif à la zone thermique d'intérêt par soustraction de la contribution de la composante atmosphérique ;
- la détermination de température de la zone thermique d'intérêt à partir du signal corrigé par inversion de fonction
- 35                   d'interpolation.

16. Procédé selon la revendication 15, dans lequel la fonction d'interpolation est une fonction polynomiale.

5 17. Procédé selon la revendication 15, dans lequel la fonction d'interpolation est une fonction de la forme :

$$S(T) = \frac{a}{\exp\left(\frac{b}{T}\right) + c} + d$$

où a, b, c et d sont les quatre paramètres de la fonction.

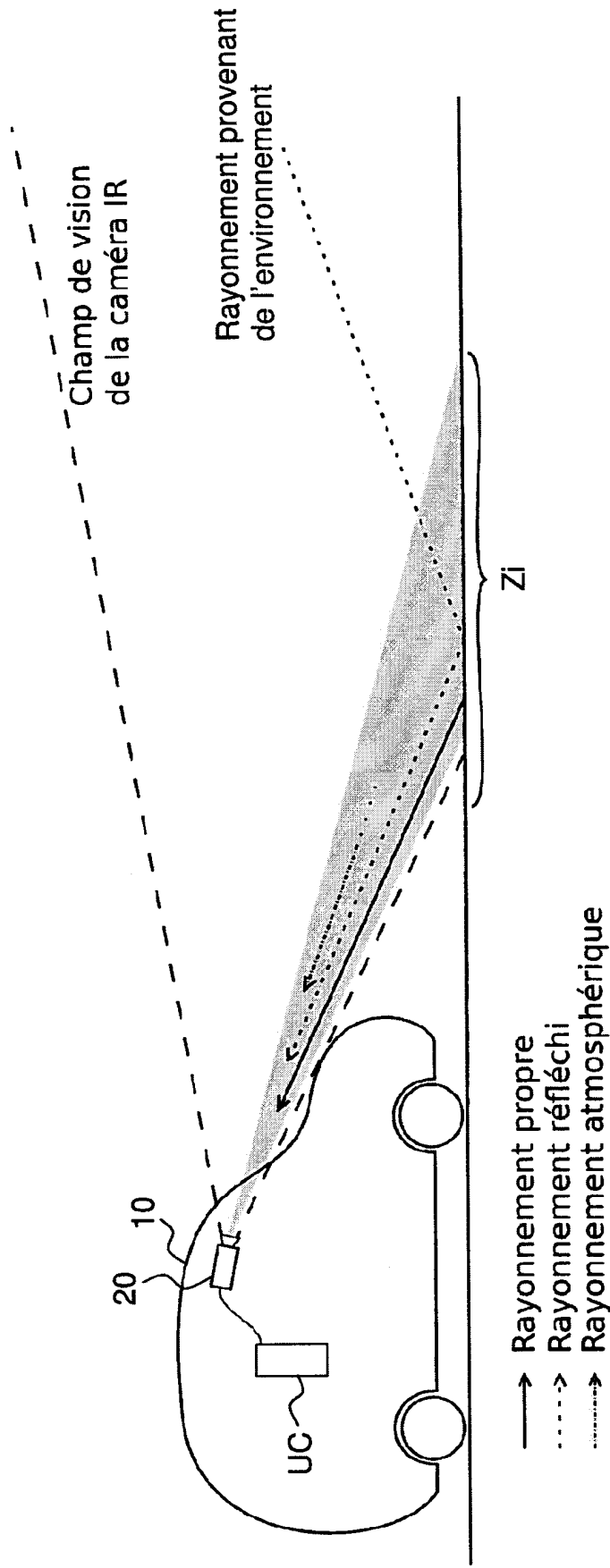


FIG.1



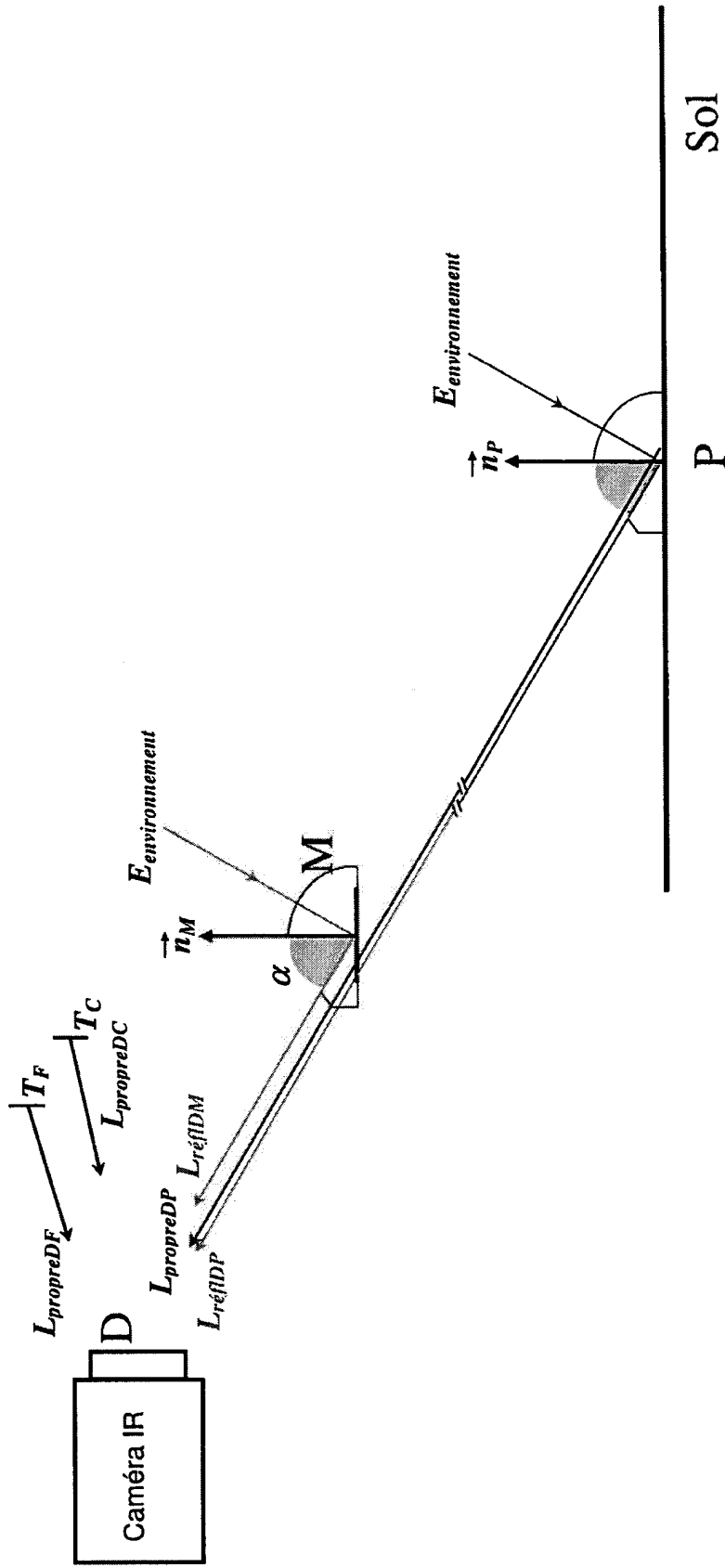


FIG.2a

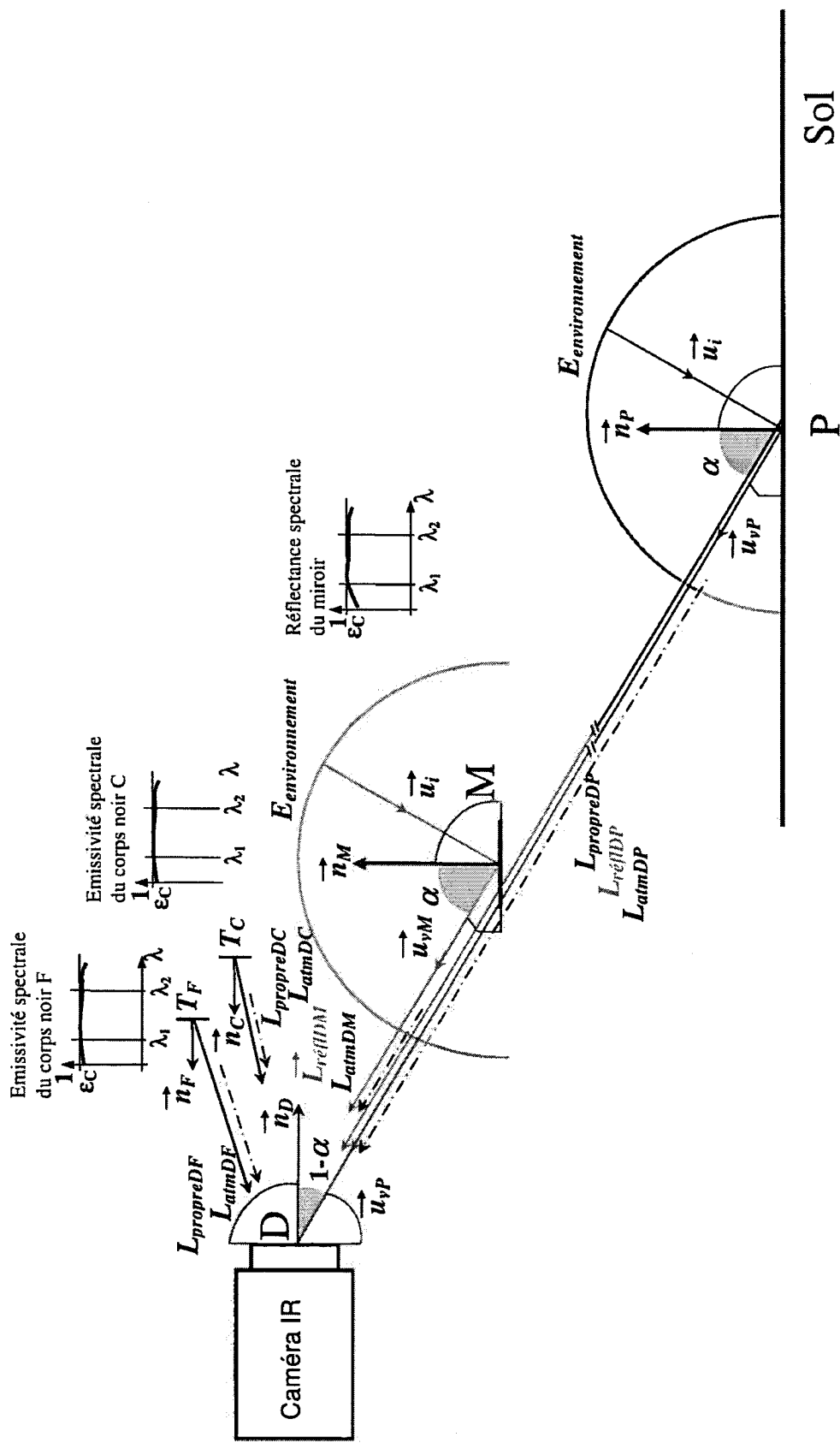


FIG.2b

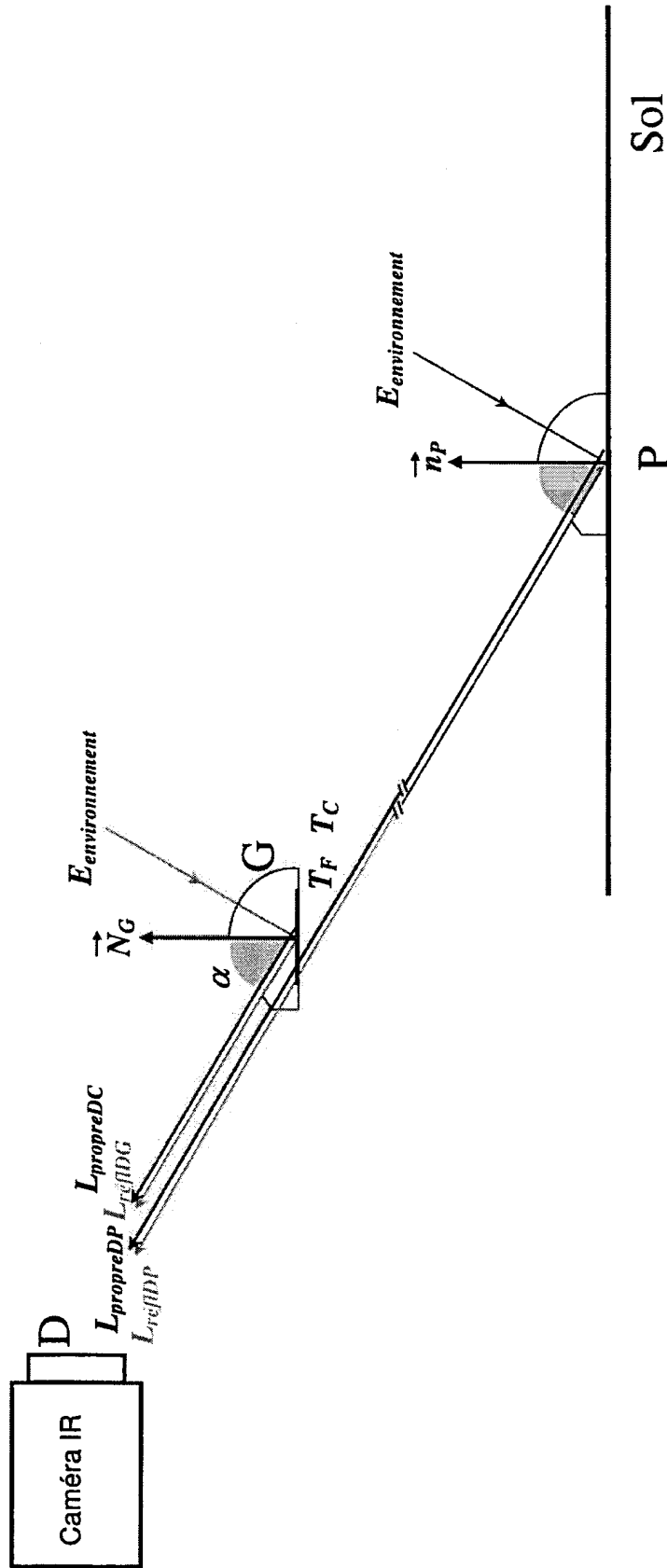


FIG.3a

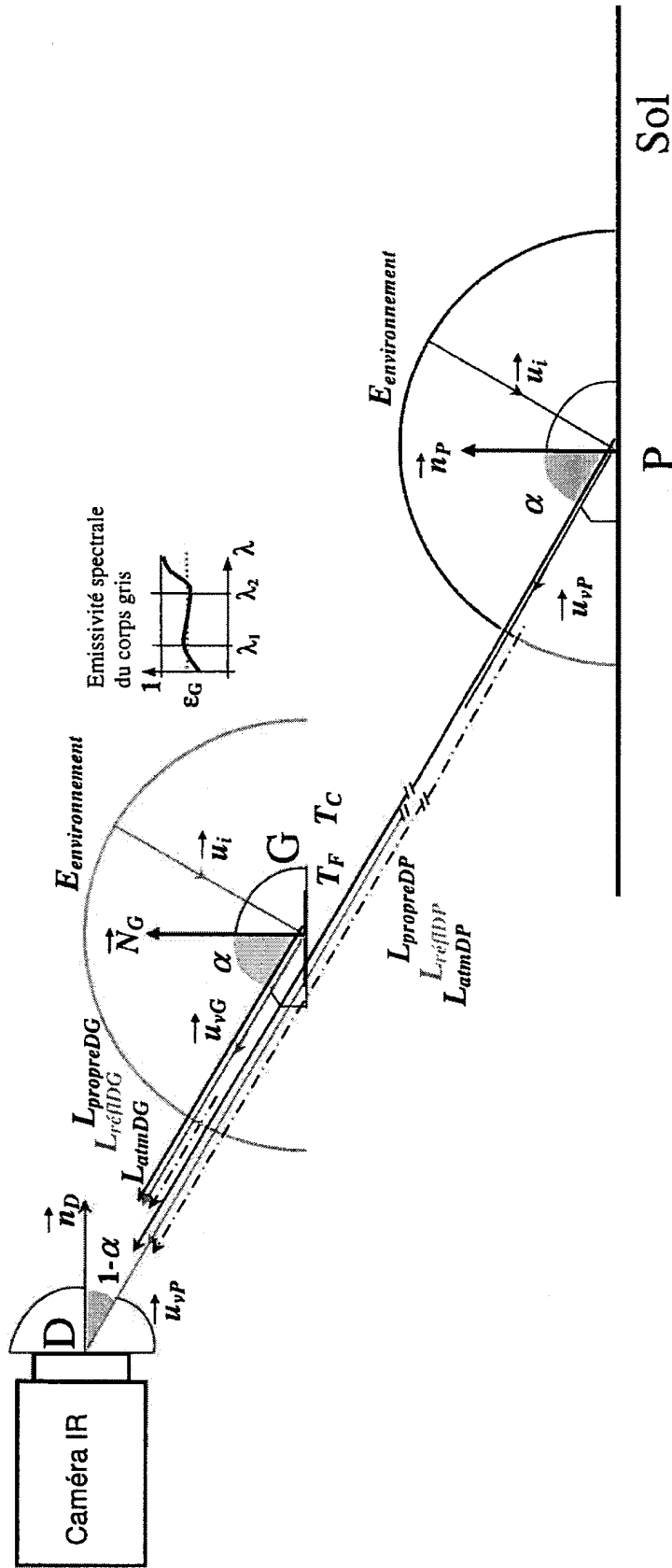


FIG.3b

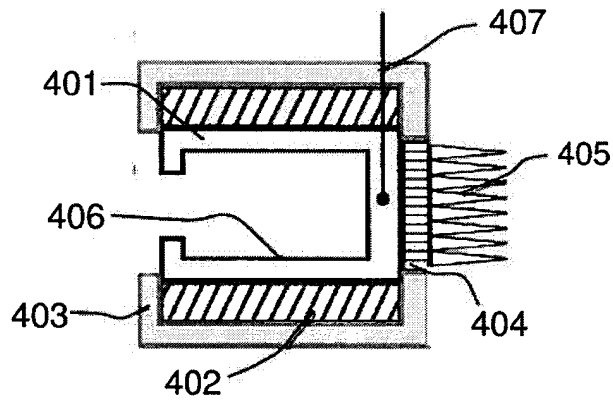


FIG. 4

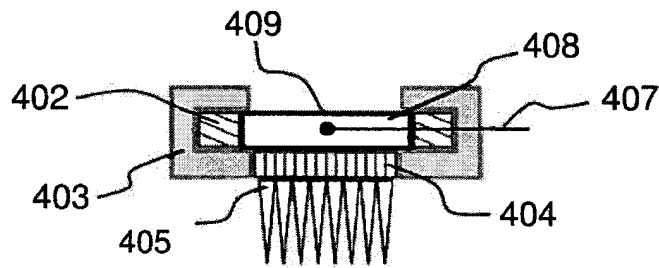


FIG. 5

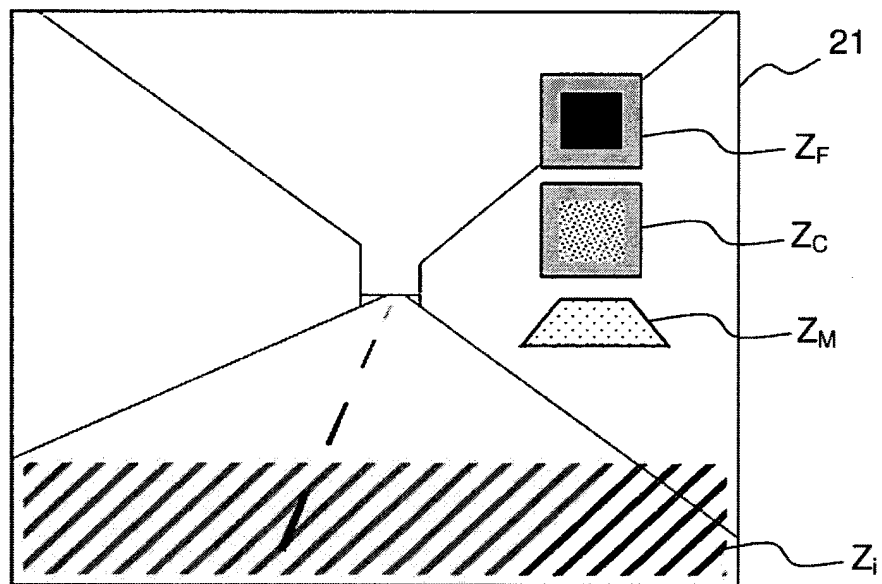


FIG. 6

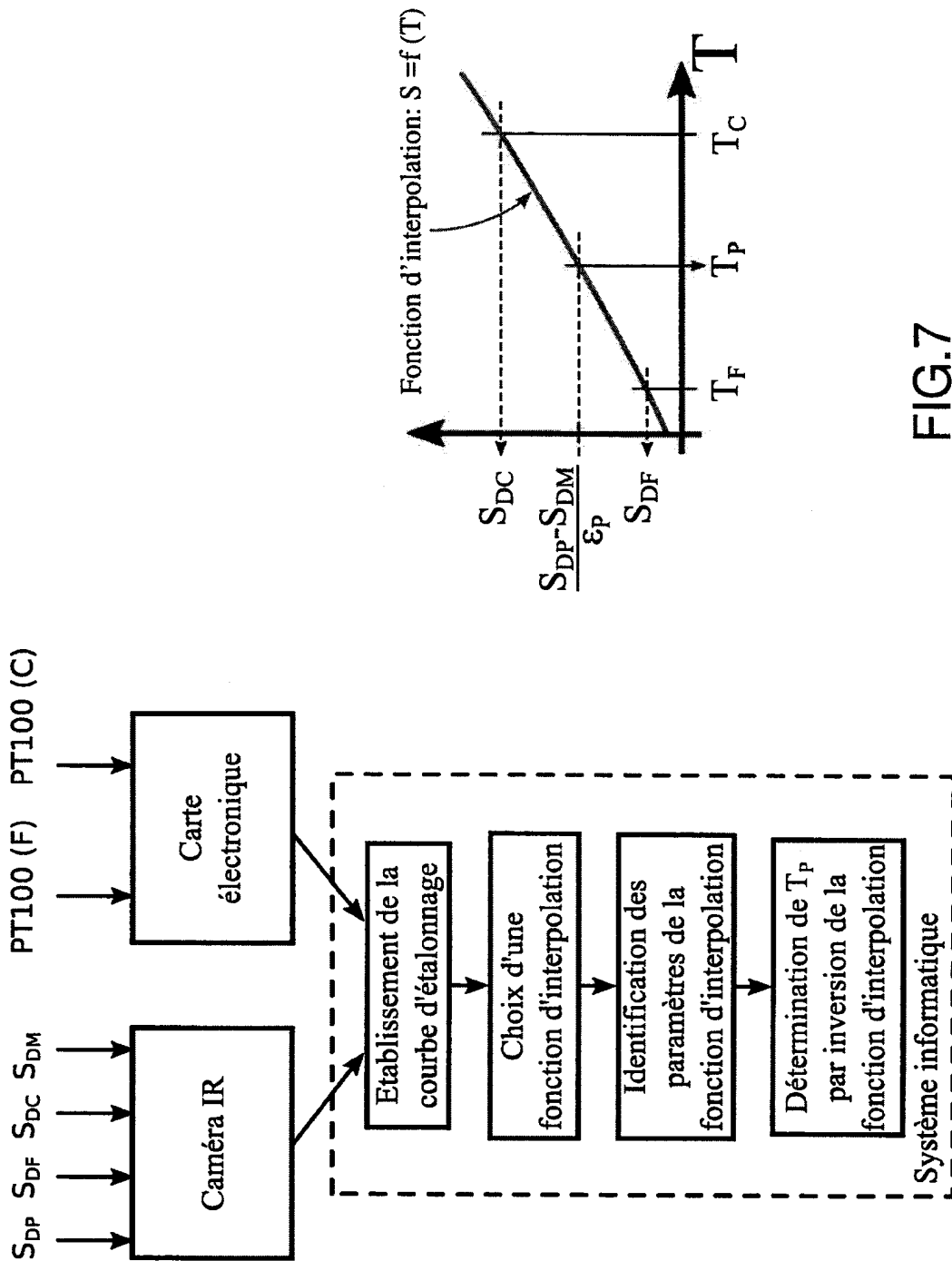


FIG.7

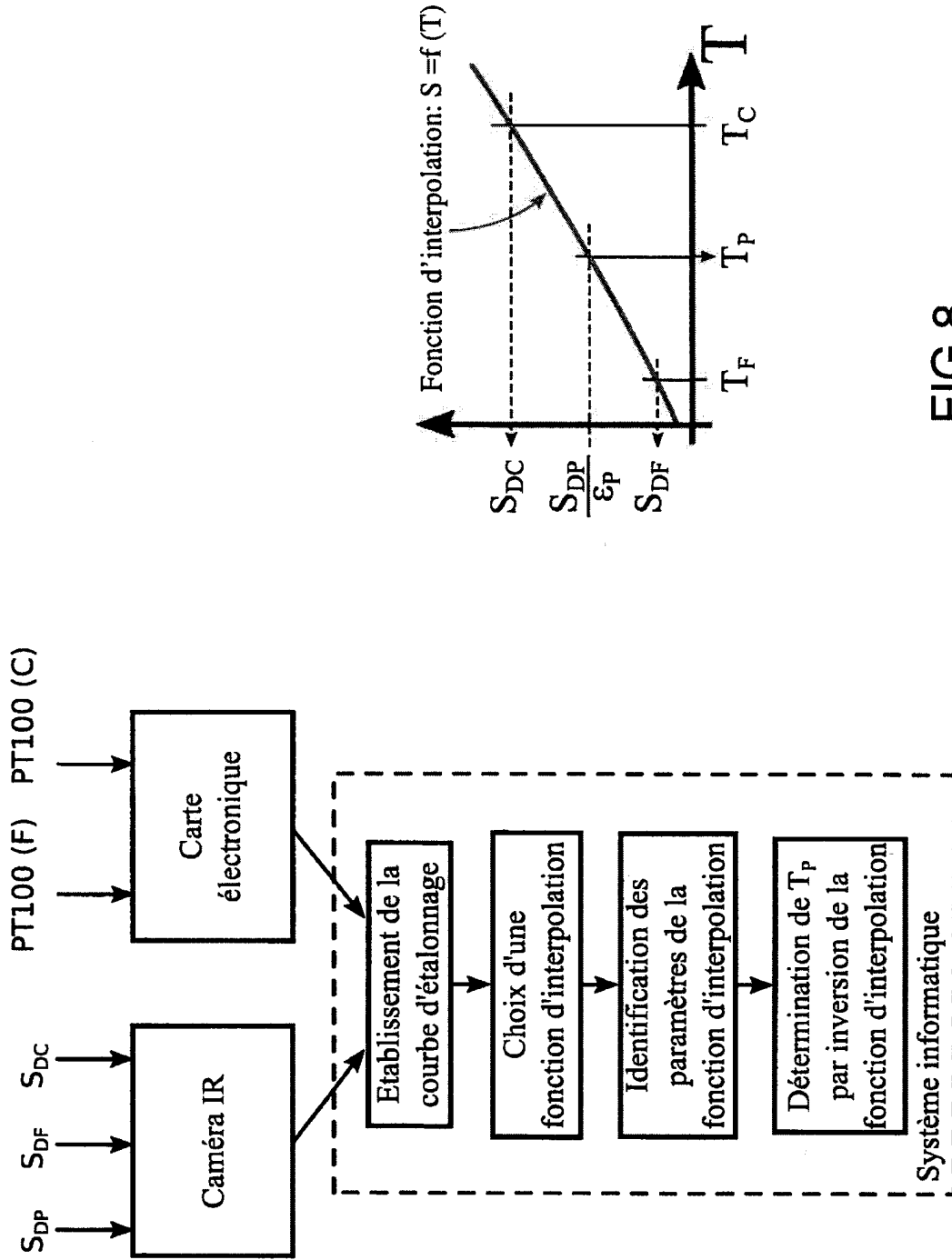


FIG.8

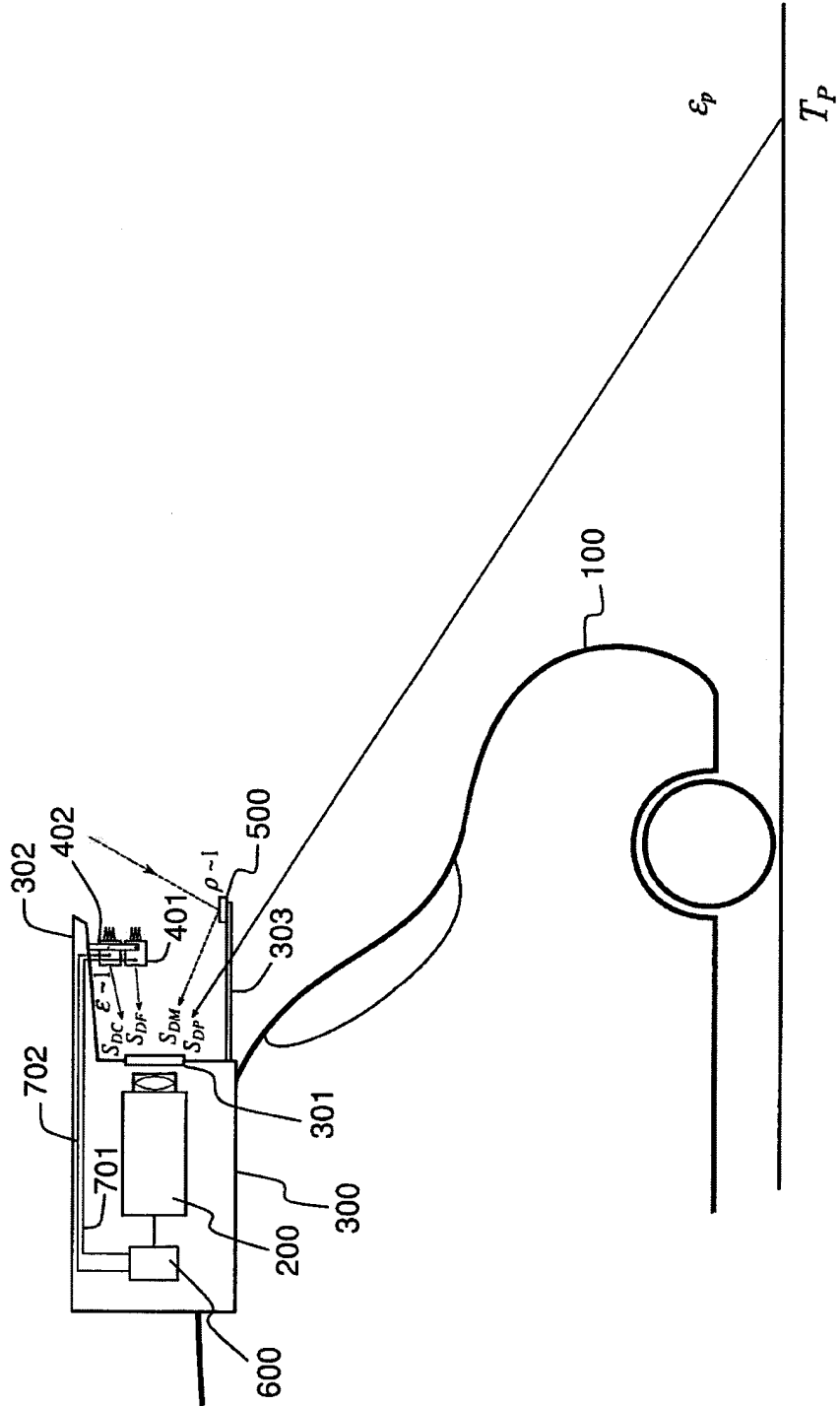


FIG.9



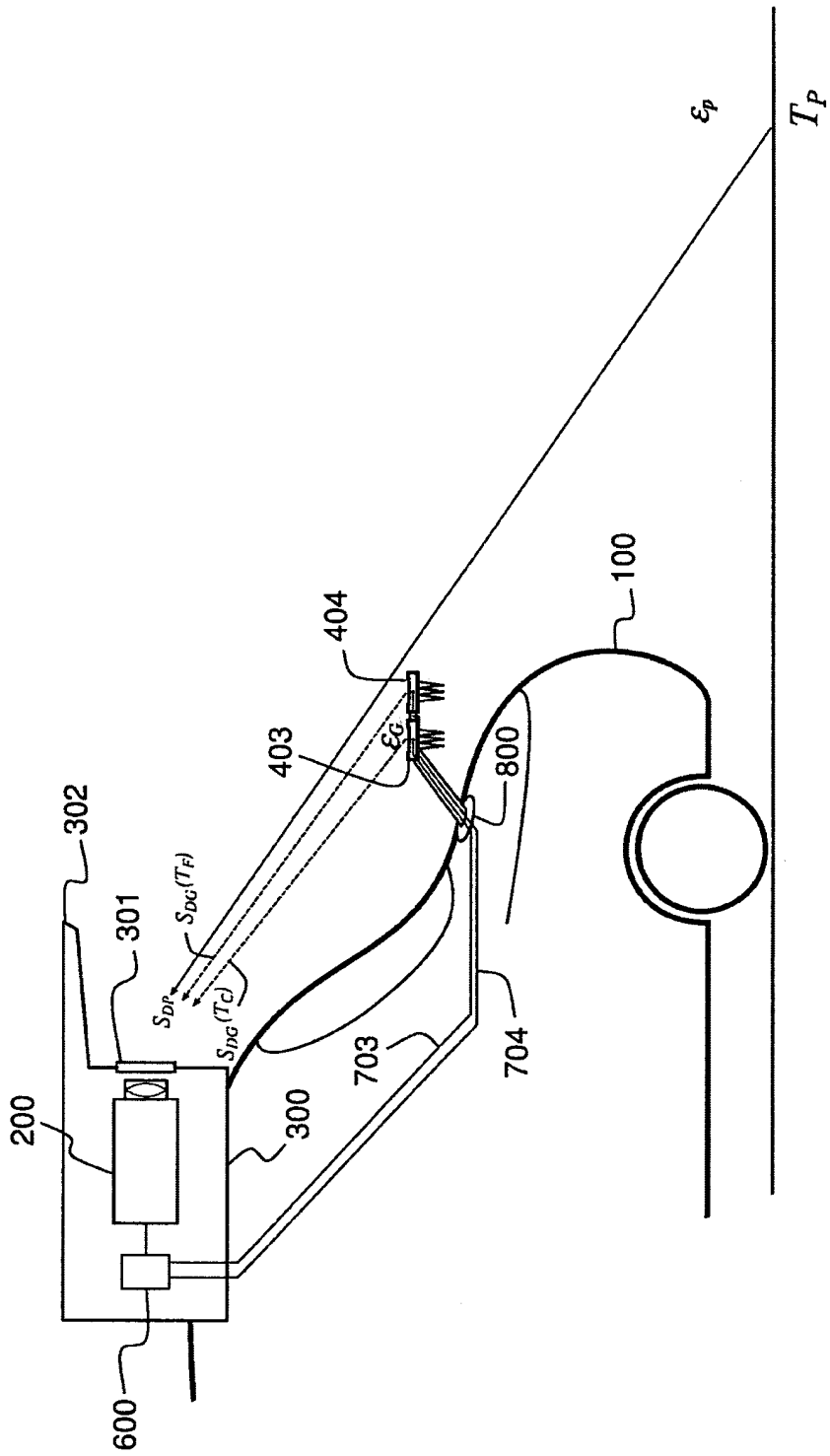


FIG.10