



(51) Classification internationale des brevets :
H01J 23/033 (2006.01) B64G 1/50 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2011/054852

(22) Date de dépôt international :
29 mars 2011 (29.03.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1052365 30 mars 2010 (30.03.2010) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
ASTRIUM SAS [FR/FR]; 6 rue Laurent Pichat, F-75016
Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : FLEMIN,
Christian [FR/FR]; 17, Rue du Sidobre, F-31280 Dremil-
Lafage (FR). HADDAD, David [FR/FR]; 4, Place Russel,
F-31400 Toulouse (FR).

(74) Mandataire : FOURCADE, Emmanuelle; Schmit-
chetien, 4, rue Paul Mesple, F-31000 Toulouse (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— relative au droit du déposant de revendiquer la priorité
de la demande antérieure (règle 4.17.iii)

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : DEVICE FOR CONTROLLING THE TEMPERATURE OF A TUBE HAVING A RADIATING COLLECTOR

(54) Titre : DISPOSITIF DE CONTROLE THERMIQUE D'UN TUBE A COLLECTEUR RAYONNANT

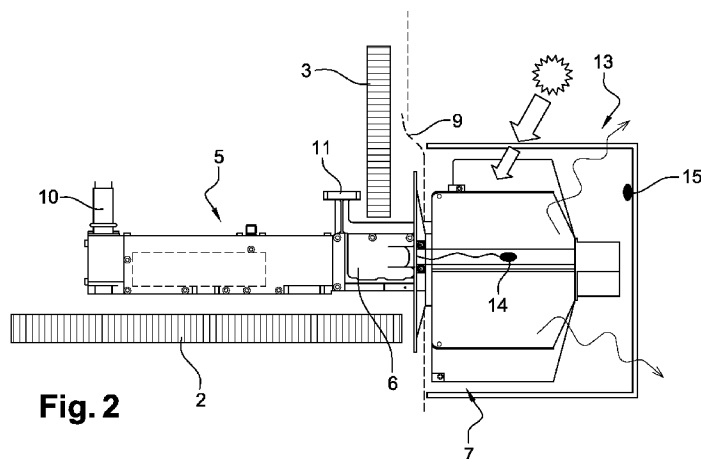


Fig. 2

(57) Abstract : The invention relates to a device for controlling the temperature of an apparatus for dissipating heat by means of radiation, comprising means for reversibly filtering a portion, included between two predetermined end values, of the radiation emitted or received by the dissipating apparatus in at least one wavelength range, and means for controlling said selective filtering means. The dissipating apparatus is typically a travelling-wave tube (5) including a radiating collector, said tube (5) comprising a collector (6) projecting outside of the walls (2, 3) of equipment placed in a high-vacuum environment, the collector (6) being rigidly connected to a cooler (7) radiating toward the outside of the vehicle, while the filtering means comprises a screen (13) arranged around at least a portion of the solid angle of radiation of the cooler (7) radiating toward the outside of the equipment. The invention also relates to a method for driving the device.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]





Publiée :

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

Le dispositif de contrôle thermique pour un équipement dissipatif de chaleur par rayonnement, comporte des moyens de filtrage réversible d'une partie comprise entre deux valeurs extrêmes prédéterminées, du rayonnement émis ou reçu par l'équipement dissipatif dans au moins une gamme de longueurs d'ondes et des moyens de commande de ces moyens de filtrage sélectif. L'équipement dissipatif est typiquement un tube à onde progressive (5) du type à collecteur rayonnant, ledit tube (5) comportant un collecteur (6) dépassant à l'extérieur des parois (2, 3) d'un engin placé dans un environnement de vide poussé, le collecteur (6) étant solidarisé à un refroidisseur rayonnant (7) vers l'extérieur du véhicule, et les moyens de filtrage comportent un écran (13) disposé autour d'au moins une partie de l'angle solide de rayonnement du refroidisseur rayonnant (7) vers l'extérieur de l'engin. L'invention vise également un procédé de pilotage du dispositif.

Dispositif de contrôle thermique d'un tube à collecteur rayonnant

L'invention relève du domaine du contrôle thermique. Elle concerne plus particulièrement le contrôle thermique actif d'un équipement en environnement spatial, et vise notamment une application dans le cas d'un satellite de télécommunications stabilisé sur trois axes, et doté de tubes à ondes progressives
5 avec collecteur rayonnant.

Contexte de l'invention et problème posé

Il est connu que l'un des problèmes des charges utiles de type électronique embarquées sur des satellites en environnement spatial est la dissipation de la
10 chaleur produite par ladite charge utile.

En effet, dans le cas, par exemple, d'un satellite de télécommunications, la charge utile comporte fréquemment des tubes à ondes progressives ("TOP" ou "TWT" pour Traveling-Wave Tube, en langue anglaise), destinés à une amplification du signal à transmettre avec un très faible bruit de fond. Or ces tubes
15 à ondes progressives dégagent une grande quantité de chaleur, qui doit être dissipée vers l'espace, pour éviter une élévation de chaleur de la charge utile mettant en danger son fonctionnement correct. Le collecteur de ces tubes à ondes progressives avec collecteur rayonnant fonctionne fréquemment à une température d'environ 200°C, alors que le tube lui-même est porté à quelques
20 dizaines de degrés C. A titre purement informatif, la chaleur dégagée sur un satellite de télécommunications actuel atteint plusieurs kilowatts, et il est clair que la capacité de dissipation thermique est alors un élément dimensionnant de la puissance de la charge utile.

On considère ici le cas de satellites de télécommunications stabilisés en attitude sur trois axes, c'est-à-dire pointant une direction fixe au cours du temps.
25 C'est typiquement le cas de satellites géostationnaires. Il est alors classique de définir pour ces satellites des faces dites Terre et anti-Terre, orientées vers la Terre ou à l'opposé de celle-ci, et des faces Est et Ouest, perpendiculaires à cette direction de la Terre, et des faces Nord et Sud, perpendiculaire à l'axe des pôles
30 terrestres, et donc peu éclairées par le soleil par comparaison aux autres faces du satellite.

On définit pour la suite de la description le cas "chaud" comme la situation

dans laquelle un tube rayonnant est soumis au rayonnement solaire. Au contraire, on définit le cas "froid" comme le cas où le collecteur rayonnant est dans l'ombre du satellite. On comprend que la différence de température entre ces deux cas se chiffre en dizaines de degrés.

5 Comme on le sait, la dissipation de chaleur ne peut, dans l'environnement spatial, être obtenue que par rayonnement. Divers dispositifs de dissipation de chaleur vers l'espace ont alors été envisagés pour les charges utiles de ces satellites stabilisés.

10 Parmi ceux-ci, le document brevet EP 0 376 827 (Thomson CSF 1988) décrit un tube à ondes progressives dont le collecteur transmet par conduction sa chaleur à un refroidisseur à ailettes situé sur la surface externe du satellite.

De même, le document brevet US 5 862 462 (Space Systems / Loral 1996) décrit un système de refroidissement de tubes à ondes progressives mettant en
15 œuvre des collecteurs rayonnants vers l'espace par l'intermédiaire d'un refroidisseur à ailettes.

Ce principe du tube à collecteur rayonnant (TCR), connu en soi, est illustré de façon schématique sur la figure 1. Cette figure met en évidence la zone interne
1 au satellite, délimitée de façon simplifiée par un plancher 2 (qui est de fait une
20 face Nord ou Sud du satellite) et une paroi 3, laquelle est par exemple orientée Est ou Ouest par rapport au soleil. Dans cette zone interne 1, la dissipation de chaleur se fait principalement par conduction. Au contraire, dans la zone externe 4 au satellite, la dissipation de chaleur se fait par rayonnement.

Le satellite comporte un ensemble de tubes à onde progressive 5, de type
25 connu en soi. Chaque tube à ondes progressives 5 comporte une entrée 10 de signal à amplifier, une sortie 11 de signal amplifié, ainsi qu'un collecteur 6, qui traverse une paroi 3 du satellite et supporte un radiateur à ailettes 7, disposé à l'extérieur du satellite. Les ailettes, typiquement au nombre de huit, sont de longueur égale et s'inscrivent dans un cercle.

30 Une protection isolante multicouche 9 enveloppe et isole le satellite, réduisant l'entrée de rayonnement solaire ou de rayonnement généré par le radiateur à ailettes dans le satellite.

Le rôle du radiateur à ailettes 7 est de rayonner environ 60% de la chaleur produite par le Tube à Ondes Progressives vers l'espace servant de source froide,

ce ratio dépendant du mode de fonctionnement du tube. Dans ce but, dans le présent exemple de mise en œuvre, le radiateur à ailettes 7 reçoit par exemple un traitement de surface par anodisation sulfurique, de manière à lui conférer une émissivité ϵ minimale de 0.8 et des valeurs typiques d'absorptivité solaire en début
5 de vie $\alpha_{\text{BOL}}=0.45$ et en fin de vie $\alpha_{\text{EOL}}=0.7$.

Le reste de la chaleur, soit environ 40%, est dissipé dans la paroi soutenant le tube. En sens inverse, le radiateur à ailettes 7 reçoit un rayonnement émis par le soleil ou une autre source de rayonnement externe, et le transmet par conduction au collecteur 6 du tube à ondes progressives 5.

10

Un tel dispositif est nommé tube à collecteur rayonnant (en langue anglaise RCTWT de Radiatively Cooled Traveling-Wave Tube). De tels dispositifs sont classiquement installés sur les arêtes proches des faces Nord et Sud, de manière à ce que les collecteurs rayonnants disposent d'un angle de rayonnement le plus
15 grand possible, dans une zone peu éclairée par le soleil. Cependant, on comprend que, lorsque une série de ces tubes à collecteur rayonnant 5 sont disposés côte à côte, les radiateurs à ailettes 7 des tubes 5 situés entre d'autres tubes voient leur zone de rayonnement vers l'espace masqué par les radiateurs à ailettes 7 qui les entourent, ce qui réduit leur efficacité.

20 De même, du fait de la puissance rayonnée, l'espacement entre les refroidisseurs à ailettes doit éventuellement être augmenté, ce qui implique d'augmenter le pas entre les tubes à ondes progressives au sein de la charge utile. Or il est souhaitable, pour des raisons de performances de la charge utile, de réduire autant que faire se peut la longueur des guides d'ondes entre les antennes
25 réceptrices, et les tubes à ondes progressives 5. Il est donc parfois nécessaire de disposer des tubes au milieu d'une face, ce qui est réduit naturellement la capacité de refroidissement du collecteur rayonnant, particulièrement s'il s'agit d'une face autre que Nord ou Sud.

Que ce soit pour des raisons de proximité des tubes ou de tubes dont les
30 collecteurs sont disposés sur une face exposée au rayonnement solaire, certains des collecteurs rayonnant voient, dans les conditions les pires, leur température s'élever jusqu'à environ 220 °C. Une telle température est susceptible de provoquer des dommages au niveau des matériaux composant le collecteur, et par exemple au niveau de la tête 12 du collecteur ("potting" en langue anglaise),

qui solidarise les ailettes au collecteur par l'intermédiaire d'une colle. A température trop élevée, le tube associé risque la destruction. Ce problème de réduction de la température maximale des collecteurs rayonnants est donc critique.

5

Un autre document brevet EP 1 495 964 (Alcatel 2003) décrit des tubes à ondes progressives à deux étages conductifs, le second étage étant à haute température, disposé à l'intérieur d'un "logement" et couplé conductivement à d'autres tubes ainsi qu'à une surface de l'enceinte rayonnant vers l'espace. Le réceptacle radiatif est préférentiellement solidarisé aux collecteurs : le réceptacle radiatif est en fait couplé conductivement à l'aide de moyen de répartition de chaleur en interposant un joint conducteur thermique. Les tubes utilisés dans cette invention transfèrent leur chaleur à d'autres dispositifs de façon conductive. Cette solution présente encore une certaine complexité de mise en œuvre.

15

On comprend que, pour cette application de dissipation de chaleur en ambiance spatiale, les dispositifs cités sont soit complexes soit insuffisamment efficaces, ce qui entraîne des limitations dans la puissance dissipable.

Les solutions évoquées entraînent des contraintes d'accommodation fortes, des impacts sur les performances RF et sur la masse de la charge utile envisageable (car une augmentation des longueurs des guides d'onde est nécessaire si tous les tubes doivent être implantés sur les arêtes Est/Ouest du Module de Communication Télécom) : la température des radiateurs des tubes à collecteur rayonnant est critique en cas chaud, et il n'y a pas de paramètre d'ajustement autre que le pas entre les tubes, qui est figé en début de programme. De plus, il n'est pas possible de compenser la fuite radiative vers l'espace lorsque le tube est en mode "No drive" c'est-à-dire sans alimentation en signal RF ou inactif (augmentation du bilan de réchauffage du satellite).

30

Un second problème est posé par la nécessité de simuler au sol, préalablement au lancement d'un satellite, le fonctionnement de la charge utile, dans des conditions aussi proches de l'environnement spatial que possibles. La charge utile devrait en théorie pouvoir être testée en ambiance de vide, avec une dissipation de chaleur par rayonnement et une simulation de rayonnement solaire.

Pour réguler en température des équipements dissipatifs sur les charges utiles Télécom (par exemple des antennes actives, et des sources d'antennes), on utilise notamment des charges à eau. La mise en place de ces charges à eau est très contraignante. Elle implique en effet l'implantation d'un échangeur dans le caisson et quelque fois à l'intérieur du satellite (risque de fuites et dégazage). Il est également nécessaire d'implanter un contrôle thermique sur les tuyaux d'alimentation en eau (matelas isolant multicouche et lignes de réchauffage) pour éviter que l'eau gèle. Le système d'alimentation se révèle complexe (régulation du débit et de la température de l'eau). La configuration de test est donc complexe et sa mise en œuvre lourde.

Par contre, à l'heure actuelle, il n'existe aucun dispositif pour contrôler et monter la température des radiateurs des tubes à collecteur rayonnant en cours de test vers les objectifs visés. Par ailleurs, la durée de mise en place et le coût d'un essai en ambiance de vide sont tels qu'un problème en essai doit être autant que possible évité.

Enfin, en l'absence de moyen adéquat de simulation de flux solaire, les tubes à collecteur rayonnant sont testés en dessous de leur valeur de fonctionnement nominale : en effet, en l'absence de flux solaire, la température du radiateur est environ 50 °C plus froide que la prédiction vol et on est très loin de l'objectif du test (soit typiquement au dessus de la prédiction en vol).

Cette absence de solution permettant un test adéquat au sol est préjudiciable à une validation de la conception de la charge utile selon les exigences du client, et peut amener à l'apparition de problèmes imprévus en vol.

25

Objectifs de l'invention

La présente invention a donc pour objet de remédier aux inconvénients précités en proposant un nouveau dispositif de refroidissement de charge utile de satellite, utilisable tant en vol spatial qu'en étape de test au sol.

Selon un second objectif de l'invention, celle-ci est peu onéreuse à mettre en œuvre et mécaniquement simple.

Exposé de l'invention

L'invention vise en premier lieu un dispositif de contrôle thermique pour un équipement dissipatif de chaleur par rayonnement, comportant des moyens de filtrage réversible d'une partie comprise entre deux valeurs extrêmes prédéterminées, du rayonnement émis ou reçu par l'équipement dissipatif dans au moins une gamme de longueurs d'ondes et des moyens de commande de ces moyens de filtrage sélectif.

Selon une mise en œuvre préférée, les moyens de filtrage comportent un écran disposé autour d'au moins une partie de l'angle solide de rayonnement de l'équipement dissipatif.

10 Selon diverses mises en œuvre éventuellement utilisées en conjonction :

- au moins une gamme de longueurs d'ondes filtrée réversiblement fait partie du domaine infrarouge,

- au moins une gamme de longueurs d'ondes filtrée réversiblement fait partie des domaines visible et ultraviolet constituant le rayonnement solaire, l'énergie du rayonnement solaire étant principalement concentrée dans le domaine visible.

Dans un mode de réalisation préféré, les moyens de filtrage comportent au moins un écran électrochrome élémentaire, dont la transparence varie entre deux valeurs limites dans une gamme de longueur d'onde prédéterminée, selon la tension électrique appliquée à ses bornes.

20 On comprend que l'écran électrochrome élémentaire peut être une couche d'un dispositif d'écran multicouche.

La variation de la transparence qui est caractérisée par sa transmittivité (ou transmittance) entraîne par conséquent la variation de l'absorptivité et de la réflectivité par l'application de l'équation : absorptivité + transmittivité + réflectivité = 1 ; il est à noter que l'absorptivité est égale à l'émissivité pour une longueur d'onde donnée.

Avantageusement dans ce cas, les moyens de commande sont adaptés à faire varier la tension électrique appliquée aux bornes de chaque écran électrochrome élémentaire.

30 On comprend que dans ce cas, l'invention est basée sur la variation choisie de la transparence d'un dispositif électrochrome comprenant un ou plusieurs

écrans électrochromes élémentaires, entourant par exemple le radiateur d'un tube à collecteur rayonnant, en fonction d'une tension électrique donnée et appliquée sur chaque écran électrochrome élémentaire, liée à une logique de commande en fonction des conditions d'environnement et des consignes prédéterminées. La

5 transmitivité totale du dispositif électrochrome est déterminée pour chaque gamme de longueurs d'onde.

Dans un mode de réalisation avantageux, correspondant à une utilisation "vol", le dispositif électrochrome comprend deux écrans électrochromes élémentaires, ayant:

- 10 - pour le premier une transparence pilotable dans le domaine infrarouge et une forte transparence dans le domaine visible,
- pour le second une transparence pilotable dans le domaine visible ainsi qu'une forte transparence dans le domaine infrarouge.

La face du dispositif électrochrome en regard du radiateur du tube à

15 collecteur rayonnant appelée face interne est revêtue d'un traitement à forte transparence dans les deux gammes de longueurs d'onde et à très faible émissivité dans la gamme infrarouge (donc à très faible réflectivité).

La face externe du dispositif électrochrome située à l'extérieur du satellite est revêtue d'un traitement à forte transparence dans la gamme infrarouge et, suivant

20 l'application, une transparence faible ou ajustable dans la gamme du spectre solaire.

On comprend que, dans le cas d'une application à un satellite comportant des équipements fortement dissipatifs dotés de radiateurs, le dispositif comporte alors des moyens de limiter le flux solaire dans le domaine visible (VIS) absorbé

25 par ces radiateurs et des moyens de limiter la puissance Infrarouge (IR) rayonnée par le radiateur vers son environnement externe, en jouant sur la transmitivité dans le spectre visible et la transmitivité dans le spectre infrarouge.

Dans ce cas, avantageusement, la transmitivité du dispositif complet, est susceptible de varier :

- 30 - dans le spectre infrarouge entre environ 0.98 et environ 0.2 en fonction d'une première consigne en tension appliquée au premier écran électrochrome élémentaire, la réflectivité infrarouge restant nulle sur la face interne de l'écran,
- et dans le spectre visible entre environ 0.02 et environ 0.98 inversement à la réflectivité en fonction d'une seconde consigne en tension appliquée à la

seconde couche de matériau électrochrome.

Selon un autre mode de réalisation, correspondant à une utilisation dite "sol", le dispositif électrochrome comprend un écran électrochrome élémentaire, ayant sa transmittivité pilotable dans le domaine infrarouge, la transmittivité de l'écran, étant susceptible de varier dans le spectre infrarouge entre environ 0.2 et au moins 0.7 en fonction d'une consigne de tension électrique : la réflectivité infrarouge de la face interne et externe de l'écran électrochrome étant nulle.

Dans un mode de réalisation avantageux, la face interne du dispositif est réalisée par dépôt sur un substrat d'un dépôt multicouche transparent dans l'infrarouge, qui lui confère une réflectivité infrarouge proche de 0.

Dans un mode de réalisation avantageux, le filtrage dans le domaine visible est réalisé directement au niveau de la face externe de l'écran électrochrome dédié au filtrage dans l'infrarouge par dépôt sur le substrat d'un dépôt multicouche transparent dans l'infrarouge avec une réflectivité élevée de l'ordre de 0.98 dans le domaine visible. Dans ce cas, un seul écran électrochrome est nécessaire.

Selon un mode préféré de réalisation, le dispositif comporte des capteurs de paramètres d'environnement incluant notamment : température de l'écran, température de la partie la plus chaude de l'équipement dissipatif et ensoleillement de l'écran.

Dans un cas particulier d'application de l'invention, l'équipement dissipatif est un tube à onde progressive du type à collecteur rayonnant, ledit tube comportant un collecteur dépassant à l'extérieur des parois d'un engin placé dans un environnement de vide poussé, le collecteur étant solidarisé à un refroidisseur rayonnant vers l'extérieur de l'engin.

On comprend que l'utilisation d'un dispositif électrochrome permettant le filtrage à l'aide de matériaux électrochromes, dont la transparence totale est modifiable selon une logique prédéterminée, permet de piloter le rayonnement du collecteur rayonnant du tube ou le rayonnement reçu du soleil sur ce collecteur. Une régulation selon les conditions d'environnement est alors possible.

L'invention vise sous un autre aspect un procédé de pilotage d'un dispositif de contrôle thermique dans le cas où le dispositif électrochrome permettant le filtrage à l'aide de matériaux électrochromes comprend deux écrans électrochromes élémentaires (un dans le spectre visible et un dans le spectre IR),

le procédé comportant des étapes :

- en cas chaud, lorsque l'équipement dissipatif est opérationnel et soumis à un flux solaire, de commande d'une transmittivité faible du dispositif électrochrome dans le spectre visible et d'une transmittivité forte dans le spectre infrarouge pour une longueur d'onde donnée,

- en cas froid, lorsque l'équipement dissipatif n'est pas opérationnel, de commande d'une transmittivité élevée dans le spectre visible et d'une transmittivité faible dans le spectre IR pour une longueur d'onde donnée.

Un équipement dissipatif est dit opérationnel quand il est alimenté en puissance électrique et/ou RF et dissipe donc de la chaleur. Il est dit non opérationnel, quand il n'est pas alimenté en puissance électrique et /ou RF et ne dissipe pas de chaleur.

Avantageusement, dans ce cas, le procédé comporte également une étape de détermination de cas chaud ou froid par relevé de mesures de températures du dispositif électrochrome et de l'équipement dissipatif et comparaison de ces valeurs à des seuils prédéterminés.

On comprend qu'en cas chaud, l'écran permet de réduire la température du radiateur des tubes à collecteur rayonnant en réduisant le flux solaire reçu par le radiateur du tube à collecteur rayonnant, tout en laissant sortir le rayonnement infrarouge émis par le radiateur. L'échauffement au niveau des parties externes du tube (radiateur, collecteur, potting) est limité et les composants restent sous leur température de qualification.

En cas froid, le dispositif électrochrome à la transparence IR pilotable permet de réduire le bilan de réchauffage du satellite en réduisant la puissance rayonnée par le radiateur du tube vers l'espace.

L'invention vise également un procédé de pilotage d'un dispositif de contrôle thermique, dans le cas où le dispositif électrochrome comprend un écran électrochrome élémentaire, comportant une étape, lorsque l'équipement dissipatif est opérationnel et non soumis à un flux solaire, de pilotage de la tension appliquée à l'écran élémentaire de manière à présenter une transmittivité en infrarouge comprise entre environ 0,2 et au moins 0,7, selon des objectifs préalablement déterminés de température de la partie la plus chaude de l'équipement dissipatif, et des mesures de la température de ladite partie.

Un dispositif de mesure de température des parties externes du tube à collecteur rayonnant et de l'écran électrochrome, associé à une boucle de rétroaction sur la commande en tension de l'écran permettent, par exemple, de réaliser cette fonction.

- 5 Dans un mode de réalisation favorable, l'équipement dissipatif est opérationnel dans une chambre thermique sous vide ou dans une salle d'intégration.

On comprend que le dispositif comporte des moyens de limiter la puissance rayonnée par le radiateur vers son environnement externe de manière à
10 compenser, par exemple, l'absence de simulation du flux solaire, dans le cas d'un test d'un satellite au sol en ambiance de vide.

Selon divers modes de réalisation :

- le procédé de contrôle thermique est actif en fonction de la position orbitale, de l'ensoleillement reçu ;
- 15 - le procédé de contrôle thermique est actif en fonction de la température de l'écran équipée d'une thermistance de pilotage ;
- le procédé de contrôle thermique est actif en fonction de la température du radiateur du tube radiatif équipé d'une thermistance de pilotage ;
- le procédé de contrôle thermique est actif en fonction de l'information reçue
20 d'un capteur photovoltaïque fixée sur l'écran électrochrome recevant le flux solaire.

Selon un autre mode de réalisation, le dispositif de filtrage est réalisé en matériau thermochrome, dont la transmittivité infrarouge et/ou visible, et la
25 réflectivité visible varient en fonction de la température du matériau.

On comprend que la température du dispositif de filtrage est elle-même fonction de la température du radiateur du tube radiatif et de l'environnement externe : la logique de variation des caractéristiques thermo-optiques de l'écran thermochrome est sensiblement identique à celle d'un écran électrochrome.

30 Selon un autre mode de réalisation, l'écran élémentaire est réalisé en un matériau photochrome dont la transmittivité infrarouge et/ou visible, et la réflectivité visible varient en fonction de sa température.

On comprend que la température du dispositif de filtrage est elle-même

fonction de la température du radiateur du tube radiatif et de l'environnement externe : la logique de variation des caractéristiques thermo-optiques de l'écran photochrome est sensiblement identique à celle d'un écran électrochrome.

5 **Brève description des figures**

Les buts et avantages de l'invention seront mieux compris à la lecture de la description et des dessins d'un mode particulier de réalisation, donné à titre d'exemple non limitatif, et pour lequel les dessins représentent :

- figure 1 (déjà citée) : un schéma de principe d'un tube à collecteur rayonnant,
- figure 2 : un schéma de principe du contrôle thermique du radiateur du tube radiatif à l'aide d'un écran électrochrome (dans une application vol en cas chaud),
- figure 3 : un schéma de principe du contrôle thermique du radiateur du tube radiatif à l'aide d'un écran électrochrome (dans une application vol en cas froid avec un tube en mode non opérationnel),
- figure 4 : un schéma de principe du contrôle thermique du radiateur du tube radiatif à l'aide d'un écran électrochrome (application sol).

Description détaillée d'un mode de réalisation de l'invention

L'invention trouve sa place au sein d'un engin spatial, dans le présent exemple nullement limitatif un satellite en orbite autour de la Terre. On considère ici un satellite de télécommunications en orbite géostationnaire stabilisé sur trois axes. Il reste cependant clair que l'invention s'applique également à tout autre type de support placé dans le vide et destiné à dissiper sa chaleur purement par rayonnement.

On définit pour la suite de la description le terme de spectre infrarouge par la bande de longueurs d'ondes comprises approximativement entre 780 nm et 100 μ m.

De même, on, définit le terme de spectre solaire constitué par le domaine ultraviolet ayant une bande de longueurs d'ondes comprises sensiblement entre 10nm et 400 nm et le domaine visible ayant une bande de longueurs d'ondes comprises sensiblement entre 400nm et 780 nm. L'énergie contenue dans le spectre solaire est principalement concentrée dans le domaine visible et on ne cherche pas particulièrement à filtrer le domaine ultraviolet.

La figure 2 illustre alors, de façon schématique, une mise en œuvre non limitative du dispositif de contrôle thermique selon l'invention.

On reconnaît sur cette figure, par analogie à la figure 1 représentative de l'art antérieur, les divers éléments, évoqués plus haut, qui composent un tube à collecteur rayonnant 5, de type connu en soi.

Les dimensions et matériaux des éléments de ce tube à collecteur rayonnant sortent du cadre de la présente invention et ne sont donc pas détaillés plus avant ici.

Contrairement à l'art antérieur, le dispositif de contrôle thermique, tel que décrit dans le présent exemple nullement limitatif, comporte un écran électrochrome 13, disposé autour du collecteur rayonnant 6, ou d'une série de collecteurs 6 juxtaposés.

L'écran électrochrome 13 s'interpose ici entre le radiateur à ailettes 7 et l'espace, de telle sorte que tout rayonnement émis vers l'espace par le radiateur à ailettes 7 vient nécessairement traverser ledit écran 13. Dans une autre mise en œuvre, l'écran 13 intercepte une partie seulement de la zone de vue du radiateur à ailettes 7, par exemple la zone dans laquelle est susceptible de se trouver le Soleil lors du mouvement du satellite autour de la Terre.

Cet écran électrochrome 13 présente ici cinq faces, et est de forme globalement parallélépipédique. Il est disposé de telle sorte que ses faces sont sensiblement parallèles aux faces du satellite et que ses faces perpendiculaires à la paroi du satellite dont émerge le collecteur 6 viennent affleurer la protection isolante multicouche 9. Une distance de un à quelques centimètres est ménagée entre les faces de l'écran électrochrome 13 et les ailettes ou la tête 12 du radiateur à ailettes 7.

L'écran électrochrome 13 peut être rigide ou souple : il est composé, dans le présent exemple, d'une ou plusieurs couches de matériau électrochrome (par exemple, oxyde de tungstène, tantale, niobium ou oxyhydroxyde de métal de transition), séparées par une couche électrolyte conductrice ionique (par exemple, polymère ou couche minérale avec oxydes de tungstène, tantale, molybdène), cet assemblage étant pris en sandwich par deux couches d'oxyde électroconducteur transparent (par exemple, $\text{ZnO}:\text{Al}$ ou $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$) appliqués sur substrat en verre ou en polymère par exemple : ces deux couches d'oxyde électroconducteur sont considérées transparentes dans les domaines infrarouge et visible, et servent

d'électrodes connectées à une alimentation en tension électrique. La face du substrat en regard du radiateur à ailettes 7 a une forte transparence IR et une réflectivité IR pratiquement nulle pour la longueur d'onde λ_0 de rayonnement IR du radiateur à ailettes 7 : pour cela, cette face est recouverte d'un dépôt multicouche
5 constitué de couches minces diélectriques transparentes et non absorbantes ; des couches de faible indice de réfraction (par exemple, MgF_2 ou SiO_2) sont alternées avec des couches de fort indice de réfraction (par exemple, TiO_2 ou ZnS). L'épaisseur typique d'un dépôt multicouche est de l'ordre de quelques μm . La longueur d'onde λ_0 du rayonnement IR du radiateur à ailettes 7 en fonctionnement
10 est de l'ordre de $6\mu\text{m}$ ce qui correspond à une température du radiateur à ailettes 7 de l'ordre de 200°C d'après la loi de Wien (température en Kelvin = $2898/\lambda_0$ où λ_0 est en μm et correspond à la luminance maximale du rayonnement du radiateur à ailettes 7).

On rappelle qu'un matériau électrochrome est un matériau qui peut exister
15 sous deux états d'oxydoréduction, et dont les propriétés optiques sont modifiées, de façon réversible, par application d'une charge électrique, typiquement comprise entre 0.5 et 2V. Toute la plage de valeurs de propriétés optiques comprises entre les valeurs correspondant aux deux états d'oxydoréduction peut être atteinte, selon la charge électrique appliquée. Après l'application de la consigne en tension,
20 la durée de changement de couleur est de l'ordre d'une dizaine de secondes.

Il est à noter que le changement de couleur persiste après la fin de l'application de la charge électrique, ce qui présente l'intérêt de ne pas nécessiter d'énergie pour le maintien d'une des couleurs du matériau électrochrome. Les
25 propriétés optiques des matériaux électrochromes dépendent naturellement de la composition de ceux-ci. On peut citer parmi ces matériaux la polyaniline, les viologènes, l'oxyde de tungstène, les polyoxotungstates, le dioxyde de titane, divers polymères etc.

Dans le présent dispositif, on utilise un matériau électrochrome dont les
30 propriétés optiques varient dans le spectre infrarouge pour le filtrage dans ce spectre et dans le spectre solaire (visible essentiellement) pour le filtrage dans ce spectre.

Dans une première variante, dite "vol", du dispositif, l'écran électrochrome 13 est destiné à être emmené en orbite avec le satellite, et doit donc être compatible avec l'environnement spatial. Ses caractéristiques mécaniques et géométriques sont alors déterminées par les contraintes au lancement et lors du vol : tenue au
5 dégazage, cyclage thermique, charges électrostatiques, irradiations UV, flux aérothermique au lancement, contraintes mécaniques au lancement et en vol (particules). L'écran électrochrome 13 est solidarisé aux parois 2, 3 du satellite par des moyens connus en soi, et le dispositif comporte une mise à la masse de cet écran électrochrome 13.

10 Dans cette variante "vol", les matériaux de l'écran électrochrome sont choisis tels que leurs caractéristiques thermo-optiques permettent de maintenir la température de l'écran dans sa gamme de qualification dans l'environnement externe et qu'il est compatible de l'environnement spatial.

La réflectivité infrarouge de l'écran électrochrome 13 est nulle et seule la
15 transmittivité varie en fonction de la consigne en tension.

La transmittivité de l'écran électrochrome 13 est, dans la présente application, susceptible de varier à la fois dans le spectre infrarouge et dans le spectre visible. Cette disposition peut être atteinte par création d'un dispositif électrochrome comprenant deux couches de matériaux différents (ou deux écrans élémentaires
20 superposés), ayant pour l'une d'entre elles des propriétés optiques pilotables dans le domaine infrarouge, et pour l'autre des propriétés pilotables dans le domaine visible.

Cette transmittivité de l'écran complet, est susceptible de varier :

- dans le spectre visible entre environ 0.02 et 0.98 en fonction d'une première
25 consigne en tension,

- et dans le spectre infrarouge entre environ 0.98 et environ 0.2 en fonction d'une seconde consigne en tension (la réflectivité infrarouge restant nulle sur la face interne de l'écran).

Le choix des matériaux et du revêtement de l'écran électrochrome est tel
30 que, pour les phases transitoires, la transmittivité dans le spectre visible et la transmittivité dans le spectre infrarouge évoluent peu en fonction de la température de l'écran électrochrome.

Un exemple de matériau électrochrome susceptible de répondre à ce besoin est décrit en détail dans les demandes de brevet Saint Gobain FR 2 904 704 A1 et

FR 2 934 062 A1.

Dans le cas éventuel où la transmittivité et la réflectivité dans le spectre visible et la transmittivité dans le spectre infrarouge évoluent en fonction de la température de l'écran électrochrome 13, les matériaux de l'écran électrochrome 13 sont choisis de telle manière que lorsque la température de l'écran électrochrome 13 augmente pour une tension donnée, la transmittivité dans le spectre visible diminue, la réflectivité dans le spectre visible augmente et/ou la transmittivité dans le spectre infrarouge augmente afin que la température du radiateur à ailettes 7 et celle de l'écran électrochrome 13 demeurent stables.

10 L'ajustement de la transmittivité de l'écran est réalisée à l'aide d'un générateur de tension (+/-2V) avec différentes consignes en tension, déterminées selon la nature du matériau. Ce générateur de tension peut être spécifique à cette application, ou au contraire commun avec une autre application nécessitant une génération de tension.

15 Dans cette variante vol, la plage de température de l'écran est typiquement de -45°C à +85°C lorsque le tube à collecteur rayonnant 5 est opérationnel. De même la plage de température de l'écran est typiquement de -160°C à +85°C lorsque le tube à collecteur rayonnant 5 est non opérationnel.

20 Le dispositif comporte également une connectique (non illustrée sur les figures) adaptée à l'activation de la fonction électrochrome de l'écran 13 et du générateur de tension et des moyens de commande associés (également non illustrés). Ces moyens de commande prennent typiquement la forme d'un processeur doté d'une mémoire supportant un logiciel de pilotage de l'écran 25 électrochrome, selon des données d'environnement reçues par des capteurs d'environnement, notamment : flux solaire reçu, température de l'écran, température du radiateur à ailettes.

Dans une seconde variante, dite "sol" du dispositif, l'écran électrochrome 13 30 est simplement destiné à permettre des tests de la charge utile du satellite en ambiance de vide au sol. Il est disposé temporairement autour de certains collecteurs. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de dimensionner l'écran 13 en fonction de contraintes spatiales, mais simplement de le doter de caractéristiques permettant de placer cet écran 13 autour de certains ou tous les tubes à

collecteurs rayonnant 5, pendant la durée des tests sous vide.

Dans cette variante "sol", le matériau électrochrome est choisi tel que la transmittivité infrarouge varie entre 0.2 et 0.7 en fonction de la consigne en tension appliquée par l'opérateur.

- 5 Cette consigne en tension peut prendre la forme de l'atteinte des objectifs spécifiés par les clients sur la température des radiateurs (soit typiquement au dessus de la prédiction en vol).

Le choix des matériaux de l'écran électrochrome 13 est tel que l'émissivité infrarouge de la face interne de l'écran (côté radiateur à ailettes 7) vaut environ
10 0.04, l'émissivité infrarouge de la face externe vaut environ 0.3 et la réflectivité infrarouge de la face interne et externe de l'écran est nulle.

L'ajustement des caractéristiques thermo-optiques (transmittivité) de l'écran est réalisé à l'aide d'un générateur de tension (+/-2V) avec différentes consignes en tension, selon une logique prédéterminée.

- 15 Le dispositif permet notamment de maintenir la température du radiateur 7 sous sa température de qualification en ajustant la consigne en tension.

Dans ces deux variantes sol et vol, pour assurer l'aspect sécurité et pilotage, le radiateur 7 du tube 5 est équipé, dans le présent exemple, d'un senseur de
20 température 14 (thermocouple ou thermistance). Le senseur de température 14 sur le radiateur 7 du tube 5 permet d'assurer la fonction sécurité en cas d'atteinte d'une limite prédéfinie en cas chaud.

Un second senseur de température 15 est disposé sur l'écran 13. Les deux senseurs de température 14 et 15 permettent de choisir la tension électrique
25 adéquate à appliquer sur l'écran électrochrome 13, pour réguler la température du radiateur 7 du tube 5, en fonction d'abaques préalablement établis à l'aide d'essais élémentaires de caractérisation.

Mode de fonctionnement

- 30 Le procédé de pilotage de l'écran électrochrome (ou plus généralement un écran à propriétés thermo-optiques commandables), donné ici à titre d'exemple non limitatif, dans le cas d'une application vol, est illustré par les figures 2 et 3.

On comprend que le procédé comporte des étapes de :

- mesure des températures relevées par les senseurs de température 15, 14

disposés sur l'écran et sur le radiateur,

- détermination du cas de fonctionnement :

a/ Cas chaud : le radiateur du tube 5 est opérationnel (ce qui est notamment déterminé par le senseur de température 14) et soumis à la partie non
5 filtrée du flux de rayonnement solaire,

b/ Cas froid : le tube à collecteur rayonnant 5 est inactif, Par contre, l'écran est supposé soumis à la partie non filtrée du flux de rayonnement solaire.

Dans le cas chaud, illustré par la figure 2, le radiateur du tube 5 est
10 opérationnel (ce qui est notamment déterminé par le senseur de température 14) et soumis à la partie non filtrée du flux de rayonnement solaire.

Dans ces conditions, les moyens de commande pilotent la tension appliquée à chaque couche électrochrome de l'écran électrochrome 13 en fonction de sa température de manière à ce que celui-ci présente une transmittivité basse (proche
15 de 0) et une réflectivité forte (proche de 1) dans le domaine visible, et une transmittivité forte (proche de 1) en infrarouge.

De ce fait, le rayonnement solaire est largement rejeté par l'écran, et ne contribue donc pas au réchauffement du radiateur à ailettes 7 du tube 5, et, par contre, le rayonnement infrarouge généré par ledit radiateur à ailettes 7, et qui
20 constitue l'essentiel de son rayonnement, traverse pratiquement sans atténuation l'écran 13.

Le résultat est une diminution d'environ quinze degrés de la température du collecteur rayonnant dans ce cas chaud.

Par ailleurs, toujours dans ce cas chaud, si la température du radiateur 7 du
25 tube 5, relevée par le senseur de température 14, ou la température de l'écran électrochrome , relevée par le senseur de température 15, atteint un seuil préalablement défini pour chacun, une alarme est envoyée à un centre de contrôle au sol, et un opérateur peut intervenir si il le juge utile, par exemple en décidant l'arrêt du fonctionnement du tube et/ou une modification de la consigne de tension
30 de l'écran électrochrome 13 suivant le résultat de l'analyse d'autres paramètres. Alternativement, en cas d'apparition d'une alarme, le tube 5 est éteint automatiquement, par les moyens de commande à bord du satellite, selon la logique préalablement mémorisée, ce qui provoque l'abaissement de la température du collecteur 6.

Dans le cas froid, illustré par la figure 3, le tube à collecteur rayonnant 5 est inactif, et il est connu qu'un réchauffage sur le plancher 2 est usuellement nécessaire pour garder la partie du tube 5 située à l'intérieur du satellite dans sa plage de température acceptable. Par contre, l'écran est supposé soumis au flux de rayonnement solaire (ce qui est déterminé notamment par la température relevée par le senseur de température 15). Dans ces conditions, lorsque la température du radiateur, telle que relevée par le senseur de température 14 passe en dessous d'un seuil prédéterminé, les moyens de commande pilotent la tension appliquée aux couches de l'écran électrochrome 13 de manière à ce que la transmittivité augmente et la réflectivité diminue dans le spectre visible et la transmittivité diminue dans l'infrarouge pour devenir voisine de zéro.

De ce fait, une fraction plus importante du rayonnement solaire traverse l'écran, et contribue donc au réchauffement du radiateur à ailettes 7 du tube 5, et, par contre, le rayonnement infrarouge généré par ledit radiateur à ailettes 7 vers l'espace froid, ne traverse pratiquement pas l'écran 13, augmentant ainsi sa température.

Le résultat est une diminution des échanges radiatifs avec l'espace froid et une diminution de la fuite conductive entre la partie interne du tube 5 et le radiateur 7 dans ce cas froid, ou, corrélativement, une diminution du besoin en réchauffage du plancher 2, et donc un gain sur le bilan de réchauffage de la charge utile.

Dans le cas d'une application « sol » lors de test d'un satellite en vide thermique (voir figure 4) sans simulation de source solaire, les moyens de commande pilotent la tension appliquée à l'écran électrochrome 13 de manière à présenter une transmittivité en infrarouge comprise entre 0.2 et 0.7, selon les objectifs du test et la température du radiateur, telle que relevée par exemple par le thermocouple 14, laquelle dépend notamment du type de tube à collecteur rayonnant utilisé. Le choix de cette transmittivité permet de réduire les échanges radiatifs du radiateur 7 avec l'environnement externe froid et donc d'élever de façon contrôlée la température du radiateur à ailettes 7.

Avantages de l'invention

L'invention est basée sur la variation choisie de la transmittivité d'un écran

électrochrome, entourant le radiateur d'un tube à collecteur rayonnant, en fonction d'une tension électrique donnée, liée à une logique de commande en fonction des conditions d'environnement et des consignes prédéterminées.

On comprend que l'invention permet d'installer sur un satellite des tubes à collecteurs rayonnant du commerce, sans modification, et de les doter d'écrans électrochromes de géométrie ou de caractéristiques adaptées.

Cette invention permet deux types d'application :

1/ une application vol :

En cas chaud, le dispositif permet de réduire la température du radiateur des tubes à collecteur rayonnant (partie externe au niveau du collecteur, qui est un élément critique) en limitant le flux solaire absorbé par le radiateur à l'aide d'un écran électrochrome : en effet, en l'absence de pare-soleil, la température élevée du radiateur est due pour une bonne partie au flux solaire reçu par le radiateur. L'invention permet alors une plus grande souplesse au niveau de l'accommodation de ces tubes sur un satellite et une meilleure optimisation de la charge utile.

En cas froid, le dispositif permet de réduire le bilan de réchauffage du satellite. En effet, la mise en place d'un écran électrochrome autour du radiateur permet de limiter la puissance rayonnée par le radiateur vers son environnement externe, en jouant sur la transmittivité dans le spectre visible et sur la transmittivité dans le spectre infrarouge.

Il a été calculé que, dans une application "vol" du dispositif, pour une configuration donnée, l'invention permet de réduire, en cas "chaud", la température du radiateur du tube à collecteur rayonnant (et donc la partie collecteur) de l'ordre de 15°C. Le dispositif selon l'invention permet alors de maintenir la température du radiateur à un niveau acceptable suivant les configurations : cela permet d'optimiser et de faciliter l'aménagement interne et externe de la charge utile, car l'invention peut être appliquée localement sur un ou plusieurs tubes en tant que paramètre d'ajustement supplémentaire.

De même, en cas "froid", l'invention permet d'économiser entre 4W à 10W de réchauffage, par tube à collecteur rayonnant inactif ou en mode "no drive" (c'est-à-dire sans alimentation en signal RF), d'où une réduction du bilan de réchauffage du satellite en cas "froid".

Cette invention peut, par ailleurs, être mise en place tardivement en cours de programme puisqu'elle ne nécessite pas de modifications de l'intégration des équipements à l'intérieur du satellite, mais seulement en surface externe.

Un autre avantage de l'invention est l'élargissement des possibilités
5 d'implantation des tubes à collecteur rayonnant sur un satellite de télécommunications, et la possibilité d'optimiser les longueurs de guides d'onde et la masse. Il est par exemple envisageable de considérer un montage sur les plateaux (« floors ») avec un pas réduit entre les tubes.

10 2/ une application sol en vide thermique.

Le dispositif permet alors de compenser l'absence de simulation du flux solaire. Il permet également de contrôler et de monter la température du radiateur
7 des tubes à collecteur rayonnant 5 en fonction des objectifs du test fixés par les clients et des limites de qualification.

15 Dans son application à une utilisation au sol, dans le cadre de test en vide thermique de satellite, l'invention permet d'atteindre les objectifs contractuels du test. Contrairement à l'utilisation classique des écrans électrochromes pour tenter de réduire la chaleur reçue par un objet ou un observateur, on utilise en effet alors, de façon astucieuse, l'écran 13 pour augmenter le réchauffement du
20 radiateur 7 en réduisant la fraction de rayonnement émis par le radiateur et qui traverse ledit écran vers l'environnement externe plus froid.

De même, l'invention permet un test des tubes à collecteur rayonnant 5 au dessus des niveaux de température rencontrés en vol (selon les spécifications des clients), ce que ne permet pas l'art antérieur.

25

De façon résumée, les avantages du dispositif de dissipation de chaleur selon l'invention sont :

- une intégrité mécanique du tube à ondes progressives non modifiée,
- un dispositif simple et dont la décision d'installation est réversible (la
30 transition est rapide, ce qui permet une installation uniquement pour les tests au sol si besoin est),
- une capacité de réglage de dissipation au niveau local (réglage de la température du radiateur pour un tube situé dans un environnement externe défavorable),

- un réglage corrigeable en vol,
- une réduction du stress thermique et thermoélastique dû aux fluctuations orbitales importantes de la température du radiateur 7 des tubes à collecteur rayonnant 5,
- 5 - un faible coût de mise œuvre,
- un besoin en tension d'alimentation faible (+/-2V).

Variantes de l'invention

La portée de la présente invention ne se limite pas aux détails des formes de
10 réalisation ci-dessus considérées à titre d'exemple, mais s'étend au contraire aux modifications à la portée de l'homme de l'art.

Dans une variante de réalisation, l'écran est réalisé dans un matériau thermochrome. On connaît de tels matériaux, dont les caractéristiques thermo-
optiques varient en fonction de leur température. Dans le présent exemple, celle-ci
15 est, elle-même, fonction de la température du radiateur 7 du collecteur rayonnant 6 et de l'environnement externe. La logique de variation des caractéristiques thermo-optiques de l'écran est identique à celle explicitée précédemment.

Dans une variante de réalisation, l'écran est réalisé dans un matériau photochrome. On connaît de tels matériaux, dont les caractéristiques thermo-
optiques varient suivant l'effet de la lumière. Dans le présent exemple, celle-ci est,
20 elle-même, fonction de l'éclairement solaire de l'écran. La logique de variation des caractéristiques thermo-optiques de l'écran est identique à celle explicitée précédemment.

Pour les deux applications, en environnement vol et en test thermique au sol,
25 il est naturellement possible d'étendre cette invention à tous les différents types de tubes à collecteur rayonnant des différents fournisseurs, en s'adaptant à leur géométrie ou dimensions spécifiques.

L'invention est également transposable à la régulation de tout équipement très dissipatif qui évacue sa chaleur par échanges radiatifs et aux satellites
30 d'observation, aux stations orbitales et aux sondes spatiales.

Il est également clair que l'écran entourant un collecteur rayonnant 6 peut être constitué de plusieurs parties dont les propriétés thermo-optiques sont commandées séparément, sans modification du principe de l'invention. De même, les propriétés thermo-optiques de ces parties peuvent différer de l'une à l'autre, en

tenant compte par exemple de l'intensité locale de flux solaire reçu au cours du temps et en fonction de la température recherchée sur le radiateur 7 du collecteur rayonnant 6.

- 5 Dans une variante d'installation, seuls certains tubes à collecteur rayonnant sont équipés d'un écran électrochrome tel que décrit plus haut, par exemple les tubes situés aux endroits les plus exposés au flux solaire (milieu des faces) ou disposés entre d'autres tubes.

REVENDEICATIONS

1. Dispositif de contrôle thermique pour un équipement dissipatif de chaleur par rayonnement, ledit équipement dissipatif étant un tube à onde progressive (5) du type dit à collecteur rayonnant, ledit tube (5) comportant un collecteur (6) dépassant à l'extérieur des parois (2, 3) d'un engin adapté à être placé dans un
5 environnement de vide poussé, le collecteur (6) étant solidarisé à un radiateur (7) rayonnant vers l'extérieur de l'engin.

caractérisé en ce que le dispositif comporte des moyens de filtrage réversible d'une partie comprise entre deux valeurs extrêmes prédéterminées, du rayonnement émis ou reçu par le radiateur (7) dans au moins une gamme de
10 longueurs d'ondes et des moyens de commande de ces moyens de filtrage sélectif,

les moyens de filtrage comportant au moins deux écrans électrochromes élémentaires, ayant pour le premier une transparence pilotable dans le domaine infrarouge et une forte transparence dans le domaine visible,
15 et pour le deuxième une transparence pilotable dans le domaine visible ainsi qu'une forte transparence dans le domaine infrarouge,

lesdits écrans électrochromes élémentaires étant disposés autour d'au moins une partie de l'angle solide de rayonnement du radiateur (7), la transparence dudit écran électrochrome variant entre deux valeurs limites dans une gamme de
20 longueurs d'ondes prédéterminée, selon la tension électrique appliquée à ses bornes,

les moyens de commande étant adaptés à faire varier la tension électrique appliquée aux bornes de chaque couche de matériau électrochrome de l'écran.

25 2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce que la transmittivité du dispositif électrochrome complet formant les moyens de filtrage, est susceptible de varier :

- dans le spectre infrarouge entre environ 0.98 et environ 0.2 en fonction d'une première consigne en tension appliquée au premier écran électrochrome
30 élémentaire, la réflectivité infrarouge restant nulle sur la face interne de l'écran,
- et dans le spectre visible entre environ 0.02 et 0.98 de manière inverse à la réflectivité en fonction d'une seconde consigne en tension appliquée au deuxième

écran électrochrome.

3. Dispositif selon la revendication 2, caractérisé en ce que le dispositif électrochrome comprend un écran électrochrome élémentaire, ayant une
5 transmittivité pilotable dans le domaine infrarouge, susceptible de varier entre environ 0.2 et au moins 0.7 en fonction d'une consigne de tension électrique.

4. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la face interne du dispositif est réalisée par dépôt sur un
10 substrat d'un dépôt multicouche transparent dans l'infrarouge, qui lui confère une réflectivité infrarouge proche de 0.

5. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que la face externe de l'écran électrochrome élémentaire dédié
15 au filtrage dans l'Infrarouge est réalisée par dépôt sur un substrat d'un dépôt multicouches transparent dans l'infrarouge avec une réflectivité élevée de l'ordre de 0.98 dans le domaine visible.

6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comporte des capteurs de paramètres d'environnement
20 incluant notamment : température de l'écran, température de la partie la plus chaude de l'équipement dissipatif et ensoleillement de l'écran.

7. Procédé de pilotage d'un dispositif de contrôle thermique selon l'une
25 quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comporte des étapes:

- en cas chaud, lorsque l'équipement dissipatif est opérationnel et soumis à un flux solaire, de commande d'une transmittivité faible de l'écran dans le spectre visible, et d'une transmittivité forte dans le spectre infrarouge pour une longueur d'onde donnée,
- 30 - en cas froid, lorsque l'équipement dissipatif n'est pas opérationnel, de commande d'une transmittivité élevée dans le spectre visible, et d'une transmittivité faible dans le spectre IR pour une longueur d'onde donnée.

8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comporte également une étape de détermination de cas chaud ou froid par relevé de mesures de températures du dispositif électrochrome et de l'équipement dissipatif et comparaison de ces valeurs à des seuils prédéterminés.

5

9. Procédé de pilotage d'un dispositif de contrôle thermique selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comporte une étape, lorsque l'équipement dissipatif est opérationnel et non soumis à un flux solaire, de pilotage de la tension appliquée à l'écran élémentaire (13) de manière à présenter une transmittivité en
10 infrarouge comprise entre environ 0.2 et au moins 0.7, selon des objectifs préalablement déterminés de température de la partie la plus chaude de l'équipement dissipatif, et des mesures de la température de ladite partie.

10. Procédé de pilotage d'un dispositif de contrôle thermique selon la
15 revendication 9, caractérisé en ce que l'équipement dissipatif est opérationnel dans une chambre thermique sous vide ou dans une salle d'intégration.

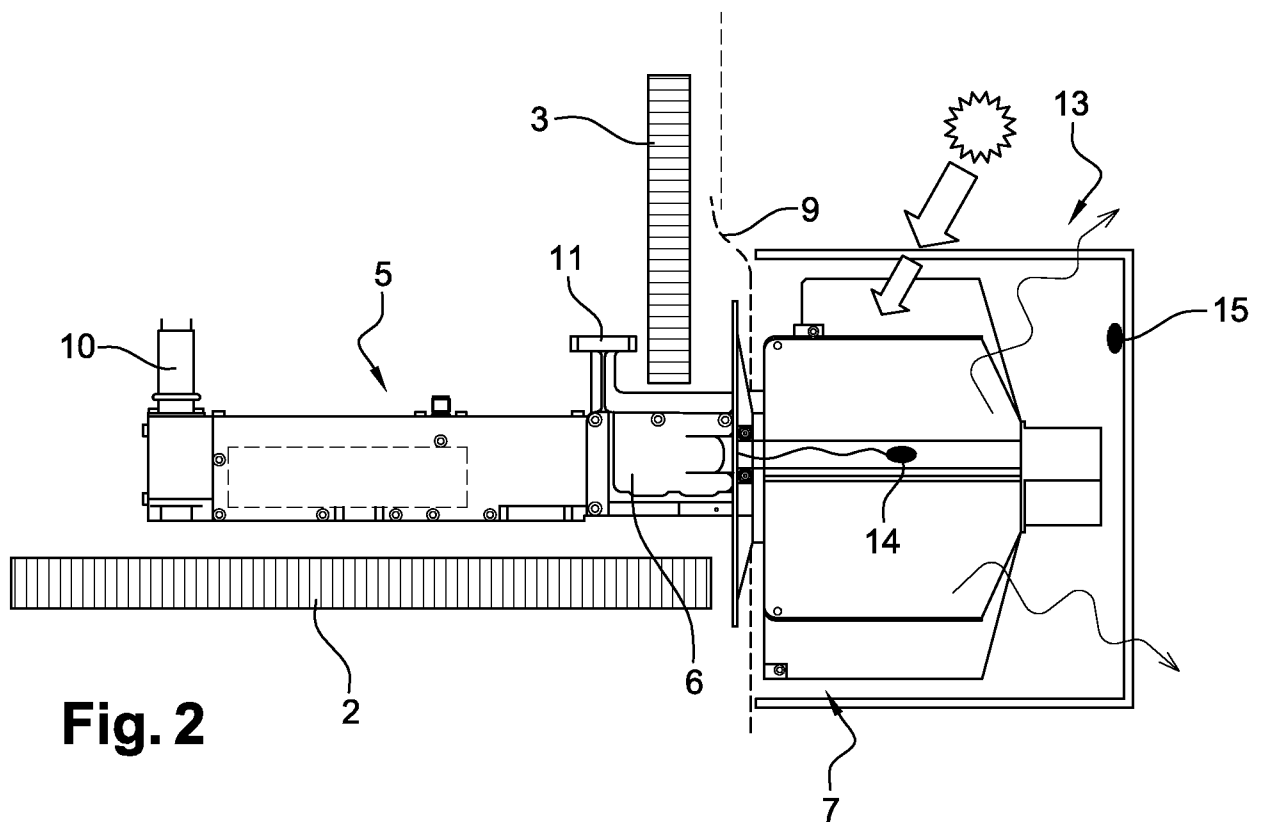
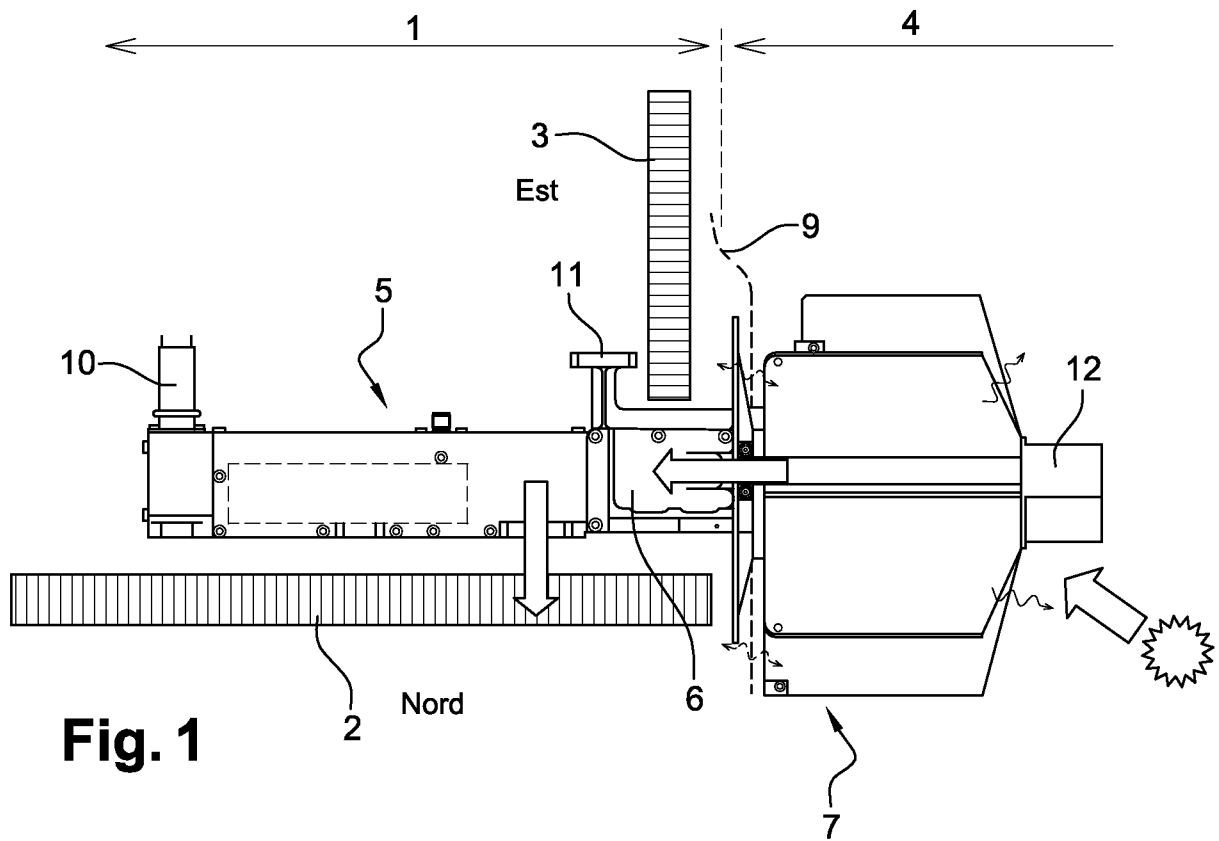
11. Procédé de test en vide thermique de satellite, ledit test étant réalisé avant le lancement du satellite, caractérisé en ce qu'il comporte :

20 - une étape préliminaire d'installation d'un dispositif de contrôle thermique selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, autour d'un ou plusieurs collecteurs rayonnants de tubes à ondes progressives,

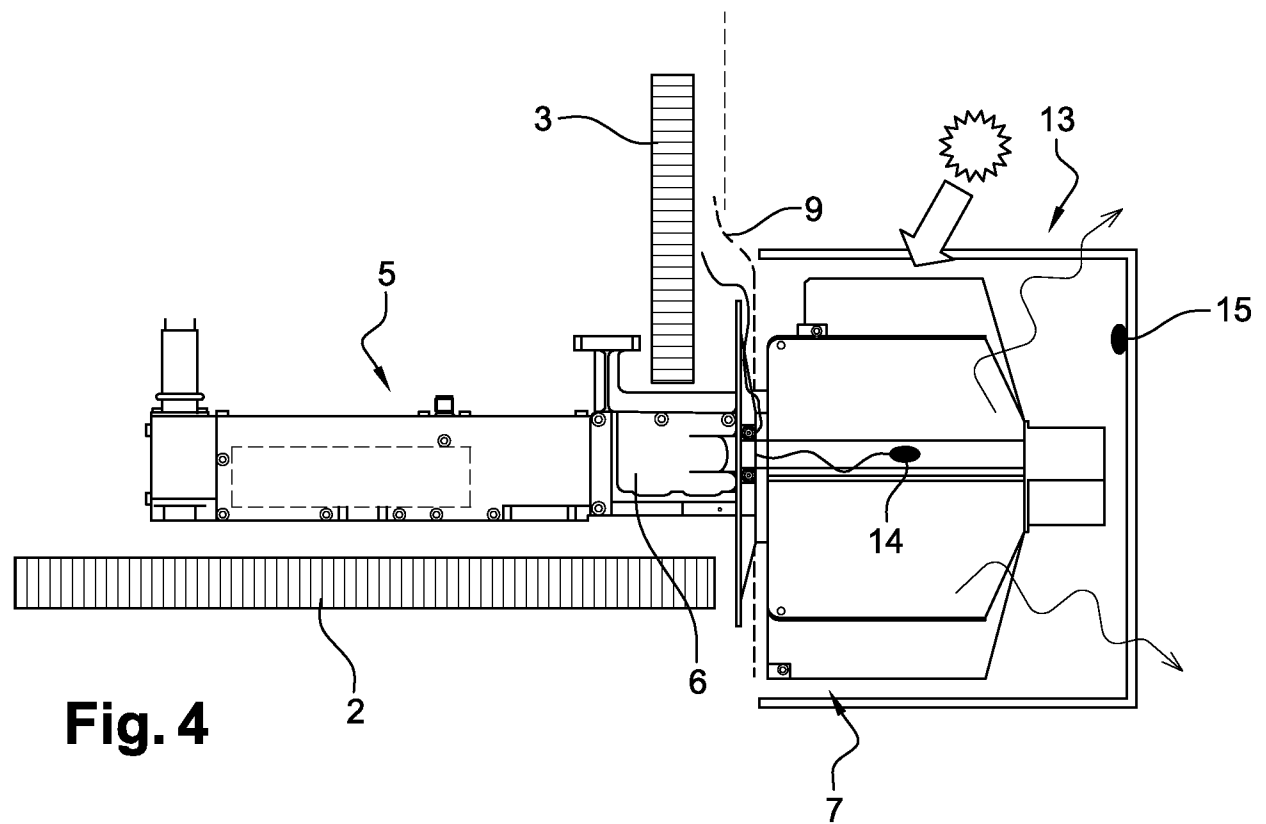
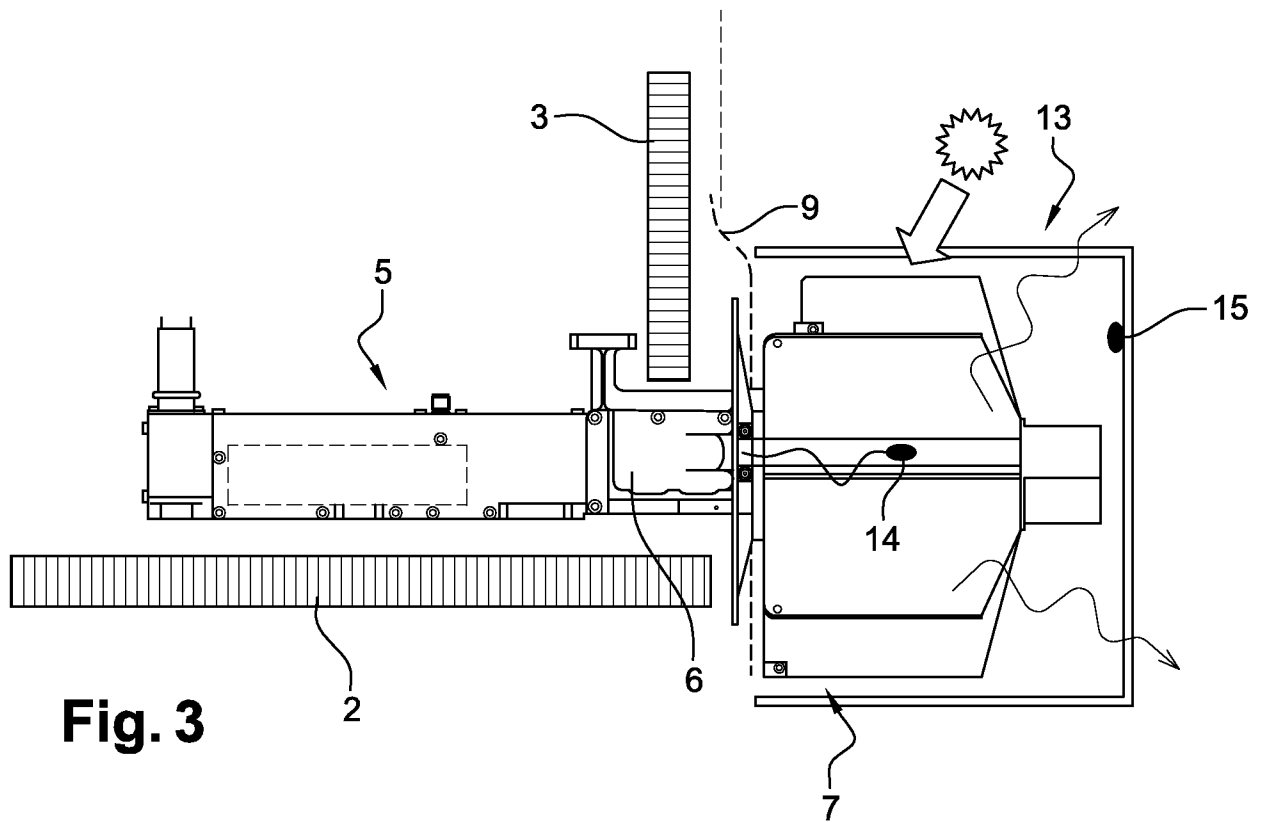
- un procédé de pilotage du dispositif de contrôle thermique selon l'une des revendications 7 à 10,

25 - une étape de démontage du dispositif de contrôle thermique.

1/2



2 / 2



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2011/054852

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01J23/033 B64G1/50
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01J B64G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EP0-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2009/253369 A1 (KRuzeLECKY ROMAN V [CA] ET AL) 8 October 2009 (2009-10-08) abstract paragraphs [0028], [0030], [0032] -----	1-11
Y	KRAFT A ET AL: "Large-area electrochromic glazing with ion-conducting PVB interlayer and two complementary electrodeposited electrochromic layers", SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS, vol. 90, no. 4, 6 March 2006 (2006-03-06), pages 469-476, XP025143056, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL ISSN: 0927-0248, DOI: 10.1016/J.SOLMAT.2005.01.019 [retrieved on 2006-03-06] the whole document ----- -/--	1-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 April 2011

Date of mailing of the international search report

09/05/2011

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Rouzier, Brice

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2011/054852

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	FR 2 857 331 A1 (CIT ALCATEL [FR]) 14 January 2005 (2005-01-14) abstract; figures 1-3 -----	1,7-11
A	US 5 305 971 A (DECANINI JORGE H [US]) 26 April 1994 (1994-04-26) column 4, line 28 - line 38 -----	1
A	HALE J S ET AL: "PROSPECTS FOR IR EMISSIVITY CONTROL USING ELECTROCHROMIC STRUCTURES", THIN SOLID FILMS, vol. 339, no. 1/02, 8 February 1999 (1999-02-08), pages 174-180, XP001016490, ELSEVIER-SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH ISSN: 0040-6090, DOI: 10.1016/S0040-6090(98)01335-2 page 1, paragraph 1 -----	1
A	HALE J S ET AL: "Visible and infrared optical constants of electrochromic materials for emissivity modulation applications", THIN SOLID FILMS, vol. 313-314, 13 February 1998 (1998-02-13), pages 205-209, XP004132984, ELSEVIER-SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH ISSN: 0040-6090, DOI: 10.1016/S0040-6090(97)00818-3 page 1, paragraph 1 abstract -----	1
A	HULYA DEMIRYONT, KENNETH C. SHANNON III: "Variable Emittance Electrochromic Devices for Satellite Thermal Control", STAIF 2007- AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, vol. 880, no. 1, 2007, pages 51-58, XP002602783, sentence 6 - sentence 8 abstract -----	1
A	HULYA DEMIRYONT: "Emissivity-modulating electrochromic device for satellite thermal control", [Online] March 2008 (2008-03), XP002602785, DOI: 10.1117/2.1200802.1011 SPIE Newsroom -Solar & Alternative Energy Retrieved from the Internet: URL: http://spie.org/documents/Newsroom/Imported/1011/1011-2008-02-09.pdf [retrieved on 2010-09-29] the whole document -----	1
	----- -/--	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2011/054852

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	HULYA DEMIRYONT: "Electrochromic heat modulator successfully tested in space", , [Online] May 2008 (2008-05), XP002602784, DOI: 10.1117/2.1200805.1147 SPIE Newsroom -Solar & Alternative Energy Retrieved from the Internet: URL:https://spie.org/x24942.xml?highlight=x2358&ArticleID=x24942> [retrieved on 2010-09-29] the whole document -----	1
A	HULYA DEMIRYONT,KENNETH SHANNON III,RENGASAMY PONNAPPAN: "Electrochromic devices for satellite thermal control", STAIF 2006 - AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, vol. 813, no. 1, 2006, pages 64-73, XP002602786, page 1 - page 3 -----	1
A	WO 96/18927 A1 (SOLA INT HOLDINGS [AU]; PERROTT COLIN MAURICE [AU]; PIDGEON KENNETH JO) 20 June 1996 (1996-06-20) abstract -----	1
A	WO 02/082172 A1 (ISIS INNOVATION [GB]; TOPPING ALEXANDER JOHN [GB]) 17 October 2002 (2002-10-17) abstract -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2011/054852

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2009253369	A1	08-10-2009	US 2010247864 A1	30-09-2010

FR 2857331	A1	14-01-2005	AT 393094 T	15-05-2008
			DE 602004013227 T2	28-05-2009
			EP 1495964 A1	12-01-2005
			ES 2305683 T3	01-11-2008
			US 2005077432 A1	14-04-2005

US 5305971	A	26-04-1994	NONE	

WO 9618927	A1	20-06-1996	NONE	

WO 02082172	A1	17-10-2002	EP 1373970 A1	02-01-2004
			US 2004155154 A1	12-08-2004

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2011/054852

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H01J23/033 B64G1/50
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

H01J B64G

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

EP0-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US 2009/253369 A1 (KRuzeLECKY ROMAN V [CA] ET AL) 8 octobre 2009 (2009-10-08) abrégé alinéas [0028], [0030], [0032] -----	1-11
Y	KRAFT A ET AL: "Large-area electrochromic glazing with ion-conducting PVB interlayer and two complementary electrodeposited electrochromic layers", SOLAR ENERGY MATERIALS AND SOLAR CELLS, vol. 90, no. 4, 6 mars 2006 (2006-03-06), pages 469-476, XP025143056, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, AMSTERDAM, NL ISSN: 0927-0248, DOI: 10.1016/J.SOLMAT.2005.01.019 [extrait le 2006-03-06] le document en entier ----- -/--	1-11



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

27 avril 2011

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

09/05/2011

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Rouzier, Brice

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2011/054852

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	FR 2 857 331 A1 (CIT ALCATEL [FR]) 14 janvier 2005 (2005-01-14) abrégé; figures 1-3 -----	1,7-11
A	US 5 305 971 A (DECANINI JORGE H [US]) 26 avril 1994 (1994-04-26) colonne 4, ligne 28 - ligne 38 -----	1
A	HALE J S ET AL: "PROSPECTS FOR IR EMISSIVITY CONTROL USING ELECTROCHROMIC STRUCTURES", THIN SOLID FILMS, vol. 339, no. 1/02, 8 février 1999 (1999-02-08), pages 174-180, XP001016490, ELSEVIER-SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH ISSN: 0040-6090, DOI: 10.1016/S0040-6090(98)01335-2 page 1, alinéa 1 -----	1
A	HALE J S ET AL: "Visible and infrared optical constants of electrochromic materials for emissivity modulation applications", THIN SOLID FILMS, vol. 313-314, 13 février 1998 (1998-02-13) , pages 205-209, XP004132984, ELSEVIER-SEQUOIA S.A. LAUSANNE, CH ISSN: 0040-6090, DOI: 10.1016/S0040-6090(97)00818-3 page 1, alinéa 1 abrégé -----	1
A	HULYA DEMIRYONT, KENNETH C. SHANNON III: "Variable Emittance Electrochromic Devices for Satellite Thermal Control", STAIF 2007- AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, vol. 880, no. 1, 2007, pages 51-58, XP002602783, phrase 6 - phrase 8 abrégé -----	1
A	HULYA DEMIRYONT: "Emissivity-modulating electrochromic device for satellite thermal control", , [Online] mars 2008 (2008-03), XP002602785, DOI: 10.1117/2.1200802.1011 SPIE Newsroom -Solar & Alternative Energy Extrait de l'Internet: URL: http://spie.org/documents/Newsroom/Imported/1011/1011-2008-02-09.pdf [extrait le 2010-09-29] le document en entier -----	1
	----- -/--	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/EP2011/054852

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	HULYA DEMIRYONT: "Electrochromic heat modulator successfully tested in space", , [Online] mai 2008 (2008-05), XP002602784, DOI: 10.1117/2.1200805.1147 SPIE Newsroom -Solar & Alternative Energy Extrait de l'Internet: URL:https://spie.org/x24942.xml?highlight=x2358&ArticleID=x24942> [extrait le 2010-09-29] le document en entier -----	1
A	HULYA DEMIRYONT,KENNETH SHANNON III,RENGASAMY PONNAPPAN: "Electrochromic devices for satellite thermal control", STAIF 2006 - AIP CONFERENCE PROCEEDINGS, vol. 813, no. 1, 2006, pages 64-73, XP002602786, page 1 - page 3 -----	1
A	WO 96/18927 A1 (SOLA INT HOLDINGS [AU]; PERROTT COLIN MAURICE [AU]; PIDGEON KENNETH JO) 20 juin 1996 (1996-06-20) abrégé -----	1
A	WO 02/082172 A1 (ISIS INNOVATION [GB]; TOPPING ALEXANDER JOHN [GB]) 17 octobre 2002 (2002-10-17) abrégé -----	1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/EP2011/054852

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2009253369	A1	08-10-2009	US 2010247864 A1	30-09-2010
FR 2857331	A1	14-01-2005	AT 393094 T	15-05-2008
			DE 602004013227 T2	28-05-2009
			EP 1495964 A1	12-01-2005
			ES 2305683 T3	01-11-2008
			US 2005077432 A1	14-04-2005
US 5305971	A	26-04-1994	AUCUN	
WO 9618927	A1	20-06-1996	AUCUN	
WO 02082172	A1	17-10-2002	EP 1373970 A1	02-01-2004
			US 2004155154 A1	12-08-2004