

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
10 novembre 2011 (10.11.2011)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2011/138541 A1

(51) Classification internationale des brevets :
H04N 5/33 (2006.01) *G02B 13/00* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/050977

(22) Date de dépôt international :
28 avril 2011 (28.04.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1053450 4 mai 2010 (04.05.2010) 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) :
BROUARD, Laurent [FR/FR]; Bât. A - Appart 202, 80, allée Jean Jaurès, F-31000 Toulouse (FR). **TOURNEUR, Cyrille** [FR/FR]; 9 allée François Verdier, F-31000 Toulouse (FR).

(74) Mandataires : **BOIRE, Philippe** et al.; Cabinet Plasseraud, 52, rue de la Victoire, F-75440 Paris Cedex 09 (FR).

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

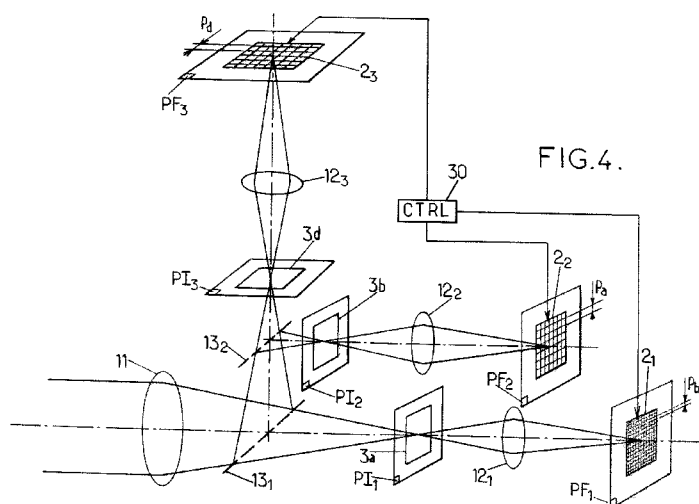
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, 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 :

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : POLYCHROMATIC IMAGING METHOD

(54) Titre : PROCEDE D'IMAGERIE POLYCHROME



(57) Abstract : The invention relates to a polychromatic imaging method, using a picture-taking instrument (1), which is placed on board an aircraft or satellite, which enables a reduction of the size of the instrument without reducing resolution of a final obtained image. To this end, a pupil of the instrument is sized for intermediate images that are limited to a first spectral sub-band without any image information being completely transmitted by the instrument for at least one wavelength that is located beyond said first spectral sub-band. Merging the intermediate image, inputted for the first spectral sub-band, with at least one other intermediate image, inputted for another spectral sub-band, recreates a polychromatic visual rendering that is satisfactory for the final image. Said other intermediate image includes the wavelength located beyond the first sub-band.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2011/138541 A1



— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

Publiée :

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

Un procédé d'imagerie polychrome utilisant un instrument de prise de vues (1) qui est embarqué à bord d'un aéronef ou d'un satellite, permet de réduire la taille de l'instrument sans diminuer une résolution d'image finale qui est obtenue. Pour cela, une pupille de l'instrument est dimensionnée pour des images intermédiaires qui sont restreintes à une première sous-bande spectrale, sans qu'une information d'image soit transmise complètement par l'instrument pour au moins une longueur d'onde qui est située au-delà de ladite première sous-bande spectrale. Une fusion de l'image intermédiaire qui est saisie pour la première sous-bande spectrale avec au moins une autre image intermédiaire qui est saisie pour une autre sous-bande spectrale, cette dernière comprenant la longueur d'onde située au-delà de la première sous-bande, restitue un rendu visuel polychrome qui est satisfaisant pour l'image finale.

PROCEDE D'IMAGERIE POLYCHROME

La présente invention concerne un procédé d'imagerie polychrome, qui utilise une optique de prise de vues embarquée à bord d'un aéronef ou d'un engin spatial tel qu'un satellite. Elle concerne aussi un système d'imagerie polychrome qui est adapté pour mettre en œuvre un tel procédé.

5 L'imagerie qui est réalisée à partir d'un aéronef ou d'un satellite présente des contraintes spécifiques qui n'existent pas pour d'autres domaines tels que la photographie destinée au grand public. Parmi ces contraintes, on peut citer :

- 10 - la nécessité d'utiliser un instrument de prise de vues à très grande distance, tel qu'un télescope ;
- la recherche d'une bonne résolution, c'est-à-dire une résolution fine, malgré la très grande distance de prise de vues ;
- la réduction du poids et de l'encombrement de l'instrument de prise de vues, qui dépend dans une grande mesure des dimensions des
15 composants optiques qui sont utilisés pour l'optique de prise de vues ;
- les mouvements parasites de l'aéronef ou du satellite, qui sont transmis à l'instrument de prise de vues ;
- à l'exception des satellites géostationnaires, le défilement d'une portion de la surface de la Terre qui est photographiée, par rapport à l'aéronef
20 ou au satellite ; et
- la nécessité de réduire la quantité des données qui sont transmises vers la Terre pour une même image saisie.

De façon usuelle, les paramètres suivants sont utilisés pour quantifier les performances d'un système d'imagerie :

- 25 - la résolution, qui est aussi désignée par GSD pour «Ground Sample Distance» en anglais, pour un système d'imagerie embarqué à bord d'un aéronef ou d'un satellite. Il s'agit de la distance minimale entre deux points de la portion de surface terrestre qui est photographiée,

pour que ces points apparaissent séparément dans l'image saisie. Elle est égale à la dimension des photodétecteurs de la matrice considérée, divisée par la distance focale («focal length» en anglais) de l'optique de prise de vues qui est utilisée, et multipliée par la distance entre l'objet et l'image : $GSD = (p/D_{foc}) \times H$, où p est le pas des photodétecteurs, D_{foc} la distance focale et H la distance entre l'objet et l'image ;

- la fréquence de Nyquist, qui est notée ν_N et qui est égale à l'inverse du double du pas de l'échantillonnage d'une vue que réalise une matrice de photodétecteurs lors de la saisie d'une image de cette vue. Autrement dit : $\nu_N = 1/(2 \times GSD)$ dans l'espace objet, ou $\nu_N = 1/(2 \times p)$ dans l'espace image. La fréquence de Nyquist ne dépend donc que de la dimension des photodétecteurs de la matrice et de la distance focale de l'optique de prise de vues ;

- la fonction de transfert de modulation, qui est désignée par FTM et qui caractérise la variation de contraste entre l'image et l'objet photographié, lorsque cet objet présente une variation spatiale d'intensité lumineuse. La fonction de transfert de modulation dépend de la fréquence spatiale de la variation d'intensité lumineuse de l'objet, et de la longueur d'onde du rayonnement qui est détecté ; et

- la fréquence de coupure de l'optique de prise de vues, qui est notée ν_c et qui est la fréquence spatiale de la variation d'intensité lumineuse de l'objet pour laquelle la fonction de transfert de modulation s'annule, pour la longueur d'onde du rayonnement qui est détecté.

La fonction de transfert de modulation résulte de plusieurs contributions, parmi lesquelles figurent :

- une contribution de l'optique de prise de vues, qui dépend de la diffraction lumineuse causée par sa pupille et des aberrations optiques de cet instrument ;

- une contribution des photodétecteurs, qui dépend des performances individuelles de chaque photodétecteur et d'une diaphonie («cross-talk» en anglais) qui peut intervenir entre des photodétecteurs

différents ; et

- une contribution des mouvements et des vibrations de l'aéronef ou du satellite pendant la durée d'exposition d'une saisie d'image.

Toutefois, la fréquence de coupure ν_C est une caractéristique de l'optique de prise de vues seulement, dépendant du diamètre de la pupille, de la distance focale et de la longueur d'onde considérée. Etant donné que la fréquence de coupure dépend essentiellement de la diffraction du rayonnement par la pupille de cette optique, elle décroît en fonction de la longueur d'onde du rayonnement qui est transmis par cette optique. Par conséquent, lorsqu'une vue est saisie, qui est formée à partir d'un rayonnement contenant plusieurs longueurs d'onde, la fréquence de coupure ν_C résultante est celle qui correspond à la plus grande de ces longueurs d'onde. Seules les variations d'intensité lumineuse de l'objet qui possèdent des fréquences spatiales inférieures à la fréquence de coupure ν_C sont transmises par l'optique de prise de vues.

En général, un instrument de prise de vues qui est destiné à être utilisé à bord d'un aéronef ou d'un satellite, le plus souvent le télescope lui-même, est conçu à partir d'une valeur qui est voulue pour la résolution. Cette valeur de résolution détermine le couple de paramètres qui est constitué par la distance focale de l'optique de prise de vues et la dimension des photodétecteurs de la matrice de détection d'image qui est utilisée. Puis, les dimensions de la pupille d'entrée de l'optique de prise de vues sont déterminées, avec d'autres paramètres, afin que la diffraction lumineuse qui est causée par cette pupille soit compatible avec la valeur de résolution voulue. Pour cela, la pupille est dimensionnée pour que la fréquence de coupure ν_C soit supérieure à la fréquence de Nyquist ν_N .

Par ailleurs, de nombreux systèmes d'imagerie existent déjà, qui sont adaptés pour saisir une image d'une portion de la surface terrestre avec une information de couleur. Usuellement, plusieurs images de la même portion de surface terrestre sont saisies à travers des filtres qui correspondent à des couleurs différentes, puis les images qui ont été saisies respectivement pour

ces couleurs sont superposées, de façon à obtenir une image reconstruite qui est polychrome. Dans la technique d'imagerie polychrome qui est désignée par «PANsharpening», un des filtres est dit à large bande, ou «PANchromatique», car il contient l'ensemble des couleurs respectives des autres filtres. L'image

5 correspondant au filtre PANchromatique est en plus saisie avec une valeur de résolution qui est plus fine que celles des images monochromes. Cette image PANchromatique contient par conséquent l'information de structure de chacune des autres couleurs. La résolution de l'image polychrome reconstruite correspond alors à la plus petite des valeurs de résolution individuelle des

10 images qui sont superposées, c'est-à-dire à la résolution la plus fine, qui est celle de l'image PANchromatique. L'instrument de prise de vues, et notamment son diamètre pupillaire, est alors dimensionné en fonction de cette valeur la plus petite des résolutions des images individuelles qui sont saisies. Ce dimensionnement est alors excessif pour les images monochromes qui ont des

15 résolutions individuelles supérieures, c'est-à-dire des résolutions moins fines. En outre, la quantité de données qui correspond à l'image polychrome reconstruite est égale à la somme des quantités de données de chaque image individuelle qui est saisie, multipliée par le nombre de filtres utilisés. La quantité totale de données qui correspond à une image polychrome reconstruite est

20 donc augmentée.

Dans le domaine de la photographie destinée au grand public, qui est distinct de celui de la photographie à partir d'un aéronef ou d'un engin spatial pour les raisons qui ont été énumérées plus haut, une image trichromatique est saisie en une seule exposition. Pour cela, chaque photodétecteur de la matrice

25 est individuellement combiné avec un filtre de couleur, qui peut être bleu, vert ou rouge. Lorsqu'un même nombre de photodétecteurs est dédié à chaque couleur de filtre, la résolution de l'appareil photographique correspond à celle de la matrice pour chaque couleur.

Le document US 3,971,065 propose une affectation particulière des

30 photodétecteurs de la matrice de détection d'image aux couleurs bleue, verte et rouge : un photodétecteur sur deux est associé au filtre vert, un photodétecteur sur quatre est associé au filtre bleu, et un photodétecteur sur

quatre est associé au filtre rouge. La résolution de l'image qui est associée à la couleur verte correspond alors au pas de la matrice utilisée, multiplié par $\sqrt{2}$, tandis que les résolutions qui sont associées aux couleurs bleue et rouge correspondent chacune au double du pas de la matrice utilisée. Ainsi, la
5 couleur verte est privilégiée pour réduire la valeur de la résolution de l'image polychrome reconstruite. Comme cette couleur verte est proche du maximum de la sensibilité spectrale de l'œil humain, l'image polychrome qui est reconstruite en superposant les images des trois couleurs a sensiblement la résolution de la couleur verte.

10 Enfin, le document US 2009/0051984 décrit une amélioration du procédé de saisie d'image de US 3,971,065. Cette amélioration consiste à ajouter des photodétecteurs qui sont consacrés à l'acquisition d'une image en couleur blanche, ou PANchromatique, en plus des images monochromes qui sont saisies par les photodétecteurs associés aux filtres vert, bleu et rouge.

15 Dans ces conditions, un but de l'invention consiste à réduire les dimensions d'un instrument de prise de vues qui est embarqué à bord d'un aéronef ou d'un engin spatial, sans réduire la résolution d'images polychromes qui sont obtenues avec cet instrument. Ce but concerne notamment le télescope qui constitue en général la partie la plus volumineuse et la plus
20 lourde de l'instrument de prise de vues.

Un autre but de l'invention consiste à améliorer la résolution apparente d'un système d'imagerie polychrome qui est utilisé pour saisir des images de la Terre à partir d'un aéronef ou d'un engin spatial, sans augmenter les dimensions de la pupille de l'instrument de prise de vues par rapport aux
25 systèmes d'imagerie connus.

Un autre but encore consiste à améliorer le rendu visuel d'une image polychrome qui est obtenue à partir d'un aéronef ou d'un engin spatial.

Un autre but encore consiste à améliorer la fonction de transfert de modulation d'un système d'imagerie qui est adapté pour saisir des images de
30 la Terre à partir d'un aéronef ou d'un engin spatial, pour une dimension fixée de la pupille de l'instrument de prise de vues qui est utilisé.

Un autre but enfin consiste à réduire la quantité de données à transmettre pour une image polychrome, pour une même valeur de résolution de cette image polychrome.

Pour atteindre ces buts et d'autres, l'invention propose un nouveau
5 procédé d'imagerie polychrome dans la bande spectrale d'observation de
360 nm (nanomètre) à 950 nm. Ce procédé utilise une optique de prise de vues
adaptée pour former des vues dans au moins un plan focal, respectivement à
partir de rayonnements qui appartiennent à plusieurs sous-bandes spectrales
comprises chacune dans la bande spectrale d'observation. Cette optique de
10 prise de vues possède par elle-même une fréquence spatiale de coupure qui
est différente pour chaque sous-bande spectrale.

Le procédé comprend les étapes suivantes :

- /1/ embarquer l'optique de prise de vues comprenant le télescope à bord
d'un aéronef ou d'un engin spatial ;
- 15 /2/ placer au moins une matrice de photodétecteurs dans ledit au moins
un plan focal, pour saisir une image intermédiaire de chaque vue qui
est formée par l'optique de prise de vues, avec une résolution qui est
associée à cette image intermédiaire ;
- /3/ saisir les images intermédiaires d'une même scène, respectivement
20 pour chaque sous-bande spectrale ; et
- /4/ fusionner les images intermédiaires qui ont été saisies respectivement
pour les sous-bandes spectrales, afin de former une image finale
polychrome.

Selon une première caractéristique de l'invention, les sous-bandes
25 spectrales qui sont utilisées comprennent une première sous-bande spectrale
et au moins une autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes
longueurs d'onde, cette dernière possédant au moins une longueur d'onde qui
est plus grande qu'une limite supérieure de la première sous-bande spectrale.
Eventuellement, d'autres sous-bandes spectrales peuvent aussi être utilisées

pour former l'image finale polychrome, en plus de la première sous-bande et de celle dite étendue vers les grandes longueurs d'onde.

Selon une seconde caractéristique de l'invention, le télescope de l'optique de prise de vues détermine une pupille qui est commune aux sous-
5 bandes spectrales, et une dimension de cette pupille commune fixe une fréquence spatiale de coupure qui est différente pour chaque sous-bande spectrale. La pupille est alors dimensionnée de sorte que la fréquence spatiale de coupure pour la première sous-bande spectrale soit supérieure à la fréquence de Nyquist de l'image intermédiaire qui est saisie pour cette
10 première sous-bande spectrale. Autrement dit, l'information qui est contenue dans l'image intermédiaire qui est saisie pour la première sous-bande spectrale, est limitée par l'échantillonnage de la vue correspondante qui est réalisé par les photodétecteurs.

Selon une troisième caractéristique de l'invention, la pupille du
15 télescope est en outre dimensionnée de sorte que la fréquence spatiale de coupure pour ladite autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde, soit inférieure à la fréquence de Nyquist de l'image intermédiaire qui est saisie pour la première sous-bande spectrale. Autrement dit, l'image intermédiaire de cette autre sous-bande qui est étendue vers les
20 grandes longueurs d'onde, ne contient pas d'information d'image à la résolution de la première sous-bande, au moins pour la longueur d'onde qui est située au delà de la première sous-bande.

Ainsi, l'invention propose de réduire la taille de l'optique de prise de vues en dessous de ce qui est nécessaire pour obtenir une information d'image
25 maximale, pour toutes les sous-bandes spectrales. Une diminution importante en résulte pour le poids et l'encombrement de l'optique de prise de vues, et en particulier du télescope lui-même. Le coût de cette optique est donc réduit en conséquence, et l'engin porteur qui est utilisé, aéronef ou engin spatial, peut aussi être plus petit. Dans le cas d'un satellite porteur, son coût de lancement
30 est aussi réduit.

Néanmoins, l'image finale polychrome qui est reconstruite à l'étape /4/ possède la résolution qui est la plus fine entre celle qui est obtenue pour la première sous-bande spectrale et celle qui est obtenue pour la sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde. Ces résolutions des
5 images intermédiaires sont choisies de préférence pour que la plus fine soit celle de l'image intermédiaire qui est saisie pour la première sous-bande spectrale.

Selon un mode de mise en œuvre préféré de l'invention, la première sous-bande spectrale comprend la longueur d'onde 550 nm. En effet, cette
10 longueur d'onde, qui est associée à la couleur verte, est proche du maximum de la sensibilité spectrale de l'œil humain. Ainsi, un observateur de l'image finale perçoit bien les détails de celle-ci à la résolution de l'image intermédiaire qui est saisie pour la première sous-bande spectrale, même si ces détails ne sont pas résolus dans l'image intermédiaire qui est saisie pour la sous-bande
15 étendue vers les grandes longueurs d'onde. Néanmoins, cette dernière image intermédiaire participe à la restitution des couleurs, si bien que le rendu polychrome de l'image finale est satisfaisant.

De plus, le procédé de l'invention peut être particulièrement avantageux lorsque la scène dont les images intermédiaires sont saisies à
20 l'étape /3/ est une portion de surface de la Terre. Tel est le cas, tout particulièrement, lorsque la première sous-bande spectrale correspond à la couleur verte. En effet, cette couleur correspond aussi sensiblement au maximum d'intensité spectrale de la lumière visible qui est réfléchiée par la surface de la Terre vers l'espace, en dehors des zones qui sont masquées par
25 des nuages.

Pour obtenir un rendu polychrome complet de l'image finale, les sous-bandes spectrales sont réparties avantageusement de la façon suivante : la première sous-bande correspond à la couleur verte, l'autre sous-bande spectrale qui est étendue vers les grandes longueurs d'onde correspond à une
30 couleur rouge, et encore une autre sous-bande spectrale correspond à une couleur bleue. Néanmoins, pour une mise en œuvre de l'invention, il n'est pas

nécessaire que la résolution de l'image intermédiaire qui est saisie pour la couleur bleue, soit celle de la couleur verte. Autrement dit, la sous-bande bleue peut n'être utilisée que pour participer au rendu polychrome de l'image finale, sans participer à sa résolution qui n'est produite que par la sous-bande verte.

5 L'invention propose aussi un système d'imagerie polychrome qui est adapté pour mettre en œuvre un procédé tel que décrit précédemment. Un tel système comprend notamment :

- l'optique de prise de vues comprenant le télescope ;
- ladite au moins une matrice de photodétecteurs ;
- 10 - une unité de commande, qui est adaptée pour contrôler une saisie des images intermédiaires d'une même scène respectivement pour chaque sous-bande spectrale ; et
- une unité de reconstruction d'image, qui est adaptée pour fusionner les images intermédiaires saisies respectivement pour les sous-bandes
- 15 spectrales, afin de former l'image finale polychrome.

Les sous-bandes spectrales et la dimension de la pupille du télescope sont sélectionnées pour ce système d'imagerie polychrome de la façon qui a été décrite plus haut pour le procédé.

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

- la figure 1 représente un satellite d'observation de la Terre, à bord duquel l'invention peut être utilisée ;
- la figure 2a illustre un premier mode de saisie d'images intermédiaires,
- 25 qui est compatible avec l'invention ;
- les figures 2b et 2c illustrent une utilisation d'une matrice de photodétecteurs, pour le premier mode de saisie d'images intermédiaires de la figure 2a ;

- la figure 3a correspond à la figure 2a pour un deuxième mode de saisie d'images intermédiaires, qui est aussi compatible avec l'invention ;
- la figure 3b correspond aux figures 2b et 2c pour le second mode de saisie d'images intermédiaires de la figure 3a ; et
- 5 - la figure 4 correspond à la figure 2a pour un troisième mode de saisie d'images intermédiaires, qui est encore compatible avec l'invention.

Pour raison de clarté, les dimensions des éléments qui sont représentés dans ces figures ne correspondent ni à des dimensions réelles ni à des rapports de dimensions réels. En outre, des références identiques qui sont
10 indiquées dans des figures différentes désignent des éléments identiques ou qui ont des fonctions identiques.

L'invention est maintenant décrite à titre d'illustration pour des images de portions de la surface de la Terre qui sont prises à partir d'un satellite. Mais il est entendu qu'elle peut être appliquée à des images du sol qui sont prises à
15 partir de tout engin porteur situé en altitude, qu'il soit stationnaire ou en mouvement. En particulier, l'invention peut être appliquée pour des images qui sont saisies à partir de tout aéronef, y compris des avions sans pilote.

Conformément à la figure 1, un satellite S est en orbite autour de la Terre, qui est désignée par T. L'altitude du satellite S peut être quelconque. Ce
20 peut être en particulier un satellite géostationnaire ou un satellite à basse altitude, dit à orbite défilante. Le satellite S est équipé d'un instrument de prise de vues. Celui-ci possède un champ d'entrée optique qui est orienté vers une portion F de la surface de la Terre, qui doit être photographiée. La flèche désigne la vitesse angulaire relative V du satellite S par rapport à la portion de
25 surface terrestre F. Cette vitesse est nulle pour un satellite géostationnaire.

De façon usuelle et en référence à la figure 2a, l'instrument de prise de vues comprend une optique de prise de vues 1, une matrice 2 de photodétecteurs 20, et plusieurs filtres de couleurs, par exemple quatre filtres 3a-3d.

30 L'optique de prise de vues 1 peut être d'un type quelconque

opérationnel dans toute la bande de lumière visible et au delà, par exemple entre 360 nm et 950 nm. Elle peut comprendre une optique d'entrée 11 formant collecteur de rayonnement et une optique de refocalisation 12, avec un plan de focalisation intermédiaire qui est noté PI. Sur les figures 2a, 3a et 4, les optiques 11 et 12 sont représentées par simplicité sous forme de lentilles, mais il est entendu qu'il s'agit le plus souvent de miroirs. En général, les optiques 11 et 12 ont chacune une structure complexe à plusieurs composants réflecteurs et/ou réfractifs. Dans le cadre de la présente invention, l'optique d'entrée 11 est un télescope, qui peut être d'un type quelconque utilisé dans le domaine de l'imagerie spatiale.

Les photodétecteurs 20 sont sensibles dans toute la bande spectrale d'observation, entre 360 nm et 950 nm. La matrice 2 peut être rectangulaire ou carrée, par exemple de 1024 x 1024 photodétecteurs. Les photodétecteurs 20 sont disposés en lignes et en colonnes qui sont juxtaposées selon deux directions perpendiculaires. La matrice 2 est placée dans le plan focal PF de l'optique de prise de vues 1.

Le pointage de l'instrument de prise de vues vers la portion de surface terrestre F peut être réalisé de plusieurs façons. Par exemple, le satellite S peut être tourné dans son ensemble pour amener un axe de visée optique de l'instrument sur un point central de la portion F. Une autre méthode consiste à monter l'instrument sur un support intermédiaire qui est orientable par rapport à la plateforme principale du satellite S. Le pointage de l'instrument est alors réalisé en actionnant le mécanisme d'orientation du support intermédiaire. Une autre méthode encore consiste à disposer un miroir orientable 10 devant l'entrée de l'optique de prise de vues 1, et à ajuster l'orientation du miroir 10 de sorte que des rayons lumineux qui proviennent de la portion de surface terrestre F soient réfléchis par ce miroir 10 vers l'optique d'entrée 11. Eventuellement, une séquence d'images multiples peut être acquise selon le procédé dit «push-broom», connu de l'Homme du métier. Dans un tel procédé, le défilement du satellite S au dessus du sol est utilisé pour réaliser un balayage de la surface de la Terre perpendiculairement à la vitesse V du satellite.

L'instrument de prise de vues peut comprendre en outre un module de codage et d'émission, désigné plus simplement par émetteur (non représenté), pour transmettre des données correspondant aux images saisies à un récepteur R d'une station de réception située sur la Terre (figure 1). Ces données transmises sont obtenues à partir de signaux de lecture des photodétecteurs 20. Le récepteur R délivre alors ces données d'image intermédiaire à une unité de reconstruction d'image (non représentée).

Pour raison de simplicité, on considérera dans la suite que les bords de la matrice 2 des photodétecteurs 20 déterminent la limite périphérique de la portion de surface terrestre F qui est photographiée à chaque exposition. Alternativement, un diaphragme de champ qui est placé dans le plan de focalisation intermédiaire PI peut déterminer cette limite de la portion F.

De façon connue, une image polychrome de la portion de surface terrestre F peut être obtenue à partir de plusieurs images monochromes de cette même portion, en superposant ces dernières. Pour cela, chaque image monochrome, dite image intermédiaire, est saisie pour une sous-bande spectrale différente qui est comprise dans la bande d'observation, à travers un filtre qui détermine cette sous-bande. Par exemple, quatre filtres 3a-3d peuvent être placés sur le chemin des rayons lumineux qui parviennent sur la matrice 2 à travers l'optique de prise de vues 1. Ces filtres peuvent être situés dans le plan de focalisation intermédiaire PI, comme représenté, mais il peut être préférable de les placer en dehors de ce plan, notamment dans un plan de pupille ou à proximité d'une matrice de photodétecteurs qui est utilisée. A titre d'illustration, le filtre 3a peut déterminer une sous-bande spectrale correspondant à la couleur bleue, de 450 à 500 nm, le filtre 3b peut déterminer une autre sous-bande correspondant à la couleur verte, de 520 à 560 nm, le filtre 3c encore une autre sous-bande correspondant à la couleur jaune, de 570 à 630 nm, et le filtre 3d à une dernière sous-bande qui correspond à la couleur rouge, de 640 à 680 nm.

De façon générale, l'invention peut être mise en œuvre avec un nombre quelconque n de sous-bandes spectrales à l'intérieur de la bande

d'observation, n étant un entier qui est supérieur ou égal à deux. Chaque sous-bande spectrale a de préférence une largeur qui est inférieure à 100 nm, voire inférieure à 60 nm. Une telle sous-bande est spectralement étroite, si bien que l'image intermédiaire correspondante est considérée comme étant
5 monochrome ou quasi-monochrome.

Pour mettre en œuvre l'invention, l'une des sous-bandes spectrales est limitée à des longueurs d'onde plus courtes par rapport à au moins une autre des sous-bandes, à l'intérieur de la bande spectrale d'observation. La sous-bande qui est limitée à des longueurs d'onde plus courtes est appelée première
10 sous-bande spectrale dans la partie générale de cette description, et l'autre sous-bande est dite étendue vers les grandes longueurs d'onde. De préférence, la première sous-bande contient la couleur verte, c'est-à-dire la longueur d'onde 550 nm. Par exemple, cette première sous-bande est comprise entre 400 et 600 nm, de préférence entre 510 et 570 nm. Ce peut
15 être l'intervalle spectral qui s'étend de 520 nm à 560 nm, introduit précédemment pour le filtre 3b. La sous-bande qui est étendue vers les grandes longueurs d'onde peut contenir la longueur d'onde 650 nm, correspondant à la couleur rouge. Elle peut être l'intervalle spectral du filtre 3d. Ces deux sous-bandes spectrales, avec l'une qui est plus limitée que l'autre du
20 côté des grandes valeurs de longueur d'onde, est la structure minimale de sous-bandes spectrales qui est nécessaire pour appliquer l'invention. Elle peut être complétée par toute(s) sous-bande(s) spectrale(s) additionnelle(s) à l'intérieur de la bande d'observation, telle(s) que l'un et/ou l'autre des intervalles spectraux des filtres 3a et 3c.

25 Les figures 2a, 3a et 4 montrent trois configurations optiques alternatives, pour disposer les filtres 3a-3d dans l'optique de prise de vues 1. Ces configurations sont équivalentes dans leur principe pour la mise en œuvre de l'invention, lorsque la ou les matrice(s) de photodétecteurs 20 est(sont) utilisée(s) ou sélectionnée(s) de façon appropriée, comme il sera décrit plus
30 loin.

Dans la première configuration qui est représentée à la figure 2a, les

filtres 3a-3d peuvent être disposés alternativement sur le chemin des rayons lumineux qui parviennent sur la matrice 2. Un seul de ces filtres affecte simultanément le rayonnement qui est reçu par tous les photodétecteurs 20. Les filtres 3a-3d peuvent alors être échangés, afin que des images
5 intermédiaires soient saisies successivement par la matrice 2 avec chaque filtre, pour la même portion de surface terrestre F. Pour cela, un mécanisme connu de l'Homme du métier est actionné entre deux saisies d'images intermédiaires, pour remplacer l'un des filtres 3a-3d par un autre. Dans cette configuration, chaque image intermédiaire qui est saisie peut recouvrir tous les
10 photodétecteurs 20 de la matrice 2. Lorsqu'un diaphragme de champ est utilisé, l'image de ce diaphragme sur la matrice 2 définit un contour sur celle-ci, et chaque image intermédiaire recouvre tous les photodétecteurs 20 de la matrice 2 qui sont situés à l'intérieur de ce contour, pour chacune des sous-bandes spectrales.

15 Dans la deuxième configuration qui est représentée à la figure 3a, les filtres 3a-3d sont fixes et disposés simultanément dans le plan de focalisation intermédiaire PI, en formant une partition de la vue de la portion F qui est formée dans ce plan par l'optique d'entrée 11. Cette partition est reproduite sur la matrice 2 par l'optique de refocalisation 12, de sorte que la matrice 2
20 apparaît divisée en portions séparées 2a-2d qui sont dédiées respectivement aux filtres 3a-3d. Ainsi, la portion 2a de la matrice 2 collecte le rayonnement de la sous-bande de couleur bleue, la portion 2b collecte le rayonnement de la sous-bande de couleur verte, la portion 2c collecte le rayonnement de la sous-bande de couleur jaune, et la portion 2d collecte le rayonnement de la sous-
25 bande de couleur rouge. De préférence, les filtres 3a-3d ont des dimensions identiques, de sorte que les portions 2a-2d ont aussi des dimensions identiques à l'intérieur de la matrice 2. Les contours des portions 2a-2d de la matrice 2 sont alors déterminés par ceux des filtres 3a-3d. Lors d'une même exposition de la matrice 2, des portions différentes Fa-Fd de la surface
30 terrestre, à l'intérieur de la portion F, sont imagées respectivement sur les portions 2a-2d de la matrice 2. Le défilement du satellite S permet de produire un balayage B qui décale les vues des portions de surface terrestre Fa-Fd par

rapport aux portions de matrice 2a-2d. Ainsi, la vue de la portion de surface terrestre Fd est amenée sur la portion de matrice 2c pour une deuxième exposition, puis sur la portion de matrice 2b pour une troisième exposition, et enfin sur la portion de matrice 2a pour une quatrième exposition. Chacune des
5 expositions produit donc une image intermédiaire de la portion de surface terrestre Fd, à travers un autre des filtres 3a-3d. En outre, chaque image intermédiaire recouvre tous les photodétecteurs 20 de la matrice 2 à l'intérieur du contour de la portion de matrice 2a-2d correspondante.

La troisième configuration qui est représentée à la figure 4 comprend
10 des voies optiques séparées qui sont dédiées respectivement aux sous-bandes spectrales. Pour raison de clarté de cette figure, la voie optique qui est dédiée à la sous-bande de couleur jaune n'a pas été représentée, mais elle est identique dans son principe à celle qui est dédiée à la couleur rouge. L'optique d'entrée 11 peut être commune à toutes les voies, qui sont séparées ensuite
15 par des lames semi-réfléchissantes 13_1 et 13_2 ou des séparateurs dichroïques. Ainsi, le plan focal PF est multiplié, avec les matrices de photodétecteurs 2_1 , 2_2 et 2_3 qui sont situées respectivement dans les plans focaux PF_1 , PF_2 et PF_3 . Les filtres 3a, 3b et 3d sont fixes et situés dans les plans de focalisation intermédiaires PI_1 , PI_2 et PI_3 , avec des optiques de refocalisation 12_1 , 12_2 et
20 12_3 pour conjuguer chaque plan de focalisation intermédiaire avec le plan focal correspondant. Dans ce cas, toutes les matrices de photodétecteurs sont commandées pour saisir en même temps les images intermédiaires de la même portion de surface terrestre F pour toutes les sous-bandes utilisées.

Enfin, la deuxième configuration présentée plus haut peut être
25 combinée avec un mode d'acquisition de chaque image intermédiaire qui est de type TDI, pour «Time Delay Integration». Ce mode d'acquisition est supposé connu de l'Homme du métier, si bien que son fonctionnement n'est pas répété ici. Dans ce cas, chacune des matrices de photodétecteurs est du type TDI, et chaque image intermédiaire est saisie selon des phases
30 d'accumulation et de lecture qui sont combinées avec des déplacements progressifs des vues de la scène F par rapport aux matrices, dans chacun des plans focaux.

De façon générale pour l'invention, chaque filtre qui détermine l'une des sous-bandes spectrales affecte tous les photodétecteurs 20 qui sont utilisés pour saisir l'image intermédiaire correspondante, en s'étendant continûment entre des points de la vue concernée qui sont imagés sur ces photodétecteurs.

- 5 Cette configuration des filtres est opposée aux cas de filtres élémentaires de couleurs différentes qui sont associés à des photodétecteurs voisins d'une même matrice de photodétecteurs, selon un motif de répartition de ces filtres élémentaires.

Dans chaque configuration, une unité de contrôle 30, qui est notée
10 CTRL, commande les saisies des images intermédiaires par la (les) matrice(s) de photodétecteurs. Leur commande est synchronisée, selon le cas, avec un échange des filtres (figure 2a), le défilement du satellite S ou encore une variation de l'orientation du miroir 10 (figure 2b).

La matrice de photodétecteurs 20 qui est utilisée pour saisir l'image
15 intermédiaire pour la première sous-bande spectrale, correspondant de préférence à la couleur verte, détermine une fréquence de Nyquist ν_{Nb} . Cette fréquence de Nyquist est égale à $1/(2 \times p_b)$, où p_b est le pas des photodétecteurs 20 de la matrice qui réalise l'échantillonnage de la vue associée au filtre 3b. Exprimée en termes de fréquence spatiale dans l'espace
20 objet, la fréquence de Nyquist ν_{Nb} est égale à $1/(2 \times GSD)$.

Par ailleurs, l'optique de prise de vues 1 produit un filtrage passe-bas du contenu de la portion de surface terrestre F. Autrement dit, chaque vue qui est formée par l'optique 1 ne contient que l'information d'image correspondant à des fréquences spatiales qui sont inférieures à une fréquence de coupure.

25 De façon connue, une optique de prise de vues possède une pupille qui est à l'origine du filtrage des fréquences spatiales d'image qui sont transmises par cette optique. La fréquence de coupure de ce filtrage passe-bas de l'optique est une fonction croissante de la dimension pupillaire. Dans le cas présent d'imagerie spatiale, la pupille de l'optique de prise de vues 1 est fixée
30 par le télescope 11, qui est le composant optique le plus encombrant de cette optique. Plus précisément, c'est le miroir d'entrée du télescope 11 qui limite le

plus souvent la pupille, par la valeur de son diamètre.

La fréquence de coupure qui est ainsi produite par le télescope 11 dépend de la sous-bande spectrale du rayonnement filtré qui produit la vue concernée. Etant donné que la fréquence de coupure de l'optique 1 est une
5 fonction décroissante de la longueur d'onde de rayonnement, la fréquence de coupure de l'optique 1, pour chacune des sous-bandes spectrales, dépend de la limite supérieure de cette sous-bande. Ainsi, la fréquence de coupure ν_{Cb} de l'optique de prise de vues 1 pour la première sous-bande qui contient la couleur verte, est supérieure à la fréquence de coupure ν_{Cc} ou ν_{Cd} pour l'une
10 des sous-bandes qui contient la couleur jaune (filtre 3c) ou la couleur rouge (filtre 3d).

De façon usuelle, une optique de prise de vues est dimensionnée pour que sa fréquence spatiale de coupure ν_{Ci} , pour chaque sous-bande spectrale i qui est utilisée, ne limite pas par elle-même l'information d'image plus que
15 l'échantillonnage qui est réalisé par les photodétecteurs qui sont utilisés pour cette sous-bande spectrale. Autrement dit, l'Homme du métier choisit usuellement la dimension de la pupille de l'optique de prise de vues de sorte que sa fréquence spatiale de coupure soit supérieure à la fréquence de Nyquist pour toute la bande spectrale d'observation. Dans l'invention, l'optique 1 est
20 sélectionnée pour satisfaire cette condition pour la première sous-bande spectrale, qui correspond à la couleur verte du filtre 3b : $\nu_{Nb} < \nu_{Cb}$.

Selon l'invention, l'optique 1 est sélectionnée en outre de sorte que sa fréquence spatiale de coupure pour au moins une autre sous-bande qui contient une longueur d'onde supérieure à la couleur verte, soit inférieure à la
25 fréquence de Nyquist pour la couleur verte. Ainsi, par exemple : $\nu_{Cd} < \nu_{Nb} < \nu_{Cb}$, ν_{Cd} étant la fréquence spatiale de coupure de l'optique 1 pour la couleur rouge du filtre 3d. De cette façon, l'information d'image de couleur rouge qui est contenue dans la vue correspondante est limitée par l'optique 1, mais cette optique possède des dimensions qui sont substantiellement réduites.

30 La dimension de la pupille de l'optique de prise de vues 1 est sélectionnée en appliquant les principes qui sont connus, pour satisfaire la

double inégalité précédente. Ainsi, selon l'invention, le diamètre de la pupille est choisi juste supérieur $H \times \lambda_{b \max} / (2 \times \text{GSD})$, et inférieur à $H \times \lambda_{r \max} / (2 \times \text{GSD})$, où :

H est l'altitude du satellite S au dessus du sol terrestre ;

5 $\lambda_{b \max}$ est la longueur d'onde maximale de la première sous-bande spectrale, qui correspond de préférence à la couleur verte ;

$\lambda_{r \max}$ est la longueur d'onde maximale de la sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde, qui peut correspondre à la couleur rouge ; et

10 GSD est la résolution de l'image finale exprimée dans l'espace objet.

Par exemple, en appliquant l'invention à un instrument de prise de vues qui est embarqué à bord d'un satellite géostationnaire, une résolution de 10 m (mètre) au nadir pour l'image finale polychrome peut être obtenue avec une pupille circulaire de l'optique 1 dont le diamètre est compris entre 1,15 m et
15 1,25 m. Sans utiliser l'invention, le diamètre de pupille de l'optique 1 serait augmenté d'un facteur supérieur à deux.

Lorsque l'image intermédiaire correspondant à la sous-bande de couleur rouge est acquise avec la condition $\nu_{Cd} < \nu_{Nb}$, il n'est pas nécessaire que la fréquence de Nyquist pour cette sous-bande rouge soit égale à celle
20 pour la sous-bande verte. Autrement dit, l'image intermédiaire de la sous-bande rouge peut être acquise avec une résolution qui est supérieure, ou moins fine, que la résolution de l'image intermédiaire de la sous-bande verte. Comme les vues sont formées par la même optique 1 pour toutes les sous-bandes spectrales, l'échantillonnage de la vue pour la sous-bande rouge peut
25 être inférieur à celui qui est réalisé pour la sous-bande verte.

On décrit maintenant deux méthodes pour saisir les images intermédiaires respectives de la sous-bande verte et des autres sous-bandes spectrales avec des résolutions qui sont différentes. Dans ces exemples, l'image intermédiaire saisie pour la première sous-bande spectrale, verte, est
30 formée en utilisant un pas d'échantillonnage de la vue correspondante, qui est

deux fois plus petit qu'un autre pas d'échantillonnage utilisé pour saisir l'image intermédiaire d'une autre sous-bande spectrale plus étendue vers les grandes longueurs d'onde, par exemple rouge. Chaque matrice de photodétecteurs 20 est formée de lignes L_{DET} et de colonnes C_{DET} de photodétecteurs qui sont adjacentes, et tous les pas d'échantillonnage qui sont considérés sont mesurés parallèlement à ces lignes et colonnes de photodétecteurs.

Les figures 2b et 2c illustrent la première méthode pour la configuration de la figure 2a, lorsqu'une même matrice 2 est utilisée pour saisir toutes les images intermédiaires. Elles représentent cette matrice 2, avec chaque case qui est un photodétecteur 20. Dans ces figures, les photodétecteurs 20 qui sont marqués d'une croix sont utilisés pour saisir l'image intermédiaire de la vue correspondante, et ceux qui ne sont pas marqués d'une croix ne sont pas utilisés, c'est-à-dire que les valeurs d'intensité qu'ils saisissent ne sont pas transmises. La figure 2b correspond à l'utilisation de la matrice 2 pour la sous-bande verte du filtre 3b : tous les photodétecteurs 20 sont utilisés. La figure 2c correspond à l'utilisation de la même matrice 2 pour la sous-bande jaune du filtre 3c ou la sous-bande rouge du filtre 3d : les photodétecteurs 20 qui sont utilisés sont restreints à une sélection de un sur deux le long des lignes L_{DET} et des colonnes C_{DET} . De cette façon, l'échantillonnage pour la sous-bande spectrale verte correspond à une densité surfacique qui est quatre fois plus importante que l'échantillonnage pour les sous-bandes spectrales jaune et rouge. Dans les figures 2b et 2c, p_b désigne le pas d'échantillonnage pour la couleur verte, et $p_{c/d}$ celui pour la couleur jaune ou rouge. Un avantage de ce mode de saisie des images intermédiaires autres que celle associée à la couleur verte, en n'utilisant qu'un photodétecteur 20 sur quatre, est de réduire la diaphonie («cross-talk» en anglais) qui peut intervenir entre des photodétecteurs 20 qui sont voisins dans la matrice 2. Il en résulte une amélioration de la contribution des photodétecteurs dans la fonction de transfert de modulation totale de l'instrument de prise de vues.

La figure 3b illustre une transposition de cette première méthode de saisie des images intermédiaires pour la configuration de la figure 3a. Lors d'une même exposition de la matrice 2, tous les photodétecteurs 20 sont lus à

l'intérieur de la portion 2b, correspondant au filtre 3b de la sous-bande verte, et un seul photodétecteur 20 sur quatre n'est lu ou transmis à l'intérieur des portions 2a, 2c et 2d correspondant aux autres sous-bandes.

La deuxième méthode de saisie des images intermédiaires est applicable lorsque des matrices de photodétecteurs séparées sont utilisées pour des sous-bandes qui sont différentes, comme dans la configuration de la figure 4. Dans ce cas, la matrice de photodétecteurs 2_1 qui est utilisée pour la sous-bande verte peut posséder un pas p_b qui est égal à la moitié du pas p_d de la matrice 2_3 qui est utilisée pour la sous-bande rouge : $p_b = 0,5 \times p_d$. Dans ce cas où tous les photodétecteurs 20 de chaque matrice sont utilisés pour saisir les images intermédiaires, les pas d'échantillonnage sont identiques aux largeurs individuelles des lignes L_{DET} et des colonnes C_{DET} de photodétecteurs de ces matrices. L'échantillonnage de la vue pour la sous-bande verte correspond alors encore à une densité surfacique qui est quatre fois plus importante que l'échantillonnage de la vue pour la sous-bande spectrale rouge.

Plus généralement, l'échantillonnage de la vue pour la première sous-bande spectrale correspond de préférence à une densité surfacique qui est quatre fois plus importante que l'échantillonnage de la vue pour la sous-bande spectrale qui est plus étendue vers les grandes valeurs de longueur d'onde.

Etant donné que la résolution GSD est égale au pas des photodétecteurs 20 divisé par la distance focale de l'optique de prise de vues 1, et multiplié par l'altitude de prise de vue, la résolution de l'image intermédiaire qui est saisie pour la couleur verte est deux fois plus petite, ou plus fine, que celle de l'image intermédiaire qui est saisie pour la couleur rouge. Par exemple, lorsque la résolution est égale à 10 m pour la couleur verte, elle peut ainsi être égale à 20 m pour la couleur rouge.

Lorsqu'une image intermédiaire est aussi saisie pour la sous-bande spectrale qui correspond à la couleur bleue, elle est saisie de préférence en utilisant le même pas d'échantillonnage que pour la sous-bande jaune ou rouge, c'est-à-dire deux fois plus grand que celui qui est utilisé pour saisir l'image intermédiaire de la sous-bande verte. Autrement dit : $p_a = p_c = p_d$.

Dans ces conditions, les images intermédiaires des couleurs bleue, jaune et rouge correspondent chacune à quatre fois moins de données d'image que l'image intermédiaire de la couleur verte. Ainsi, une durée de transmission entre l'émetteur qui est à bord du satellite S et le récepteur terrestre R (figure 1), pour une image finale polychrome, est réduite par rapport au cas où toutes les images intermédiaires, monochromes, auraient la même résolution, c'est-à-dire celle qui est associée à la couleur verte. Plus généralement, les données d'image intermédiaire qui sont transmises entre l'émetteur et le récepteur pour la première sous-bande spectrale correspondent à quatre fois plus de signaux de lecture de photodétecteurs que les données d'image intermédiaire qui sont transmises pour la sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde, pour la même scène qui est saisie dans toutes les sous-bandes spectrales.

L'unité de reconstruction d'image fusionne alors les images intermédiaires de toutes les sous-bandes spectrales, pour obtenir l'image finale polychrome. Des procédés de fusion d'images qui sont connus de l'Homme du métier peuvent être utilisés. L'image finale possède alors la résolution la plus fine parmi les résolutions respectives de toutes les images intermédiaires. Ainsi, l'image finale possède la résolution de l'image intermédiaire qui est associée à la couleur verte. De plus, le rendu visuel polychrome de cette image finale reconstruite, qui est apporté par les autres couleurs, apparaît conforme à sa résolution car la couleur verte correspond sensiblement au maximum de la sensibilité spectrale de l'œil humain.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'imagerie polychrome dans la bande spectrale d'observation de 360 nm à 950 nm, comprenant les étapes suivantes :

5 /1/ embarquer une optique de prise de vues (1) à bord d'un aéronef ou d'un engin spatial (S), ladite optique de prise de vues comprenant un télescope (11) et étant adaptée pour former des vues dans au moins un plan focal (PF) respectivement à partir de rayonnements appartenant à plusieurs sous-bandes spectrales comprises chacune dans la bande spectrale d'observation ;

10 /2/ placer au moins une matrice ($2_1, \dots, 2_n$) de photodétecteurs (20) dans ledit au moins un plan focal, pour saisir une image intermédiaire de chaque vue formée par l'optique de prise de vues avec une résolution associée à ladite image intermédiaire ;

15 /3/ saisir les images intermédiaires d'une même scène (F) respectivement pour chaque sous-bande spectrale ; et

/4/ fusionner les images intermédiaires saisies respectivement pour les sous-bandes spectrales, afin de former une image finale polychrome, le télescope (11) de l'optique de prise de vues (1) déterminant une pupille commune aux sous-bandes spectrales, et une dimension de ladite pupille commune fixant une fréquence spatiale de coupure différente pour chaque sous-bande spectrale,

25 les sous-bandes spectrales comprenant une première sous-bande spectrale et au moins une autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde, avec ladite autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde qui possède au moins une longueur d'onde plus grande qu'une limite supérieure de ladite première sous-bande spectrale, la pupille du télescope (11) étant dimensionnée de sorte que la fréquence spatiale de coupure pour la première sous-bande spectrale soit supérieure à une

fréquence de Nyquist de l'image intermédiaire saisie pour ladite première sous-bande spectrale,

le procédé étant caractérisé en ce que la pupille du télescope (11) est en outre dimensionnée pour que la fréquence spatiale de coupure pour ladite autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde, soit
5 inférieure à la fréquence de Nyquist de l'image intermédiaire qui est saisie pour ladite première sous-bande spectrale.

2. Procédé selon la revendication 1, suivant lequel la première sous-bande spectrale comprend la longueur d'onde 550 nm.

10 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, suivant lequel l'image finale polychrome possède une résolution égale à la résolution de l'image intermédiaire saisie pour la première sous-bande spectrale.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, suivant lequel la première sous-bande spectrale correspond à une couleur
15 verte, l'autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde correspond à une couleur rouge, et encore une autre sous-bande spectrale correspond à une couleur bleue.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, suivant lequel l'image intermédiaire saisie pour la première sous-bande
20 spectrale est formée en utilisant un pas d'échantillonnage (p_b) de la vue correspondante, qui est deux fois plus petit qu'un autre pas d'échantillonnage (p_d) utilisé pour saisir l'image intermédiaire de l'autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde, les dits pas d'échantillonnage étant mesurés parallèlement à des lignes (L_{DET}) et des colonnes (C_{DET}) des
25 photodétecteurs (20), de sorte que l'échantillonnage pour ladite première sous-bande spectrale corresponde à une densité surfacique quatre fois plus importante que l'échantillonnage pour ladite autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde.

6. Procédé selon la revendication 5, suivant lequel les lignes (L_{DET}) et les colonnes (C_{DET}) des photodétecteurs (20) sont adjacentes dans chaque matrice (2) de photodétecteurs utilisée, et suivant lequel l'image intermédiaire saisie pour la première sous-bande spectrale est obtenue en utilisant tous les
5 photodétecteurs de la matrice utilisée pour ladite première sous-bande spectrale, et suivant lequel l'image intermédiaire saisie pour ladite autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde est obtenue en sélectionnant un photodétecteur sur deux le long des lignes et des colonnes des photodétecteurs de la matrice utilisée pour ladite autre sous-bande
10 spectrale.

7. Procédé selon la revendication 5, suivant lequel la matrice (2_1) de photodétecteurs (20) utilisée pour saisir l'image intermédiaire de ladite première sous-bande spectrale possède une largeur de ligne (L_{DET}) et de colonne (C_{DET}) qui est deux fois plus petite qu'une largeur de ligne et de
15 colonne de la matrice (2_3) de photodétecteurs utilisée pour saisir l'image intermédiaire de ladite autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde.

8. Procédé selon la revendication 4 et l'une quelconque des revendications 5 à 7, suivant lequel l'image intermédiaire saisie pour la sous-
20 bande spectrale correspondant à la couleur bleue est basée sur le même pas d'échantillonnage (p_d) que pour ladite autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde, correspondant à la couleur rouge, et deux fois plus grand que le pas d'échantillonnage (p_b) utilisé pour saisir l'image intermédiaire de la première sous-bande spectrale, correspondant à la couleur
25 verte.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la scène (F) dont les images intermédiaires sont saisies à l'étape /3/ est une portion de surface de la Terre (T).

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes,
30 suivant lequel des données d'image intermédiaire sont transmises entre

l'aéronef ou l'engin spatial (S) et une station de réception (R) pour chaque sous-bande spectrale, les données d'image intermédiaire transmises pour la première sous-bande spectrale correspondant à quatre fois plus de signaux de lecture de photodétecteurs (20) que les données d'image intermédiaire transmises pour l'autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde, pour la même scène (F) saisie dans toutes les sous-bandes spectrales.

11. Système d'imagerie polychrome adapté pour être embarqué à bord d'un aéronef ou d'un engin spatial (S), ledit système comprenant :

- 10 - une optique de prise de vues (1) comprenant un télescope (11) et adaptée pour former des vues dans au moins un plan focal (PF), respectivement à partir de rayonnements appartenant à des sous-bandes spectrales comprises chacune dans la bande spectrale d'observation de 360 nm à 950 nm ;
- 15 - au moins une matrice ($2_1, \dots, 2_n$) de photodétecteurs (20) située dans ledit au moins un plan focal, adaptée pour saisir une image intermédiaire de chaque vue avec une résolution associée à ladite image intermédiaire ;
- une unité de commande (30) adaptée pour contrôler une saisie des images intermédiaires d'une même scène (F) respectivement pour
20 chaque sous-bande spectrale ; et
- une unité de reconstruction d'image adaptée pour fusionner les images intermédiaires saisies respectivement pour les sous-bandes spectrales, afin de former une image finale polychrome,
- 25 le télescope (11) de l'optique de prise de vues (1) déterminant une pupille commune aux sous-bandes spectrales, et une dimension de ladite pupille commune fixant une fréquence spatiale de coupure différente pour chaque sous-bande spectrale,
- le système étant adapté pour fixer une première des sous-bandes spectrales et
30 une autre des dites sous-bandes spectrales qui est étendue vers les grandes

longueurs d'onde, avec ladite autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde qui possède au moins une longueur d'onde plus grande qu'une limite supérieure de ladite première sous-bande spectrale, la pupille du télescope (11) étant dimensionnée de sorte que la fréquence spatiale de coupure pour la première sous-bande spectrale soit supérieure à une fréquence de Nyquist de l'image intermédiaire saisie pour ladite première sous-bande spectrale,

le système étant caractérisé en ce que la pupille du télescope (11) est en outre dimensionnée pour que la fréquence spatiale de coupure pour ladite autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde, soit inférieure à la fréquence de Nyquist de l'image intermédiaire qui est saisie pour ladite première sous-bande spectrale.

12. Système selon la revendication 11, adapté de sorte que la première sous-bande spectrale comprenne la longueur d'onde 550 nm.

13. Système selon la revendication 11 ou 12, dans lequel l'unité de reconstruction d'image est adaptée de sorte que l'image finale polychrome possède une résolution égale à la résolution de l'image intermédiaire saisie pour la première sous-bande spectrale.

14. Système selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, adapté de sorte que la première sous-bande spectrale corresponde à une couleur verte, l'autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde corresponde à une couleur rouge, et encore une autre sous-bande spectrale corresponde à une couleur bleue.

15. Système selon l'une quelconque des revendications 11 à 14, adapté pour saisir les images intermédiaires selon des pas d'échantillonnage des vues correspondantes, respectivement pour les sous-bandes spectrales, avec le pas d'échantillonnage (p_b) utilisé pour la première sous-bande spectrale qui est deux fois plus petit que le pas d'échantillonnage (p_d) utilisé pour saisir l'image intermédiaire de l'autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde, les dits pas d'échantillonnage étant mesurés parallèlement à

des lignes (L_{DET}) et des colonnes (C_{DET}) des photodétecteurs (20), de sorte que l'échantillonnage pour ladite première sous-bande spectrale corresponde à une densité surfacique quatre fois plus importante que l'échantillonnage pour ladite autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde.

5 16. Système selon la revendication 15, dans lequel les lignes (L_{DET}) et les colonnes (C_{DET}) des photodétecteurs (20) sont adjacentes dans chaque matrice (2) de photodétecteurs, et dans lequel l'unité de commande (30) est adaptée pour saisir l'image intermédiaire pour la première sous-bande spectrale en utilisant tous les photodétecteurs de la matrice utilisée pour ladite
10 première sous-bande spectrale, et pour saisir l'image intermédiaire pour ladite autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde en sélectionnant un photodétecteur sur deux le long des lignes et des colonnes des photodétecteurs de la matrice utilisée pour ladite autre sous-bande spectrale.

15 17. Système selon la revendication 15, suivant lequel la matrice (2_1) de photodétecteurs utilisée pour saisir l'image intermédiaire de ladite première sous-bande spectrale possède une largeur de ligne (L_{DET}) et de colonne (C_{DET}) qui est deux fois plus petite qu'une largeur de ligne et de colonne de la matrice (2_3) de photodétecteurs utilisée pour saisir l'image intermédiaire de ladite autre
20 sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde.

18. Système selon la revendication 14 et l'une quelconque des revendications 15 à 17, adapté pour saisir l'image intermédiaire de la sous-bande spectrale correspondant à la couleur bleue en utilisant le même pas d'échantillonnage (p_d) que pour ladite autre sous-bande spectrale étendue vers
25 les grandes longueurs d'onde, correspondant à la couleur rouge, et deux fois plus grand que le pas d'échantillonnage (p_b) utilisé pour saisir l'image intermédiaire de la première sous-bande spectrale, correspondant à la couleur verte.

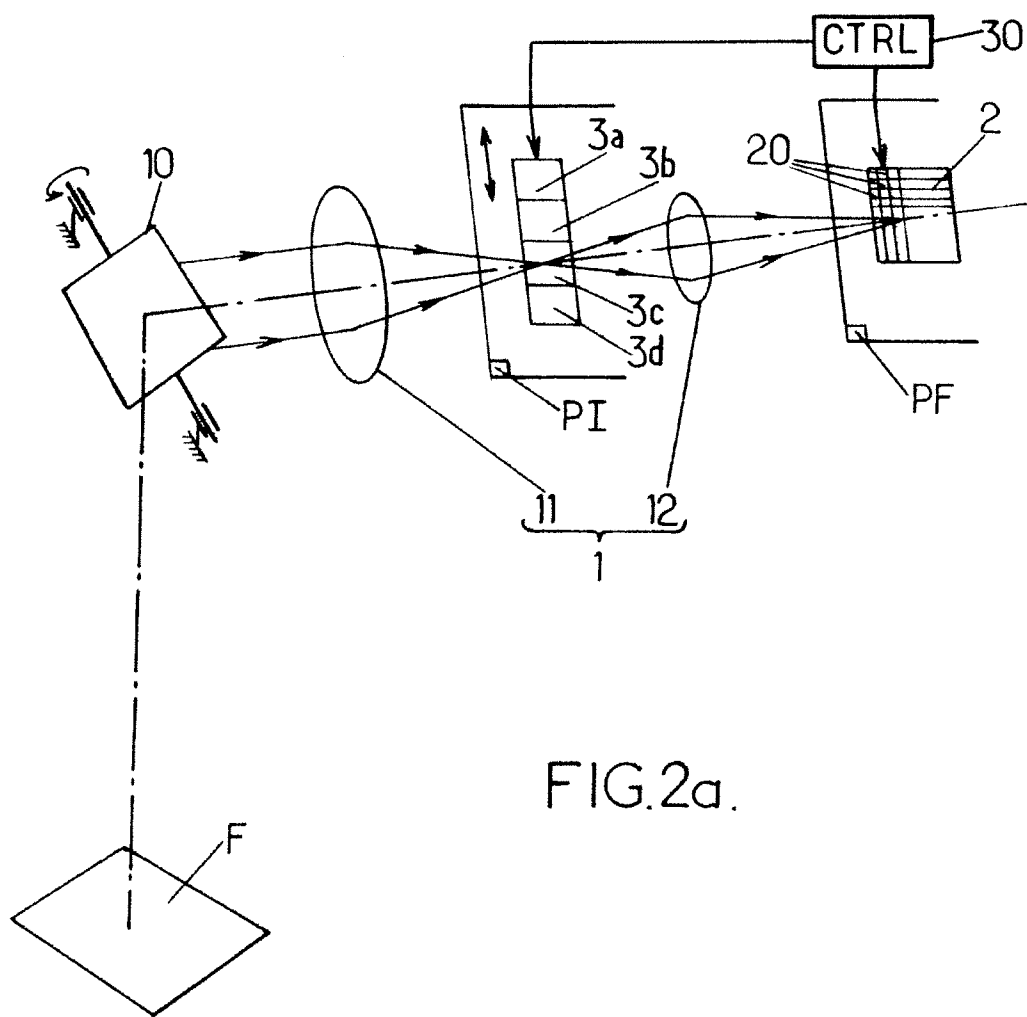
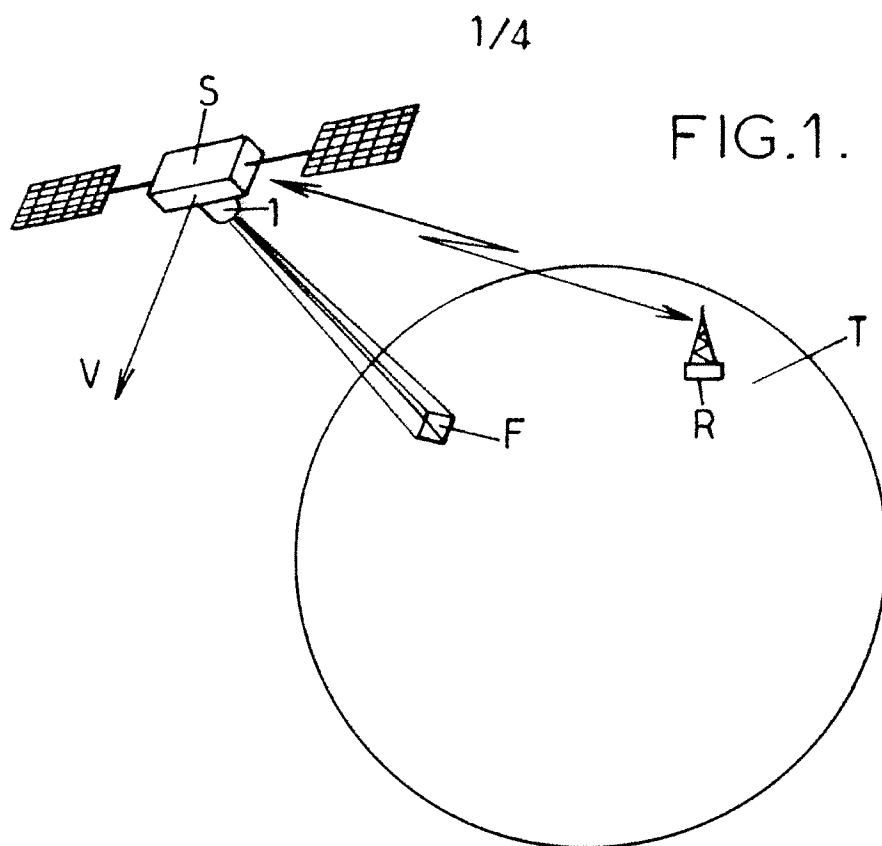
19. Système selon l'une quelconque des revendications 11 à 18,
30 comprenant en outre :

- 28 -

- un émetteur agencé pour transmettre des données d'image intermédiaire pour chaque sous-bande spectrale, à partir de signaux de lecture des photodétecteurs (20) ; et

5 - un récepteur agencé pour recevoir les dites données d'image intermédiaire transmises par l'émetteur, et pour délivrer les dites données d'image intermédiaire à l'unité de reconstruction d'image,

le système étant adapté de sorte que les données d'image intermédiaire transmises entre l'émetteur et le récepteur (R) pour la première sous-bande spectrale correspondent à quatre fois plus de signaux de lecture de
10 photodétecteurs (20) que les données d'image intermédiaire transmises pour l'autre sous-bande spectrale étendue vers les grandes longueurs d'onde, pour la même scène (F) saisie dans toutes les sous-bandes spectrales.



2/4

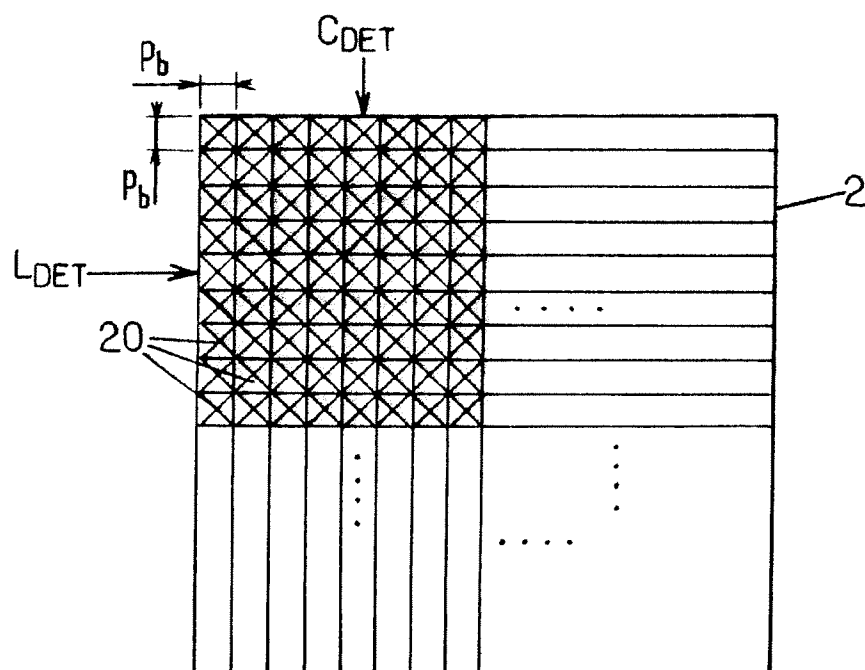


FIG. 2b.

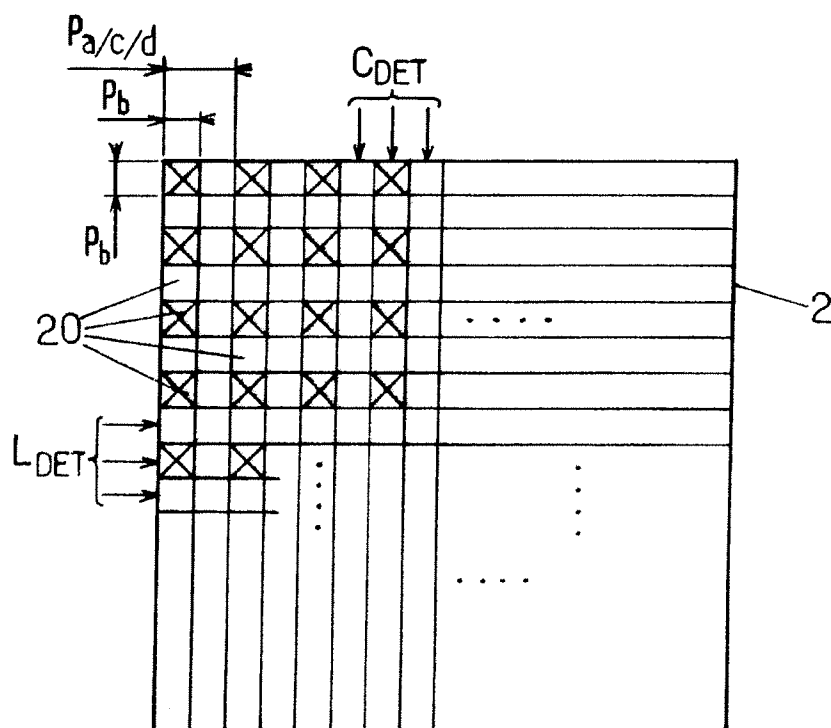
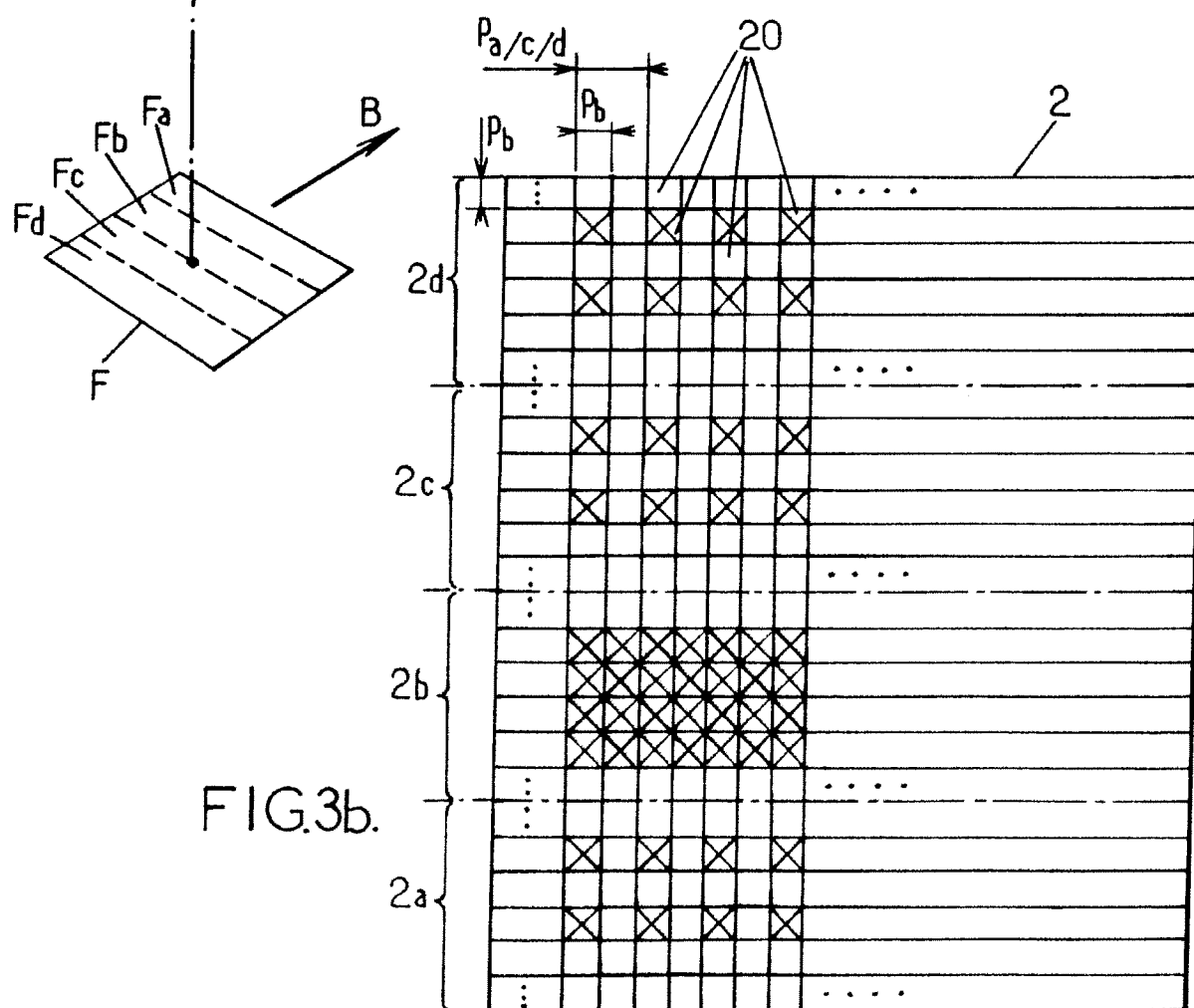
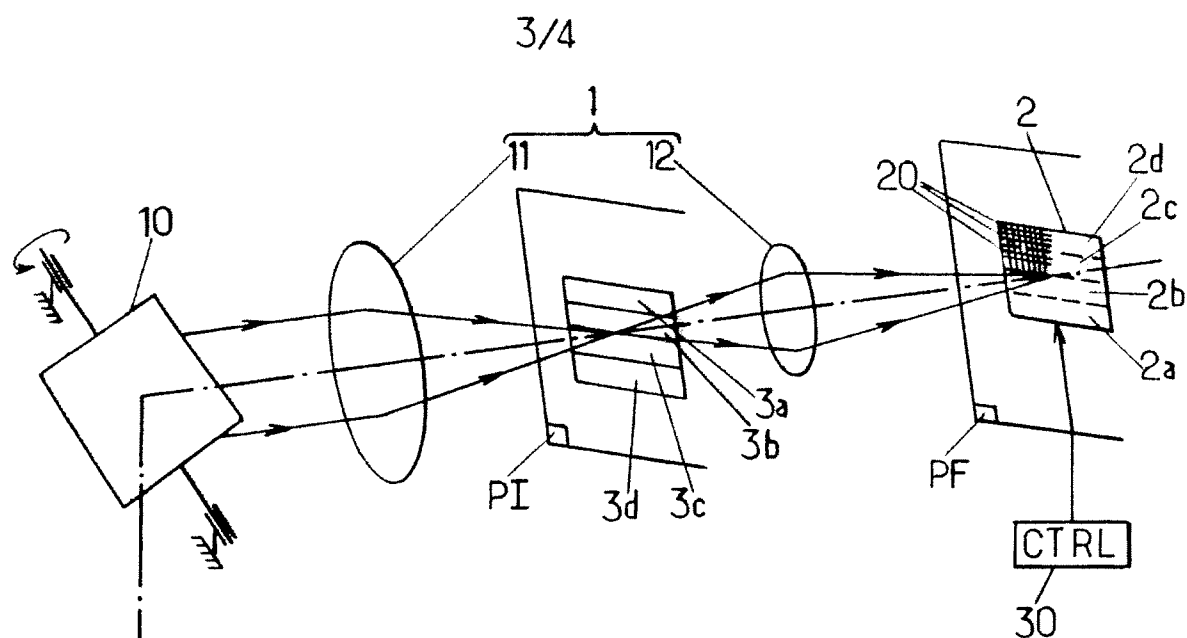
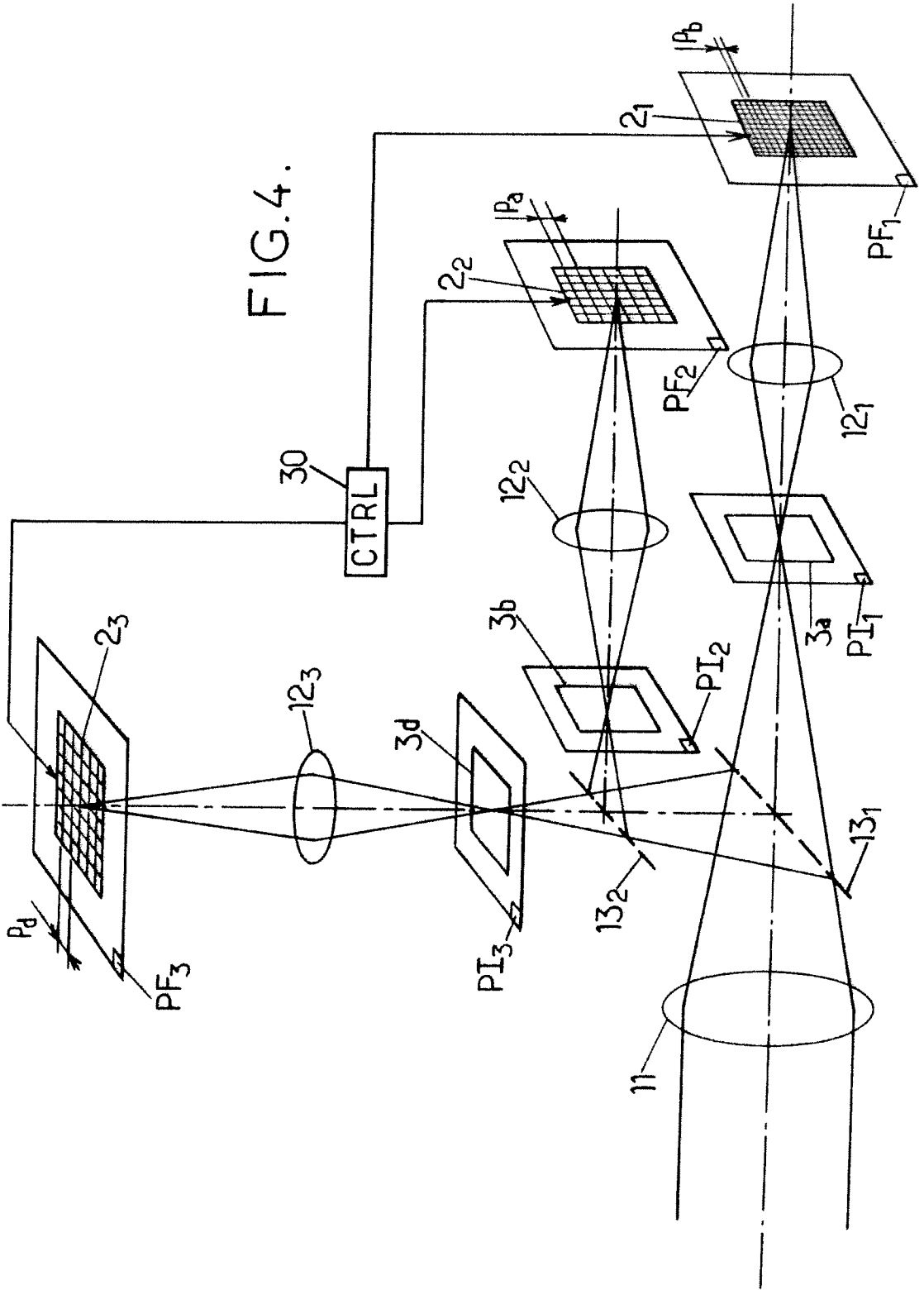


FIG. 2c.





INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2011/050977

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H04N5/33 G02B13/00
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)
H04N G02B G03B

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

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

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2006/054782 A1 (OLSEN RICHARD I [US] ET AL) 16 March 2006 (2006-03-16) paragraphs [0023], [0648] - [0650]; figures 3A, 48 paragraphs [0340], [0341]; figure 6B -----	1-5, 8-15, 18, 19
X	JP 5 066370 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 19 March 1993 (1993-03-19) abstract -----	1-5, 9, 11-15
X	US 2004/119020 A1 (BODKIN ANDREW [US]) 24 June 2004 (2004-06-24) paragraphs [0040], [0041] -----	1



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

2 August 2011

Date of mailing of the international search report

09/08/2011

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

Montanari, Marco

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2011/050977

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2006054782 A1	16-03-2006	US 2006054787 A1	16-03-2006
JP 5066370 A	19-03-1993	DE 69227875 D1	28-01-1999
		DE 69227875 T2	12-08-1999
		EP 0531926 A1	17-03-1993
		JP 2861525 B2	24-02-1999
		US 5237452 A	17-08-1993
US 2004119020 A1	24-06-2004	US 2006208193 A1	21-09-2006

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2011/050977

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H04N5/33 G02B13/00
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)
H04N G02B G03B

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

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

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2006/054782 A1 (OLSEN RICHARD I [US] ET AL) 16 mars 2006 (2006-03-16) alinéas [0023], [0648] - [0650]; figures 3A, 48 alinéas [0340], [0341]; figure 6B -----	1-5, 8-15, 18, 19
X	JP 5 066370 A (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD) 19 mars 1993 (1993-03-19) abrégé -----	1-5, 9, 11-15
X	US 2004/119020 A1 (BODKIN ANDREW [US]) 24 juin 2004 (2004-06-24) alinéas [0040], [0041] -----	1



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

2 août 2011

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

09/08/2011

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

Montanari, Marco

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2011/050977

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2006054782 A1	16-03-2006	US 2006054787 A1	16-03-2006
JP 5066370 A	19-03-1993	DE 69227875 D1	28-01-1999
		DE 69227875 T2	12-08-1999
		EP 0531926 A1	17-03-1993
		JP 2861525 B2	24-02-1999
		US 5237452 A	17-08-1993
US 2004119020 A1	24-06-2004	US 2006208193 A1	21-09-2006