

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 27.01.15.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 29.07.16 Bulletin 16/30.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : CNRS - CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE — FR, AIX-MARSEILLE
UNIVERSITE — FR, CEA - COMMISARIAT A L'ENER-
GIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
— FR et WINLIGHT SYSTEM Société anonyme — FR.

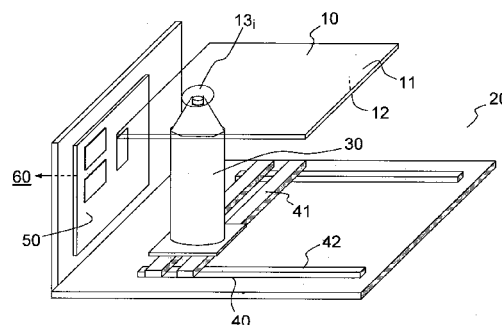
72 Inventeur(s) : ESCOUBAS LUDOVIC, PALAIS
OLIVIER, PASQUINELLI MARCEL LAURENT, GODE-
FROY PHILIPPE, SOLER DANIEL et TOVENA
PECAULT ISABELLE.

73 Titulaire(s) : CNRS - CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE, AIX-MARSEILLE UNI-
VERSITE, CEA - COMMISARIAT A L'ENERGIE ATO-
MIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES,
WINLIGHT SYSTEM Société anonyme.

74 Mandataire(s) : CABINET OSHA ET ASSOCIES.

54 PROCÉDES ET DISPOSITIFS DE DETECTION DE LA CONTAMINATION SURFACIQUE PAR DES PARTICULES
ÉVOLUANT EN AIR LIBRE.

57 Selon un aspect, la présente description concerne un
dispositif de détection de contamination surfacique par des
particules évoluant en air libre. Il comprend une surface de
collecte (10), fixe, destinée à recevoir des particules sur
l'une de ses faces (11) et une tête optique (30) agencée du
côté de la surface de collecte opposé à la face de réception
(11) des particules. La tête optique un système optique ima-
geur (38) pour la formation d'une image d'une surface
d'analyse élémentaire (13i) de la surface de collecte (10) sur
une surface de détection (33) et une source d'éclairage (34,
35) permettant l'émission d'au moins un faisceau d'éclaira-
ge adapté pour recouvrir ladite surface d'analyse élémen-
taire (13i). Des moyens de déplacement (40) de la tête
optique (30) permettent un balayage selon les deux direc-
tions de la surface de collecte (10).



ETAT DE L'ART

Domaine technique

La présente description concerne des procédés et dispositifs de détection de contamination surfacique par des particules évoluant en air libre. Elle s'applique notamment à la
5 détection de particules sédimentées dans les zones à environnement contrôlé ou au contrôle de la pollution atmosphérique.

Etat de l'art

Dans de nombreux secteurs industriels (micro ou nanoélectronique, optique, opto-
mécanique, photonique, micromécanique) et de santé, la maîtrise de l'environnement est
10 devenue un enjeu stratégique. Les normes et standards de classification évoluent et entraînent donc de nouveaux besoins pour s'adapter à des exigences de plus en plus poussées.

Les salles propres, et plus généralement les zones à environnement contrôlé (ci-après
dénommées ZEC), également référencées comme « Zones à Environnement Maîtrisé
Apparenté » (ZEMA), sont classées en fonction du nombre de particules volumiques pour des
15 tailles comprises entre 0,1 μm et 5 μm selon la norme ISO 14644-1. Un nouveau standard international ISO 14644-9 pour classer l'état de propreté particulaire des surfaces vient d'être approuvé : les contaminants particuliers surfaciques qui y sont considérés sont ceux dont la taille unitaire est généralement comprise entre 0,05 μm et 500 μm pour les besoins de la classification.

L'optimisation de l'aéraulique des ZEC (filtration, circuit d'air et taux de brassage de l'air
20 régnant à l'intérieur) permet d'éliminer et de contrôler les concentrations volumiques des particules de taille inférieure ou de l'ordre du micron (μm). Il apparaît que certaines opérations (fabrication, assemblage, maintenance) menées à l'intérieur de ZEC induisent une augmentation de la quantité de contaminants particuliers avec un spectre de taille pouvant être très large, dont
25 les plus grosses (supérieures au μm) ne peuvent être contrôlées et éliminées par l'aéraulique de ces ZEC. De fait, les particules de taille supérieures au micron se déposent ou autrement dit sédimentent très rapidement sur les surfaces de la ZEC et ne peuvent être éliminées par les flux d'air. Par conséquent, il y a un besoin pour la détection et l'analyse des particules sédimentées.

Des recommandations pour les méthodes et les appareils d'essai de sédimentation et de
30 comptage des particules sont faites selon la norme ISO14644-3. En effet, des essais de sédimentation constituent le seul moyen d'analyse connu à ce jour qui soit efficace pour garantir

à l'utilisateur de ZEC qu'il n'y a pas de contamination inacceptable dans la ZEC suite aux opérations menées en son sein. Les essais consistent en général à récupérer sur des plaques de collecte, appelées « plaques témoin », les particules déposées par sédimentation, quelle que soit leur orientation, puis à les quantifier en nombre ou en masse ou à mesurer leurs effets (diffusion de la lumière ou aire recouverte).

Les inconvénients des essais de sédimentation tels qu'ils sont réalisés à ce jour sont nombreux. Ils imposent le prélèvement et le transport vers l'appareillage de comptage des plaques témoins positionnées aux endroits appropriés de la ZEC. Lors de ce transport, il peut se produire une perte des particules sédimentées en particulier pour celles ayant la plus grande taille, qui par nature sont les moins adhérentes aux plaques témoin, avec le risque de voir la contamination surfacique comptée minorée par rapport à la réalité. Lors du transport vers le dispositif de comptage de l'ensemble de ces plaques témoin, il peut également se produire une sur contamination de ces plaques si le conditionnement de ces plaques n'est pas lui-même propre et étanche. En d'autres termes, les essais de sédimentations réalisés selon la norme ISO 14644-3 sont longs, fastidieux et pas nécessairement complètement fiables.

Plusieurs systèmes de mesures de contamination particulaire sédimentée existent qui permettent de limiter le déplacement des plaques de collecte.

Sont connus par exemple des systèmes utilisant des pompes pour diriger les particules vers un système de comptage quel qu'il soit. Le principal problème de ce type de système est que le comportement des particules qui doivent sédimenter est perturbé par le flux d'air local; le comptage n'est pas représentatif de la sédimentation car l'environnement est perturbé par le système de mesure lui-même.

Différents systèmes sont également décrits permettant la détection de l'ombre formée par des particules venant se déposer sur une surface de détection d'un capteur (voir par exemple le brevet US5218211). Ces systèmes nécessitent cependant l'ajout d'un éclairage artificiel dans l'environnement que l'on cherche à analyser pour pouvoir continuer le comptage dans l'obscurité, ce qui engendre des risques de perturbation de l'environnement, notamment du fait de l'éventuel impact des sources d'éclairage sur l'aéroulque à proximité des capteurs.

La présente description propose un procédé et un dispositif de détection de contamination surfacique par des particules évoluant en air libre permettant notamment l'identification et le comptage des particules sans déplacement de la plaque de collecte et sans perturbation de l'environnement dans lequel les particules évoluent.

RESUME DE L'INVENTION

Selon un premier aspect, la présente description concerne un procédé de détection de la contamination surfacique par des particules évoluant en air libre dans une zone à contrôler.

La zone à contrôler peut être une zone fermée de type ZEMA ou une zone ouverte
5 pour le contrôle de la pollution atmosphérique.

Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le procédé comprend :

- l'agencement dans la zone à contrôler d'au moins une surface de collecte, fixe, recevant des particules sur l'une de ses faces;
- pour chaque surface de collecte, l'éclairage d'une région de ladite surface de
10 collecte au moyen d'un faisceau d'éclairage émis par une source d'éclairage située dans une tête optique, ladite tête optique étant disposée du côté de la surface de collecte opposé à la face de réception des particules;
- la formation d'une image d'une surface d'analyse élémentaire de la région éclairée au moyen d'un système optique imageur agencée dans la tête optique, chaque
15 particule sur la surface d'analyse élémentaire émettant un signal lumineux rétrodiffusé;
- le déplacement de la tête optique afin de former un balayage selon les deux directions de la surface de collecte et en chaque point du balayage, une image de la surface d'analyse élémentaire;
- le traitement des images des surfaces d'analyse élémentaires acquises aux
20 différents points du balayage de telle sorte à détecter les particules sur l'ensemble de la surface de collecte.

Le procédé ainsi décrit permet une caractérisation de la contamination surfacique rapide, fiable et à bas coût. Notamment, ni le comportement des particules, ni leur environnement n'est perturbé lors de la mise en œuvre du procédé et l'analyse ne requiert pas de
25 ce fait un étalonnage systématique. La mesure, tout en étant rapide, est donc parfaitement représentative de la contamination surfacique de l'environnement, et notamment de la contamination surfacique résultant de la sédimentation. Par ailleurs, l'imagerie directe des particules permet d'analyser la géométrie, la taille et la répartition des pollutions.

Selon un ou plusieurs exemples de réalisation le faisceau d'éclairage est orienté de telle
30 sorte que le faisceau résultant de la réflexion spéculaire du faisceau d'éclairage sur la surface de collecte ne pénètre pas dans le système optique imageur. On obtient ainsi des images dites « sur fond noir » qui présentent un très bon contraste des particules à détecter.

Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le balayage de la tête optique est fait de

façon reproductible, et de telle sorte à former des surfaces d'analyse élémentaires juxtaposées et disjointes recouvrant l'ensemble de la surface de collecte, ceci afin d'assurer une couverture complète de la surface de collecte, sans superposition des surfaces d'analyse élémentaires. Par exemple, le balayage est en forme de serpentin.

5 Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le procédé comprend, pour chaque formation d'une image d'une surface d'analyse élémentaire, l'acquisition d'une première image de la surface d'analyse élémentaire au moyen du système optique imageur avec l'éclairage, l'acquisition d'une deuxième image de la surface d'analyse élémentaire au moyen du système optique imageur sans l'éclairage, et la soustraction des deux images pour former l'image de la
10 surface d'analyse élémentaire. Ces étapes préalables permettent de limiter le bruit résultant d'un éclairage ambiant.

 Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le procédé comprend, pour chaque image formée d'une surface d'analyse élémentaire, l'estimation d'un niveau de seuil et la détection des points de l'image présentant une intensité supérieure au niveau de seuil pour la
15 détection des particules et la détermination de leurs tailles.

 Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le procédé comprend en outre un suivi temporel des particules détectées, les particules pouvant être identifiées par exemple en fonction de leur nombre et de leurs tailles, ou par l'estimation de la surface recouverte par les particules.

 Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, un premier balayage de la surface de
20 collecte peut être effectué avant le lancement de l'analyse de la contamination surfacique par les particules, afin de caractériser l'état de pollution initial de la surface, à l'origine du suivi temporel. On s'affranchit ainsi des éventuels défauts de surface ou défauts de propreté de la surface de collecte ; de ce fait, l'analyse est faite par comptage relatif du nombre de particules et ne demande pas une surface parfaitement propre ou une surface sans défaut.

25 Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le procédé comprend en outre la mise en place d'une alarme se déclenchant au-delà d'un seuil de contamination particulaire préalablement choisi.

 Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le procédé concerne la détection de la contamination surfacique d'une zone à environnement contrôlée ; il comprend la détection de la
30 contamination surfacique à différents endroits de ladite zone.

 Selon un deuxième aspect, la présente description concerne un dispositif de détection de contamination surfacique adapté à la mise en œuvre du procédé selon le premier aspect.

 Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le dispositif selon la présente description comprend :

- une surface de collecte fixe, destinée à recevoir des particules évoluant en air libre sur l'une de ses faces;
- une tête optique agencée du côté opposé de la surface de collecte par rapport à la face de réception des particules et comprenant :
 - un système optique imageur permettant la formation d'une image d'une surface d'analyse élémentaire de la surface de collecte sur une surface de détection;
 - une source d'éclairage permettant l'émission d'au moins un faisceau d'éclairage adapté pour recouvrir ladite surface d'analyse élémentaire;
- des moyens de déplacement de la tête optique permettant un balayage selon les deux directions de la surface de collecte et en chaque point du balayage, la formation d'une image de la surface d'analyse élémentaire;
- une unité électronique de commande pour le traitement des signaux issus du système optique imageur.

La surface de collecte est transparente au moins à la longueur d'onde de la source d'éclairage. Un tel dispositif, tout en étant compact, permet une analyse fiable de la contamination particulaire sur des surfaces d'analyse témoin de quelques cm^2 à au moins une centaine de cm^2 .

Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le faisceau d'éclairage est orienté de telle sorte que le faisceau résultant de la réflexion spéculaire du faisceau d'éclairage sur la surface de collecte ne pénètre pas dans le système optique imageur. Un tel arrangement permet la formation d'images dites sur « fond noir » qui permettent un très bon contraste des particules à détecter.

Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, la source d'éclairage comprend au moins deux sources élémentaires agencées de part et d'autre du système optique imageur et dont l'émission couvre ladite surface élémentaire. La ou les sources élémentaires sont par exemple des diodes électroluminescentes.

Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le système optique imageur comprend un objectif et un détecteur bidimensionnel présentant une surface de détection dont les dimensions définissent les dimensions de la surface d'analyse élémentaire. Le choix de l'objectif et la résolution du détecteur bidimensionnel peuvent être faits en fonction de la taille minimale des particules que l'on cherche à détecter, de la surface de collecte et du temps recherché pour l'analyse de la surface de collecte.

Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le système optique imageur comprend

un filtre spectral adapté à ne transmettre que la bande spectrale d'émission de la source d'éclairage. Un tel filtre permet de laisser passer la lumière rétrodiffusé par les particules sur la surface de collecte tout en limitant le flux lumineux parasite provenant de l'environnement.

5 Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, l'unité électronique de commande transmet les signaux issus du système optique imageur vers une unité de contrôle assurant tout ou partie du traitement des images des surfaces d'analyse élémentaires pour la détection des particules sur l'ensemble de la surface de collecte.

10 Selon un ou plusieurs exemples de réalisation, le dispositif de détection de contamination surfacique est autonome, un traitement des images des surfaces d'analyse élémentaires étant fait au niveau de l'unité électronique de commande.

La présente description concerne, selon un troisième aspect, un système de détection de contamination surfacique d'une zone à environnement contrôlée comprenant un ensemble de dispositifs de détection de contamination surfacique selon le deuxième aspect et une unité de commande commune à ces dispositifs. L'autonomie du détecteur de contamination surfacique
15 selon la présente description permet en effet une gestion centralisée de plusieurs détecteurs pilotés par une même station de travail. La station de travail peut être déportée par réseau, dans le cas où les détecteurs se trouvent dans des pièces différentes par exemple.

20

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à la lecture de la description, illustrée par les figures suivantes :

25

- Figures 1A et 1B, des schémas illustrant un dispositif de détection de la contamination surfacique par des particules évoluant en air libre selon la présente description;
- Figure 2, un schéma représentant un exemple de tête optique d'un dispositif de détection selon la présente description;
- Figure 3, une représentation de l'ensemble des surfaces d'analyses élémentaires balayées sur une surface de collecte ;
- 30 - Figures 4A, 4B et 4C, des courbes d'intensité représentant un exemple de signal lumineux détecté lorsque la surface d'analyse élémentaire est éclairée, le signal lumineux détecté lorsque la surface d'analyse élémentaire n'est pas éclairée, et la

courbe obtenue par soustraction des courbes précédentes ;

- Figure 5, une image d'une surface d'analyse élémentaire sur laquelle sont mises en évidence les particules classées selon leurs tailles;
- Figure 6, une courbe de suivi de contamination dans le temps au niveau d'une surface de collecte;
- Figure 7, un exemple de système de détection de contamination surfacique d'une zone à environnement contrôlée comprenant un ensemble de dispositifs de détection selon la présente description ;
- Figure 8, un schéma montrant selon un exemple un arrangement des dispositifs de détection de contamination surfacique dans une zone à environnement contrôlé.

DESCRIPTION DETAILLEE

Dans les figures, les éléments identiques sont indiqués par les mêmes références.

Les figures 1A et 1B présentent un exemple de dispositif de détection selon la présente description, adapté à la détection de la contamination surfacique par des particules évoluant en air libre.

Par « particules » ou « contaminants particulaires », on entend généralement dans la présente description tout élément solide et/ou liquide susceptible d'adhérer à la surface de collecte par des interactions physiques et/ou chimiques, à l'exclusion des films qui couvrent l'ensemble de la surface, cette définition étant conforme à la définition donnée dans la norme ISO 14644-9(2013). Selon un ou plusieurs exemples de la présente description, une « particule » ou « contaminant particulaire » au sens de la présente description peut comprendre tout élément en suspension dans l'air ambiant suffisamment lourd pour pouvoir sédimenter sur une surface horizontale ou inclinée, typiquement des particules de dimension de l'ordre du micron.

Le dispositif de détection de la contamination surfacique 100 représenté sur les figures 1A et 1B comprend une surface de collecte 10 et un système optronique 20 pour la détection et l'analyse des particules venant se déposer sur la surface de collecte, par exemple par sédimentation ; le système optronique 20 du dispositif de détection 100 selon cet exemple est relié à un ordinateur de contrôle 60 lui-même connecté à un écran 61.

La surface de collecte est transparente au moins à la longueur d'onde de la source d'éclairage. Il s'agit par exemple d'une lame transparente, par exemple en verre, sur laquelle des particules viennent se déposer. La surface de collecte est avantageusement réalisée dans un verre résistant (par exemple en silice) afin de pouvoir être souvent nettoyée sans se dégrader. De la

sorte, la surface de collecte présente l'avantage de pouvoir subir les cycles de nettoyage de surface, comme toutes les surfaces de salle propre, et donc d'être réellement représentative de l'état de propreté des surfaces surveillées.

La surface de collecte présente une planéité suffisante pour que des petites particules (typiquement de l'ordre du micron) restent focalisées, c'est-à-dire dans la profondeur de champ du système imageur du système optronique. Typiquement, on cherchera un rapport entre la planéité de la surface, définie comme le plus grand écart entre un creux et une bosse, et la dimension des particules à détecter, inférieur ou égal à 10. Ainsi par exemple, pour des particules de l'ordre du micron (ou davantage), on cherchera une planéité inférieure à 10 microns, avantageusement inférieure au micron.

Par ailleurs, la surface de collecte présente avantageusement un minimum de défauts de surface ; cependant, comme cela sera décrit par la suite, une calibration initiale du détecteur peut permettre de travailler avec des surfaces de collecte qui ne sont pas parfaitement propres ou qui présentent des défauts de surface.

La surface de collecte 10 comprend une face de réception 11 ou « face supérieure » sur laquelle se déposent des contaminants particuliers (référencées P1, P2 sur la figure 1A) et une face 12 opposée à la face de collecte 11 ou « face inférieure » du côté duquel se trouve le système optronique 20. Bien que sur les figures, la surface de collecte est représentée sensiblement horizontale lorsque le dispositif de détection est en utilisation, il est tout à fait possible de travailler avec la surface de collecte agencée dans un plan incliné, voire vertical, afin d'obtenir des analyses représentatives de la contamination surfacique de surfaces inclinées.

La superficie de la surface de collecte, pour être représentative de l'état de propreté des surfaces surveillées, est, selon un exemple de réalisation, supérieure à quelques cm², par exemple de l'ordre d'une dizaine ou de quelques dizaines de cm², voire jusqu'à 100 cm² (surface considérée dans la norme IEST 1246 E utilisée jusqu'alors dans la caractérisation de la contamination particulaire surfacique).

En pratique, la surface totale analysable, déterminée comme la surface de collecte d'un détecteur ou les surfaces de collecte additionnées de N détecteurs) résulte d'un compromis entre la plus petite taille de particule à détecter, le temps nécessaire pour l'analyse, l'environnement à surveiller et/ou les surfaces cibles à contrôler.

Le système optronique 20 comprend une tête optique 30 permettant d'éclairer et d'imager une surface d'analyse élémentaire 13_i sur une surface de détection de la tête optique. Un exemple de tête optique est décrit plus en détails sur la figure 2. Le système optronique comprend également des moyens de déplacement 40 de la tête optique 30 permettant de balayer

l'ensemble de la surface de collecte 10 ; les moyens de déplacement comprennent par exemple des rails de translation 41, 42 permettant un déplacement de la tête optique 30 selon deux directions perpendiculaires. Avantageusement, les moyens de déplacement permettent un balayage reproductible de la surface de collecte, c'est-à-dire que d'un balayage à l'autre, les mêmes surfaces d'analyse élémentaires sont imagées, ce qui permet des calibrations plus robustes du dispositif de détection.

Le système optronique comprend par ailleurs une unité électronique de commande 50 intégré dans le corps du dispositif de détection et qui communique avec l'ordinateur de contrôle 60 équipé d'un logiciel de contrôle.

L'unité électronique de commande 50 permet par exemple de piloter les moteurs de translation des rails 41, 42 afin de balayer la surface de collecte. L'unité électronique de commande assure également selon une variante tout ou partie du traitement en temps réel des images acquises par la tête optique. L'unité électronique de commande peut permettre également de gérer l'initialisation du dispositif de détection, de régler l'acquisition (résolution, éclairage...), de paramétrer des seuils de contamination à partir duquel un seuil d'alerte peut être enclenché. Selon une variante, l'unité électronique de commande peut permettre également l'auto-calibration de la tête optique sur ordre de l'ordinateur de contrôle après un nettoyage pour ne pas prendre en compte les défauts permanents sur la surface de collecte tels que des rayures.

L'ordinateur de contrôle 60, équipé d'un logiciel de contrôle, peut permettre de contrôler le système optronique 20, d'afficher les acquisitions du système optronique sur l'écran 61 et, selon des variantes, de procéder à l'analyse en temps réel ou a posteriori des images formées par le dispositif de détection ou l'ensemble des dispositifs de détection lorsqu'une pluralité d'entre eux sont agencés en réseau.

La figure 2 illustre un exemple de tête optique 30 d'un dispositif de détection selon la présente description. La tête optique 30 comprend une source d'éclairage permettant d'éclairer une région de la surface de collecte 10 et un système optique imageur 38 permettant la formation d'une image d'une surface d'analyse élémentaire 13_i de la surface collecte 10 sur une surface de détection 33.

L'éclairage est adapté pour éclairer une région recouvrant la surface d'analyse instantanée 13_i . La source d'éclairage comprend, dans l'exemple de la figure 2, deux sources élémentaires 34, 35 situées de part et d'autre du système optique imageur 38 et orientées afin d'éviter que les faisceaux lumineux émis par les sources élémentaires et réfléchis par la face inférieure 12 et la face supérieure 11 de la surface de collecte ne soient réinjectés dans le système optique imageur. Cet agencement des sources élémentaires permet une imagerie dite sur « fond

noir » ; en effet la lumière directement réfléchiée par la surface de collecte n'est pas détectée ; c'est seulement lorsqu'il y a la présence d'une particule apte à rétrodiffusée la lumière dans le système optique imageur qu'un signal lumineux peut être détecté sur la surface de détection 33.

La source d'éclairage peut comprendre avantageusement un ou plusieurs sources
5 élémentaires émettant dans l'UV, le visible ou l'infrarouge, par exemple des diodes électroluminescentes.

Le système optique imageur 38 comprend selon un ou plusieurs exemples de réalisation un objectif optique 31, formé d'une ou plusieurs lentilles optiques, et un détecteur optique bidimensionnel 32, l'objectif permettant la conjugaison optique entre la surface de détection du
10 détecteur optique 32 et la surface d'analyse élémentaire 13_i.

L'objectif optique présente une ouverture numérique adapté à la taille des particules que l'on cherche à détecter. Par exemple, pour la détection de particules de l'ordre de 5 µm, on pourra travailler avec un objectif ouvert à f/4 (pour une longueur d'onde de travail de 532 nm).

Le détecteur optique bidimensionnel 32 est par exemple une caméra CCD ou CMOS
15 présentant par exemple une surface de détection 33 rectangulaire formée de détecteurs élémentaires ou « pixels », avantageusement au moins 10⁵ pixels. Typiquement ce capteur peut permettre une résolution de 5µm sur une surface de 4 x 5 mm² environ. Grâce au déplacement de la tête optique, il est possible alors de couvrir une surface d'analyse totale dont la surface est de 100 cm² ou davantage.

Le système optique imageur 38 peut comprendre également selon un exemple un filtre
20 optique 36 adapté à la longueur d'onde de la source d'éclairage afin de filtrer les rayonnements lumineux parasites et optimiser le rapport signal sur bruit optique.

Un dispositif de détection de contamination surfacique tel qu'illustré au moyen des figures 1A, 1B et 2 présente l'avantage d'une ergonomie très compacte ; par exemple le
25 dispositif de détection peut présenter des dimensions inférieures à 20 cm selon chacune des 2 directions.

La figure 3 représente selon un exemple le balayage de la surface de collecte 10. La surface d'analyse instantanée 13_i est translatée en sinueux (c'est-à-dire en se déplaçant le long d'une ligne et, arrivée à l'extrémité de la ligne, en se déplaçant sur une ligne adjacente et ainsi de
30 suite), de façon reproductible. Un tel déplacement est assuré par exemple au moyen de 2 axes motorisés perpendiculaires (rails 41 et 42 de la figure1B).

Selon un exemple, le déplacement de la tête optique (éclairage, objectif et caméra) est obtenu par un ensemble de translation linéaire dont les déplacements sont gérés par des moteurs pas à pas, ce qui permet de balayer toujours les mêmes zones de la surface de collecte.

Il est ainsi possible par un balayage de la surface d'analyse élémentaire d'obtenir quelques centaines d'acquisitions d'images instantanées, par exemple entre 300 et 400, afin de recouvrir une surface d'analyse complète d'environ une centaine de cm², équivalent à plusieurs milliards de pixels.

5 La mécanique du balayage est dimensionnée selon un exemple pour permettre d'effectuer un balayage complet dans un temps court, typiquement de quelques minutes à une dizaine de minutes, ce qui contraint les profils de déplacement.

Par ailleurs, une rigidité suffisante de la mécanique de balayage permet de déplacer la tête optique en maintenant la netteté de l'image, augmentant la fiabilité de la détection.

10 Des exemples de procédés pour la formation d'images de surfaces d'analyse élémentaires à partir d'images acquises par la tête optique, le traitement des images formées et des procédés de comptage des particules à partir des images formées sont maintenant décrits. Tout ou partie des procédés décrits ci-dessous peuvent être commandés par l'unité électronique de commande 50 (figure 1B) intégrée dans le système optronique et/ou par l'ordinateur de contrôle 60 (figure 15 1A) relié à l'unité électronique de commande et équipé d'un logiciel de contrôle.

Avant d'effectuer un balayage, le système optronique peut tester selon une variante si l'éclairage ambiant n'est pas trop élevé, afin d'éviter de perturber, saturer ou biaiser les mesures.

La formation d'une image d'une surface d'analyse élémentaire peut se faire selon le procédé suivant, illustré au moyen des figures 4A à 4C:

- 20 - la source d'éclairage est allumée pour réaliser une première acquisition: cette première acquisition détermine l'image des particules en incluant le fond ambiant. La figure 4A présente le profil d'une particule éclairée, c'est-à-dire l'intensité du signal issu de cette particule, selon une dimension ;
- la source d'éclairage est éteinte pour réaliser une seconde acquisition: cette deuxième acquisition détermine l'image du fond ambiant. La figure 4B présente le profil de la même particule que la figure 4B mais cette fois ci non éclairée ;
- les 2 acquisitions sont soustraites pixel par pixel afin d'obtenir l'image des particules dépourvue du fond. La figure 4C présente le profil de la même particule après soustraction des deux profils précédents.

30 Le procédé suivant peut ensuite être appliqué à l'image formée:

- détermination d'un niveau de seuil, le niveau de seuil pouvant être un paramètre usine indépendant des images acquises.

- une segmentation et un regroupement des pixels contigus ayant une valeur supérieure à celle du niveau de seuil précédemment déterminé sont effectués. Chaque groupe de pixels ainsi formé constitue une particule.
- la taille d'une particule peut être déterminée à partir de la distance maximale que peuvent former deux de ses pixels. Une comparaison de toutes les combinaisons possibles entre deux pixels appartenant pour l'un à l'enveloppe convexe supérieure et pour l'autre à l'enveloppe convexe inférieure de la particule peut être faite pour en déduire la taille de cette particule.

5 Une fois les acquisitions et les calculs terminés, la tête optique peut être translatée vers la surface d'analyse élémentaire suivante et ainsi de suite.

Chaque particule peut alors être classée selon la catégorie de sa taille, et pour chaque position de la tête optique. Les statistiques peuvent être mises à jour sur l'interface du logiciel jusqu'à la fin du balayage où les valeurs finales de concentration des particules selon les catégories de tailles peuvent être affichées sur un graphique.

15 Au moyen du logiciel de contrôle mis en œuvre dans l'ordinateur de contrôle, il est possible d'archiver les balayages effectués au cours du temps et de revoir toute la campagne de balayage afin d'analyser les images du premier au dernier balayage effectué. Le suivi des contaminations peut ainsi s'effectuer en balayant la surface de collecte à intervalles réguliers et programmables par l'utilisateur (par exemple toutes les 5 min pour un fonctionnement quasi-

20 continu, ou à des intervalles de temps plus espacés).

Selon un exemple de réalisation, un premier balayage de la surface de collecte peut être effectué pour caractériser l'état de pollution initial de la surface. Il est l'origine du suivi. Les balayages suivants de la surface de collecte peuvent permettre de suivre l'évolution de la contamination par rapport à ce premier balayage. Un avantage est que la surface peut être

25 imparfaitement propre ou un peu endommagée, cela n'affecte pas le suivi de la contamination.

En parallèle de chaque balayage, une mesure de bruit ambiant lié à l'environnement lumineux peut être réalisée. La valeur du bruit est rapportée en parallèle avec les valeurs de contamination. Cela permet de garder en mémoire l'environnement lumineux vu par le dispositif de détection.

30 Les résultats de contamination peuvent être donnés pour plusieurs catégories, en particules/cm², sous forme de graphiques temporels.

La figure 6 représente ainsi un exemple de courbes de suivi de la contamination surfacique. Les courbes 610, 620, 630, 640, 650 représentent respectivement l'évolution dans le temps du nombre de particules par cm² sur la surface d'analyse, ayant des tailles respectivement

supérieures à 5µm, 15µm, 25µm, 50 et 100µm. On peut noter que sur cette surface d'analyse, la présence de particules de plus de 50µm est très faible tout le long du suivi. Ces courbes sont obtenues en effectuant plusieurs balayages à intervalles réguliers et programmables par l'utilisateur ; ces intervalles peuvent être de quelques minutes, par exemple 10 à 15 minutes, pour un fonctionnement en continu, ou plus espacés, par exemple toutes les heures. Le premier balayage caractérise l'état de pollution initial de la surface et est l'origine des courbes de suivi. Les balayages suivants vont permettre de suivre l'évolution de la contamination par rapport à ce premier balayage. Sur ces courbes, on observe par exemple une chute importante de quantité de particules par cm² le 17/06/2014 avant 15h30 (référence 611); cette chute brutale correspond à un nettoyage de la surface d'analyse. Puis au cours de temps, la quantité de particules par cm² augmente, ce qui correspond à l'accumulation des particules sur la surface d'analyse. A l'instant T, un balayage est en cours ; il est possible de suivre son évolution sur l'affichage 670. L'affichage 670 représente la surface d'analyse, la région 671 de l'affichage 671 représente la région de la surface de collecte déjà balayée et la région 672 de l'affichage 671 représente la région qui n'a pas encore été balayée.

En parallèle de chaque balayage, une mesure de bruit peut être réalisée. La valeur est rapportée en parallèle des valeurs de contamination. Cela permet de garder en mémoire l'environnement lumineux vu par le dispositif lors de la mesure. En effet, lors de l'utilisation, il pourrait y avoir des variations importantes du bruit de fond rendant les résultats erronés par exemple si le capteur est saturé par le bruit lumineux ambiant empêchant toute acquisition.

Un des avantages de l'invention est que la surface peut être parfaitement propre ou un peu endommagée, le suivi de la contamination n'en sera pas affecté puisque le comptage peut se faire relativement à un état initial comme cela a été décrit précédemment; on accroît ainsi la durée d'utilisation du dispositif.

Des seuils d'alarme peuvent être paramétrés par l'utilisateur lorsque des seuils de contamination surfacique préalablement définis sont atteints.

Selon un exemple de réalisation illustré au moyen des figures 7 et 8, le procédé selon la présente description peut comprendre la détection de contamination surfacique d'une zone à environnement contrôlé au moyen d'un système dont un exemple est représenté sur la figure 7.

Le système de détection de contamination surfacique comprend un ordinateur de contrôle muni d'un logiciel de contrôle et un ensemble de dispositifs de détection de contamination surfacique, tels que décrits par exemple au moyen des figures 1A, 1B et 2. Dans le cas où l'unité électronique de contrôle (50, figure 1B) de chaque dispositif de détection commande de façon intégrée, l'ensemble du traitement des images, l'ordinateur de contrôle pourra être utilisé pour

l'affichage et l'interface avec l'utilisateur. La liaison entre chacun des dispositifs de détection et l'ordinateur de contrôle peut se faire de façon connue de façon filaire ou non filaire.

La figure 8 illustre selon un exemple l'agencement de dispositifs de détection de contamination surfacique dans une zone à environnement contrôlé, par exemple une salle propre.

5 La disposition des dispositifs de détection se fait avantageusement en fonction de la disposition de la salle, des éléments sensibles à protéger de la pollution particulaire et des sources de contamination potentielle comme par exemple les déplacements des opérateurs représentés sur la figure 8 par des flèches. Ainsi dans l'exemple de la figure 8, des dispositifs de détection de la contamination surfacique 101 à 112 sont placés dans une zone à environnement contrôlé 200
10 autour de zones sensibles Z1, Z2, Z3 qui se trouvent par exemple au niveau d'une table 203, d'étagères 202, de machines 201, 204 et autour des déplacements des opérateurs (représentés par des flèches). Chacun des dispositifs de détection peut être agencé pour donner à la surface de collecte une inclinaison représentative de l'inclinaison des surfaces sensibles de la zone à environnement contrôlé. Une modélisation précise de la contamination dans le temps et l'espace
15 est ainsi possible.

Bien que décrite à travers un certain nombre d'exemples de réalisation détaillés, les systèmes et procédés de détection de contamination particulaire sédimentée selon la présente description comprennent différentes variantes, modifications et perfectionnements qui apparaîtront de façon évidente à l'homme de l'art, étant entendu que ces différentes variantes,
20 modifications et perfectionnements font partie de la portée de l'invention, telle que définie par les revendications qui suivent.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de détection de la contamination surfacique par des particules évoluant en air libre dans une zone à contrôler (200) comprenant :
 - l'agencement dans la zone à contrôler d'au moins une surface de collecte (10),
5 fixe, recevant des particules sur l'une de ses faces (11);
 - pour chaque surface de collecte (10), l'éclairage d'une région de ladite surface de collecte au moyen d'un faisceau d'éclairage émis par une source d'éclairage (34, 35) située dans une tête optique (30), ladite tête optique étant disposée du côté de la surface de collecte opposé à la face de réception (11) des particules;
 - 10 - la formation d'une image d'une surface d'analyse élémentaire (13i) de la région éclairée au moyen d'un système optique imageur (38) agencée dans la tête optique (30), chaque particule sédimentée sur la surface d'analyse élémentaire (13i) émettant un signal lumineux rétrodiffusé;
 - le déplacement de la tête optique (30) afin de former un balayage selon les deux
15 directions de la surface de collecte et en chaque point du balayage, une image de la surface d'analyse élémentaire;
 - le traitement des images des surfaces d'analyse élémentaires acquises aux différents points du balayage de telle sorte à détecter les particules sur l'ensemble de la surface de collecte.
- 20 2. Procédé de détection de la contamination surfacique selon la revendication 1, dans lequel le faisceau d'éclairage est orienté de telle sorte que le faisceau résultant de la réflexion spéculaire du faisceau d'éclairage sur la surface de collecte (10) ne pénètre pas dans le système optique imageur (38).
3. Procédé de détection de la contamination surfacique selon la revendication 1, dans
25 lequel le déplacement de la tête optique est fait de telle sorte à former des surfaces d'analyse élémentaires (13i) juxtaposées et disjointes recouvrant l'ensemble de la surface de collecte (10).
4. Procédé de détection de la contamination surfacique selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant, pour chaque formation d'une image d'une surface
30 d'analyse élémentaire, l'acquisition d'une première image de la surface d'analyse élémentaire au moyen du système optique imageur avec l'éclairage, l'acquisition d'une

deuxième image de la surface d'analyse élémentaire au moyen du système optique imageur sans l'éclairage, la soustraction des deux images pour former l'image de la surface d'analyse élémentaire.

5. Procédé de détection de la contamination surfacique selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant, pour chaque image formée d'une surface d'analyse élémentaire, l'estimation d'un niveau de seuil et la détection des points de l'image présentant une intensité supérieure au niveau de seuil pour la détection des particules et la détermination de leurs tailles.
6. Procédé de détection de la contamination surfacique selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant en outre le suivi temporel des particules détectées.
7. Procédé de détection de la contamination surfacique selon la revendication 6 comprenant un premier balayage de la surface de collecte effectué pour caractériser l'état de pollution initial de la surface, à l'origine du suivi temporel.
8. Procédé de détection de la contamination surfacique d'une zone à environnement contrôlée comprenant la détection de la contamination surfacique selon l'une quelconque des revendications précédentes, à différents endroits de la zone.
9. Dispositif de détection de contamination surfacique (100) comprenant :
 - une surface de collecte (10) fixe, destinée à recevoir des particules évoluant en air libre sur l'une de ses faces (11);
 - une tête optique (30) agencée du côté de la surface de collecte opposé à la face de réception (11) des particules et comprenant :
 - un système optique imageur (38) permettant la formation d'une image d'une surface d'analyse élémentaire (13i) de la surface de collecte (10) sur une surface de détection (33);
 - une source d'éclairage (34, 35) permettant l'émission d'au moins un faisceau d'éclairage adapté pour recouvrir ladite surface d'analyse élémentaire (13i);
 - des moyens de déplacement (40) de la tête optique (30) permettant un balayage selon les deux directions de la surface de collecte (10) et en chaque point du balayage, la formation d'une image de la surface d'analyse élémentaire;

- une unité électronique de commande (50) pour le traitement des signaux issus du système optique imageur.

10. Dispositif de détection de contamination surfacique (100) selon la revendication 9, dans lequel le faisceau d'éclairage est orienté de telle sorte que le faisceau résultant de la réflexion spéculaire du faisceau d'éclairage sur la surface de collecte (10) ne pénètre pas dans le système optique imageur (38).
5
11. Dispositif de détection de contamination surfacique (100) selon l'une des revendications 9 ou 10, dans lequel la source d'éclairage comprend au moins deux sources élémentaires (34, 35) agencées de part et d'autre du système optique imageur et dont l'émission couvre ladite surface élémentaire (13i).
10
12. Dispositif de détection de contamination surfacique (100) selon l'une des revendications 9 à 11, dans lequel le système optique imageur (38) comprend un objectif (31) et un détecteur bidimensionnel (32) présentant une surface de détection (33) dont les dimensions définissent les dimensions de la surface d'analyse élémentaire (13i).
- 15 13. Dispositif de détection de contamination surfacique (100) selon l'une des revendications 9 à 12, dans lequel le système optique imageur (38) comprend un filtre spectral (36) adapté à ne transmettre que la bande spectrale d'émission de la source d'éclairage.
- 20 14. Système de détection de contamination surfacique d'une zone à environnement contrôlée comprenant un ensemble de dispositifs de détection de contamination surfacique (101 – 112) selon l'une quelconque des revendications 9 à 13 et une unité de contrôle (60) des dispositifs.

1/9

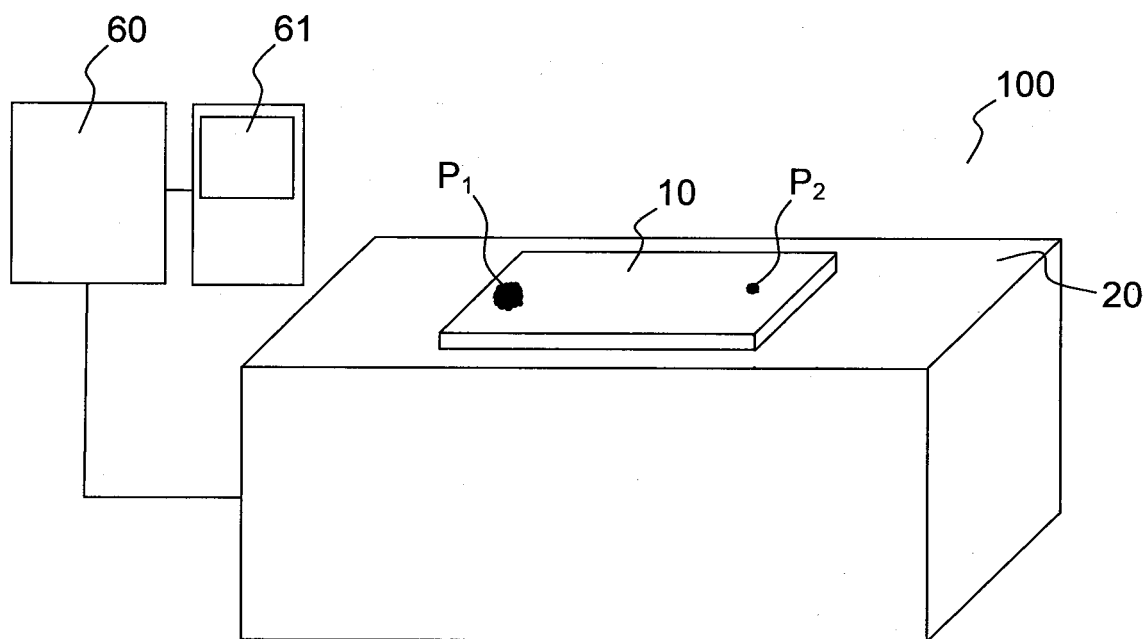


FIG. 1A

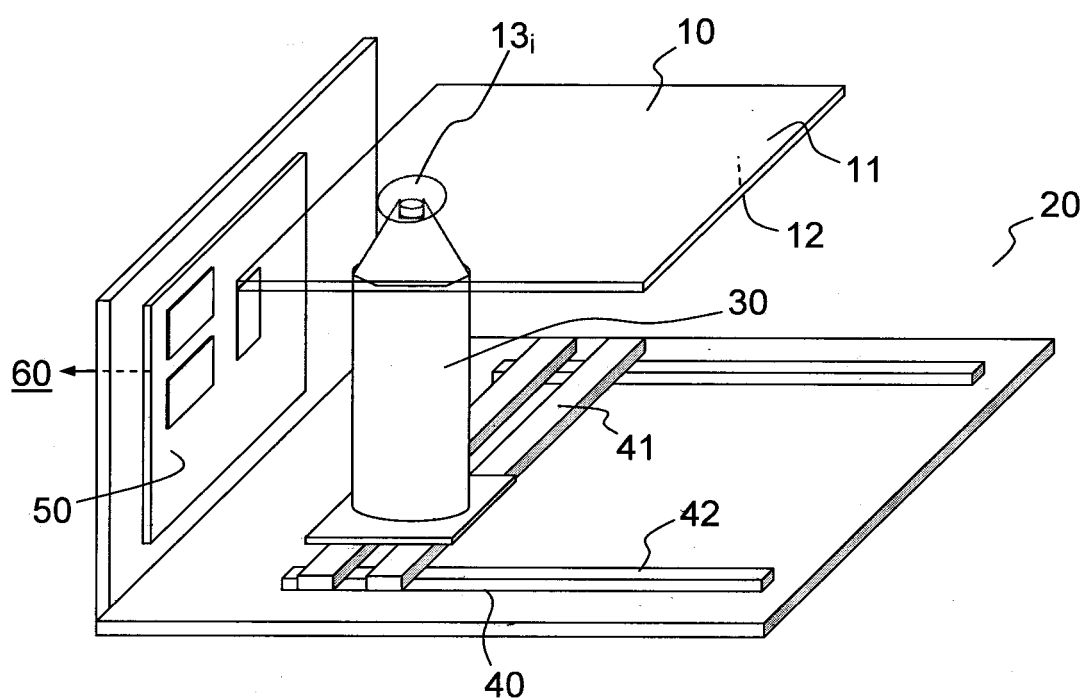


FIG. 1B

2/9

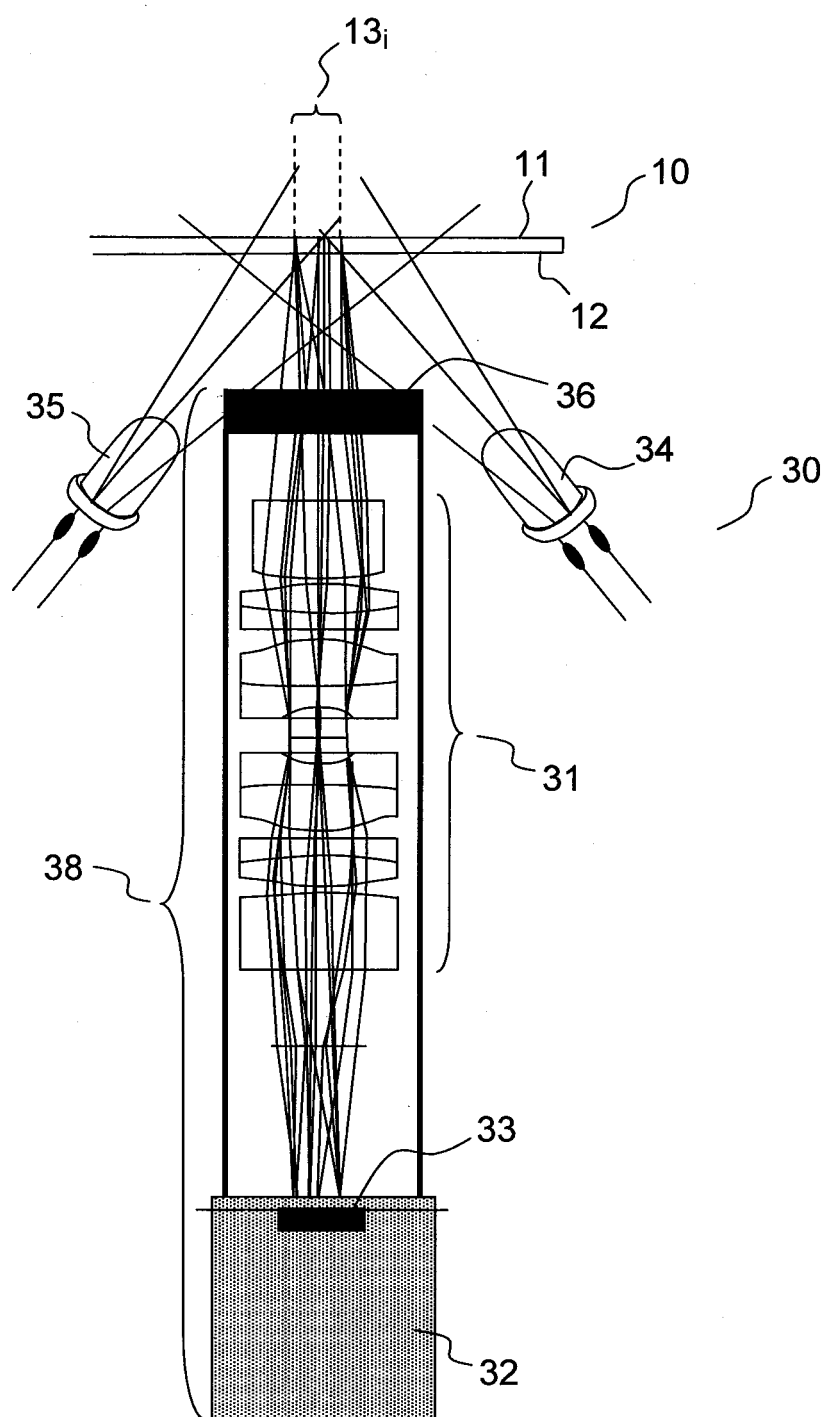


FIG.2

3/9

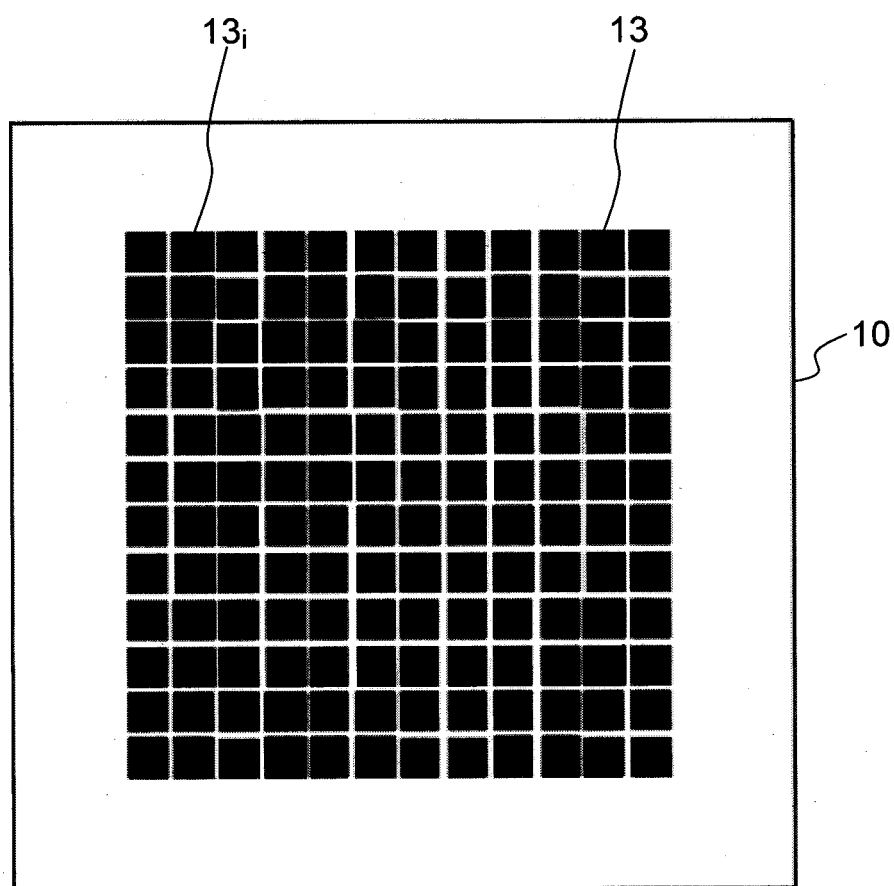


FIG.3

4/9

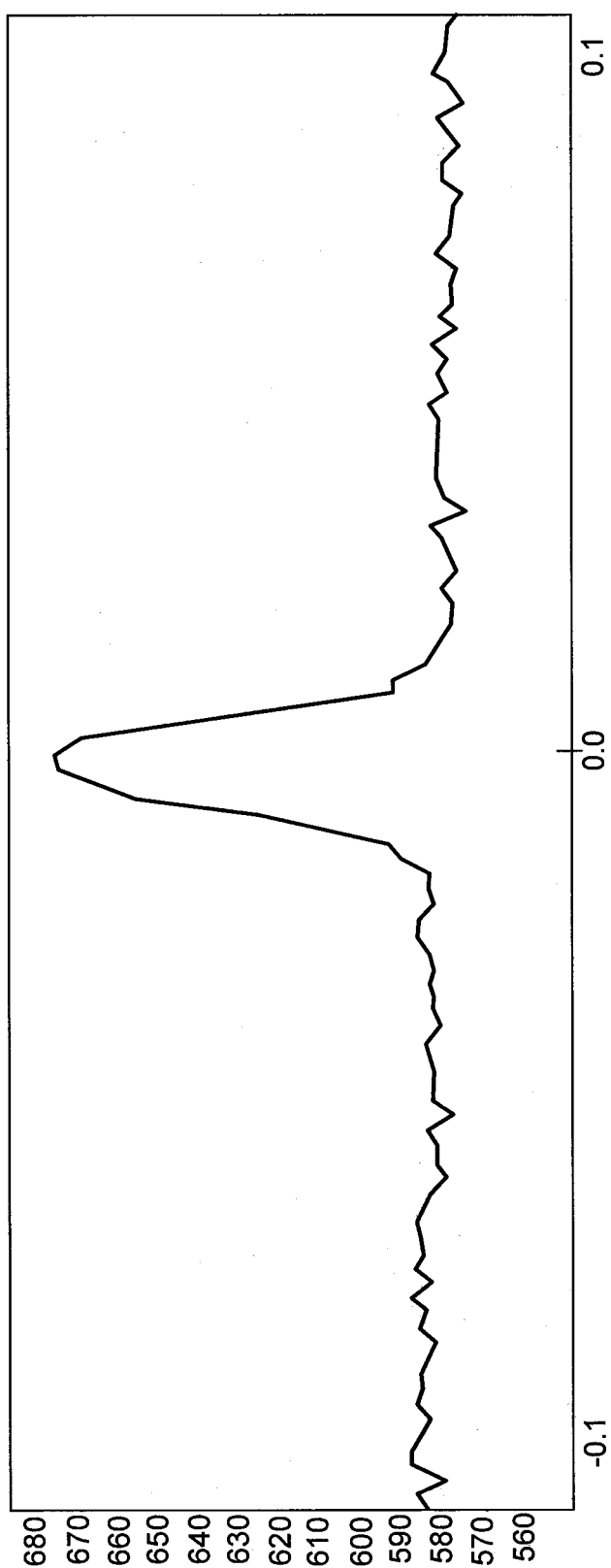


FIG.4A

5/9

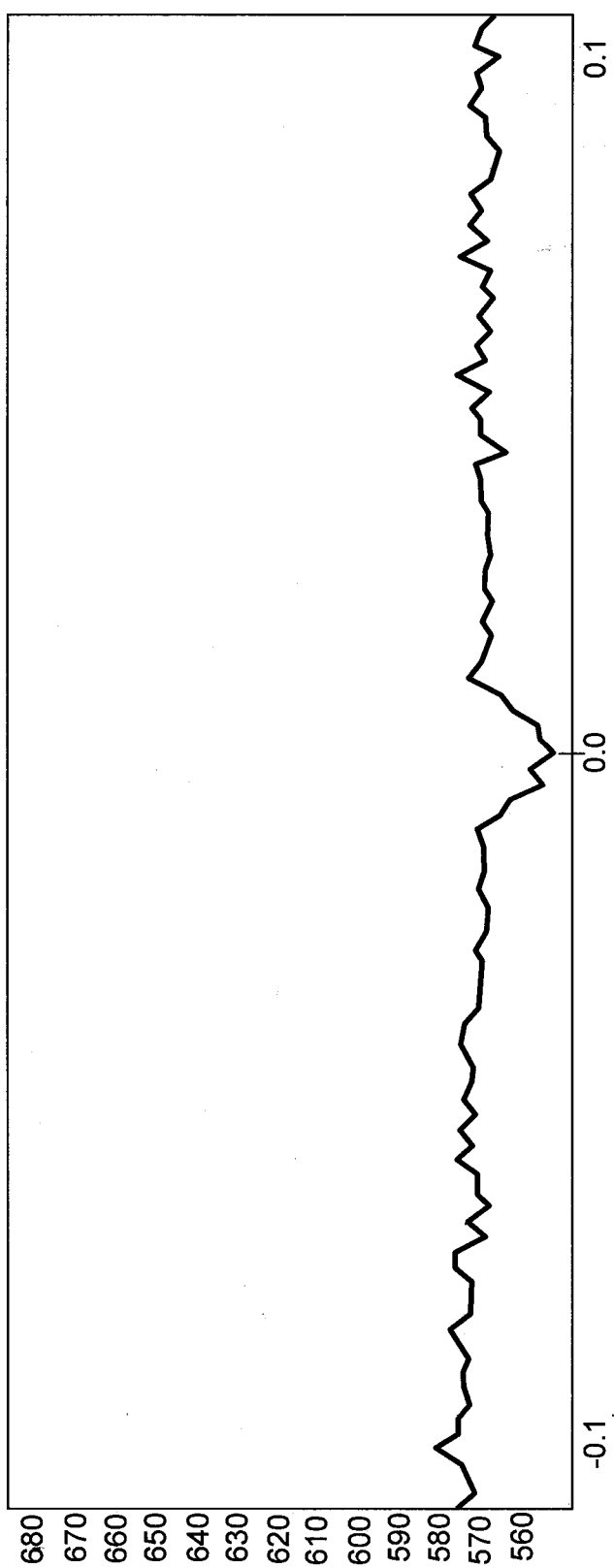


FIG.4B

6/9

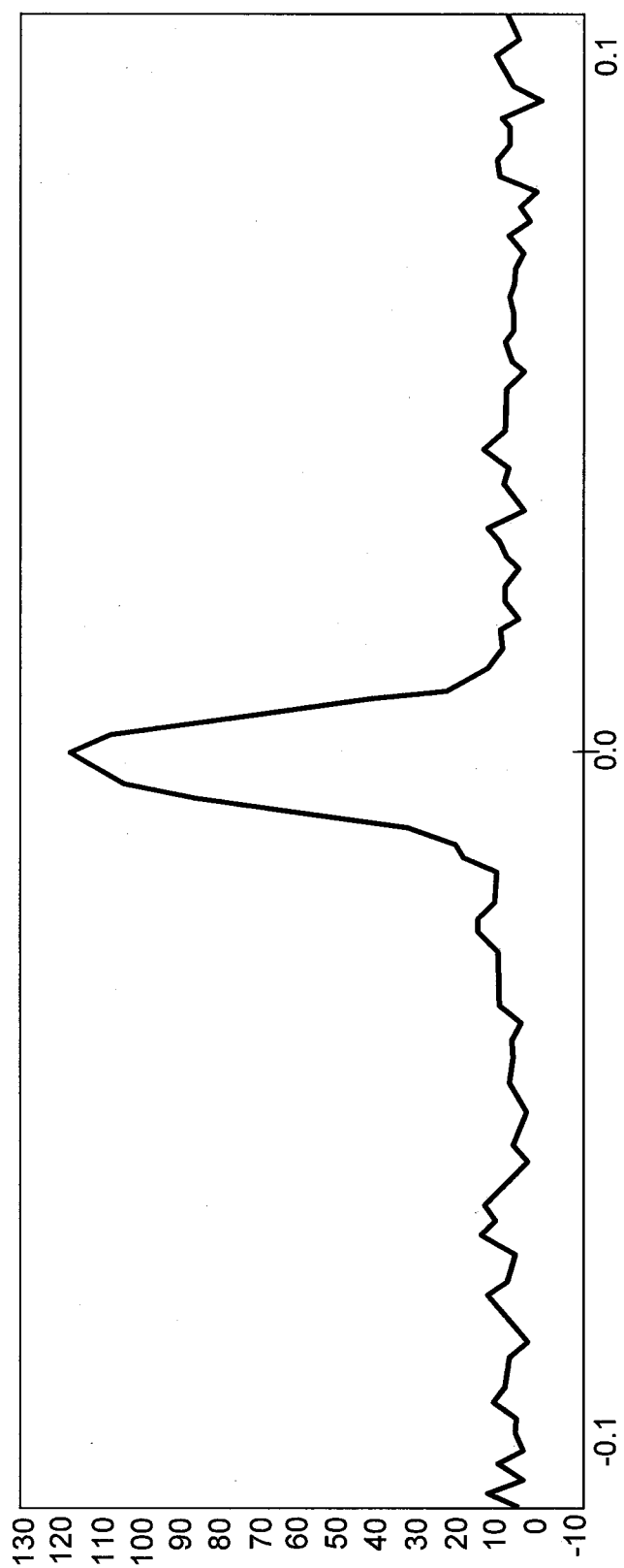


FIG.4C

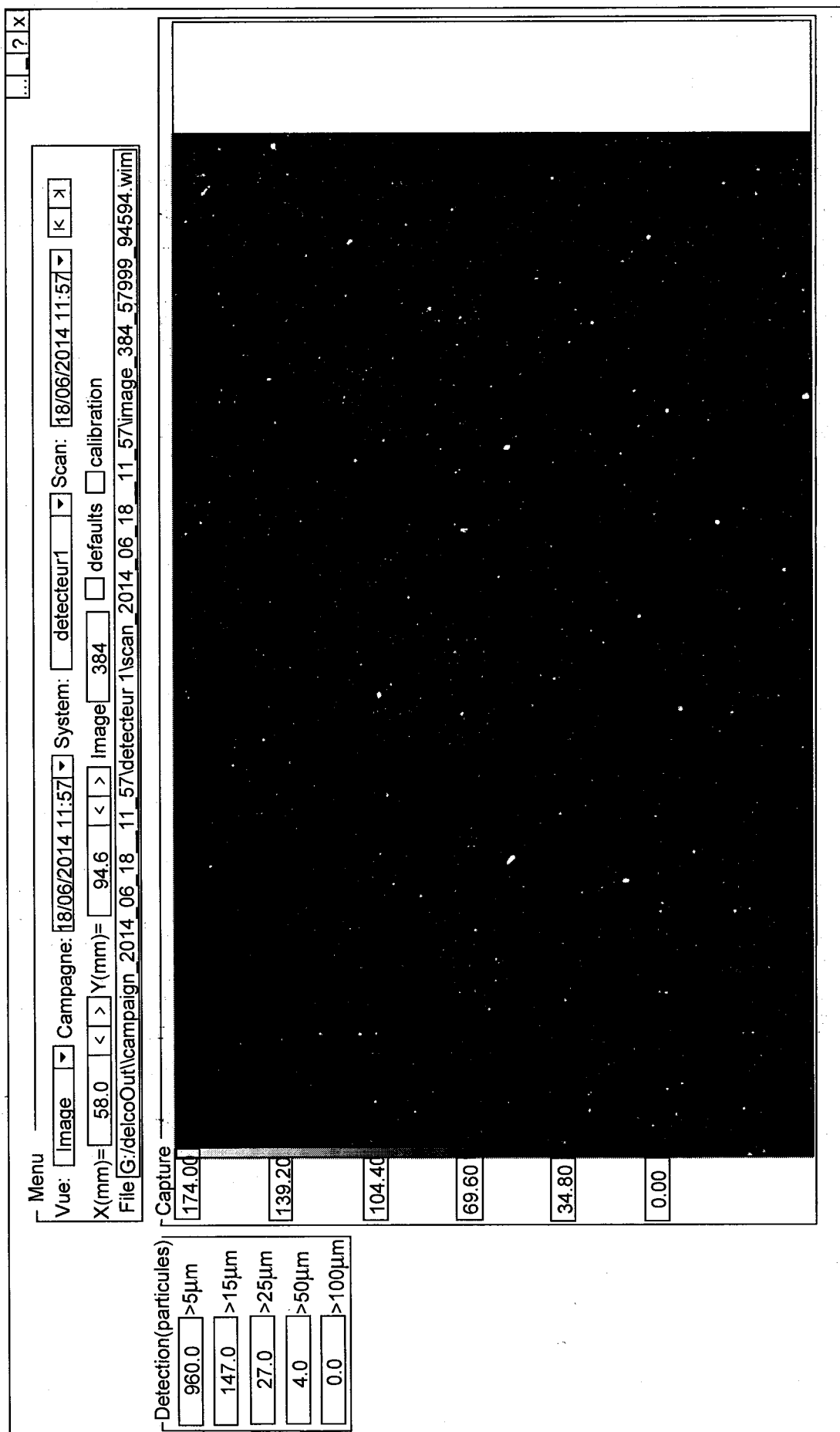


FIG.5

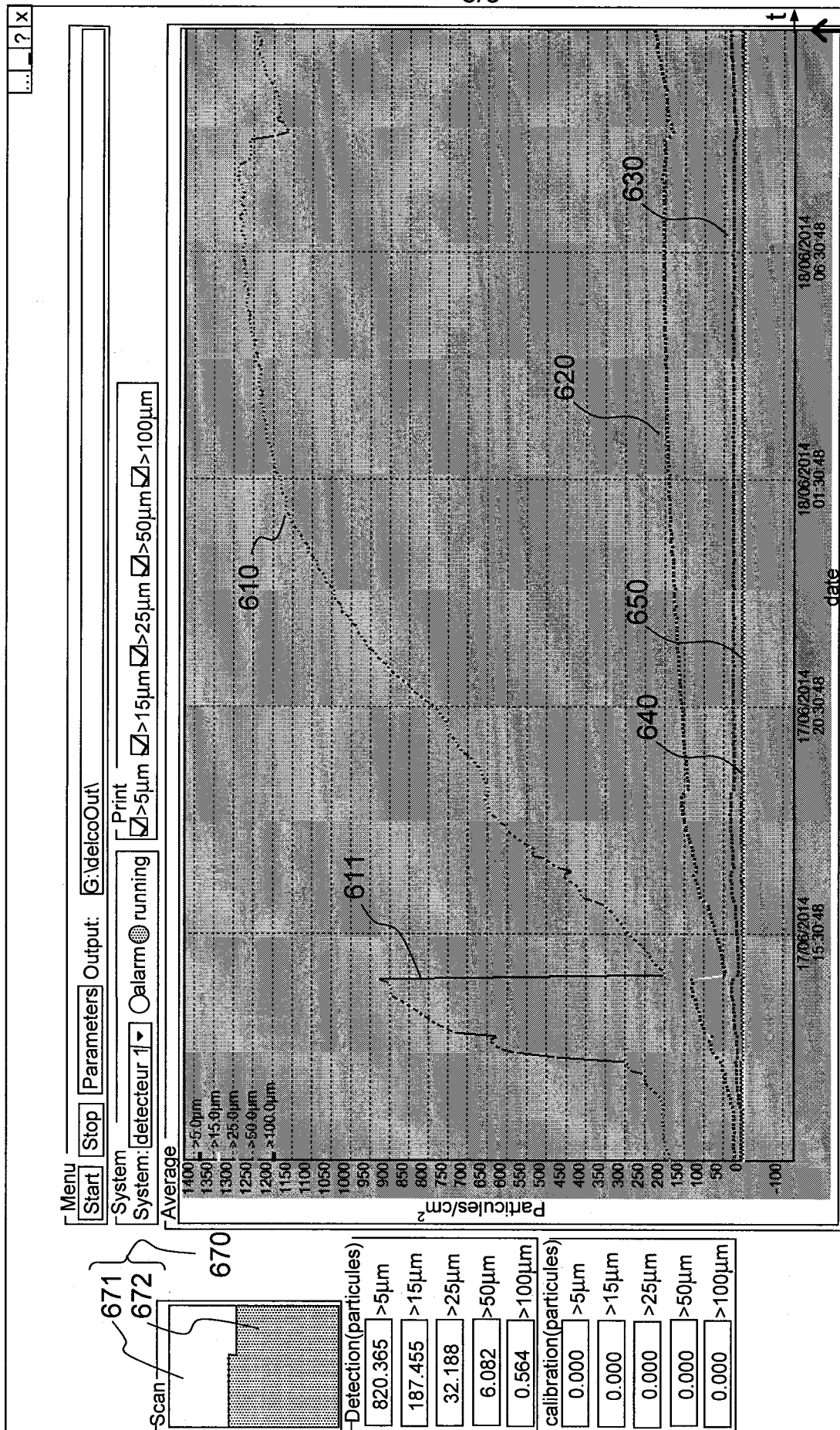


FIG.6

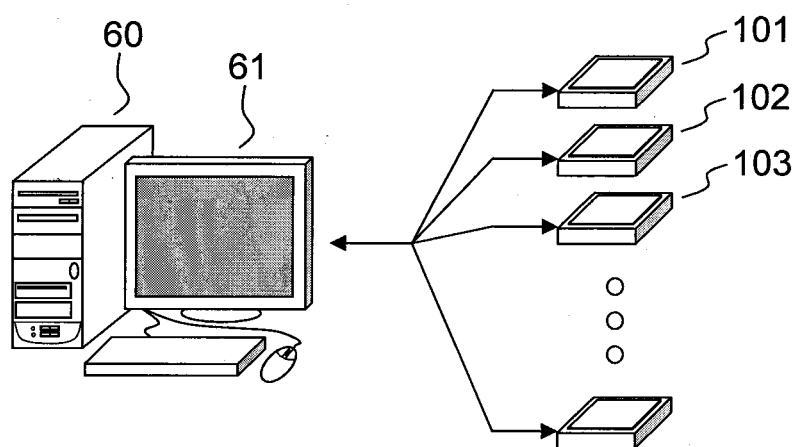


FIG.7

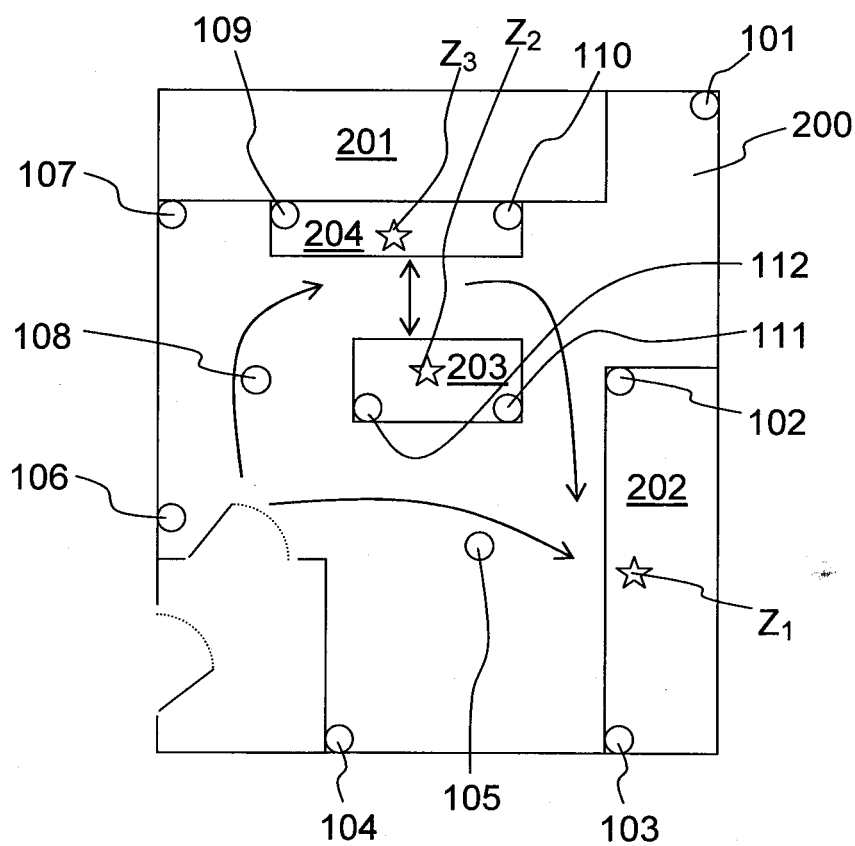


FIG.8



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 806392
FR 1550614

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	NL 1 039 263 C (ZEVENAAR ELEKTRONICA & SENSOREN B V; STAM HUGO; FRANSSEN GERARD JOHANN) 26 juin 2013 (2013-06-26) * abrégé; figures 1-3 * * page 7, ligne 5 - ligne 25 * * page 8, ligne 32 - page 9, ligne 1 * * page 12, ligne 27 - page 13, ligne 13 * * page 14, ligne 1 - ligne 3 * * page 14, ligne 14 - ligne 16 *	1-14	G01N21/88 G01N15/10
X	WO 2006/014925 A2 (CELLULAR TECHNOLOGY LTD [US]; LEHMANN PAUL V [US]; KARULIN ALEXEY Y [U] 9 février 2006 (2006-02-09) * revendication 9; figures 3-8,10 * * page 5, ligne 15 - ligne 22 * * page 5, ligne 33 - ligne 37 * * page 8, ligne 15 - ligne 34 * * page 10, ligne 10 - ligne 15 *	9-14	
A	US 6 024 920 A (CUNANAN CHRIS [US]) 15 février 2000 (2000-02-15) * abrégé; figures 1,2,5 *	1-14	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	US 2008/297798 A1 (WYSSEN HANS [CH]) 4 décembre 2008 (2008-12-04) * abrégé; figure 7 * * alinéa [0093] * * phrase 0097 - phrase 0102 *	1-14	G01N
A	GB 2 422 202 A (UNIV EAST ANGLIA [GB]) 19 juillet 2006 (2006-07-19) * abrégé; figures 2-4 *	1-14	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
26 novembre 2015		Lefortier, Stéphanie	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1550614 FA 806392

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

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **26-11-2015**

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

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
NL 1039263	C	26-06-2013	AUCUN	
WO 2006014925	A2	09-02-2006	US 2009141132 A1	04-06-2009
			WO 2006014925 A2	09-02-2006
US 6024920	A	15-02-2000	AU 740150 B2	01-11-2001
			AU 3751699 A	08-11-1999
			CA 2329236 A1	28-10-1999
			EP 1078242 A1	28-02-2001
			JP 2003527558 A	16-09-2003
			US 6024920 A	15-02-2000
			WO 9954710 A1	28-10-1999
US 2008297798	A1	04-12-2008	CA 2620660 A1	25-01-2007
			US 2008297798 A1	04-12-2008
			WO 2007009863 A2	25-01-2007
GB 2422202	A	19-07-2006	AUCUN	