



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:  
**12.04.2017 Bulletin 2017/15**

(51) Int Cl.:  
**B07C 5/10 (2006.01)**

(21) Numéro de dépôt: **16192458.4**

(22) Date de dépôt: **05.10.2016**

(84) Etats contractants désignés:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Etats d'extension désignés:  
**BA ME**  
Etats de validation désignés:  
**MA MD**

(71) Demandeur: **SNCF Réseau**  
**93418 La Plaine Saint-Denis (FR)**

(72) Inventeur: **VOIVRET, Charles**  
**77400 Thorigny sur Marne (FR)**

(74) Mandataire: **Delaveau, Sophie**  
**Lexando & Caracteq**  
**14, rue Rodier**  
**75009 Paris (FR)**

(30) Priorité: **07.10.2015 FR 1502087**

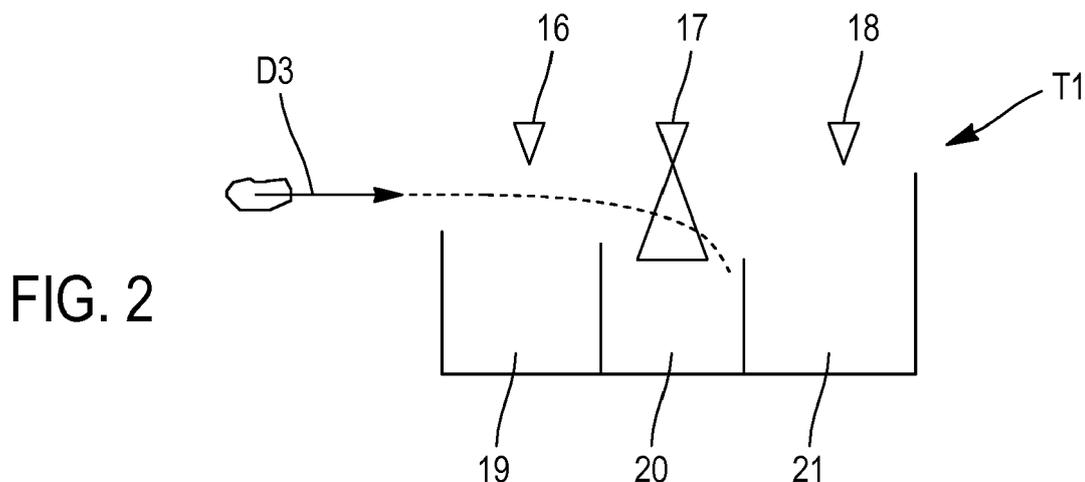
(54) **PROCÉDÉ DE TRI DE PARTICULES ET DISPOSITIF ASSOCIÉ**

(57) L'invention porte principalement sur un procédé de tri de particules, qui est essentiellement caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes :

- d'alimentation en particules (2),
- de passage des particules dans la zone d'acquisition d'un dispositif optique de prise d'images,
- d'évaluation de la déformation morphologique de chaque particule par comparaison entre la morphologie de chaque particule à partir de la prise d'image dudit dispositif optique et la morphologie d'une population de particules de référence,

- de classification de la particule déformée dans une catégorie parmi plusieurs catégories préalablement définies, et
- de guidage contrôlé de la particule classifiée (2) dans un contenant de réception de la catégorie de particules concernées (19,20,21).

L'invention porte également sur un dispositif de tri associé et trouve notamment application dans le triage et/ou le renouvellement des grains de ballast de voie ferrée.



## Description

**[0001]** L'invention concerne principalement un procédé de tri de particules et un dispositif associé pour mettre en oeuvre ce procédé.

**[0002]** L'invention trouve notamment application pour trier les grains de ballast de voie ferrée et pour renouveler un ballast en place.

**[0003]** Le tri de particules consiste à séparer des particules par classes de propriété similaires. Les classes de propriétés peuvent être par exemple déterminées par la caractérisation de la morphologie des particules.

**[0004]** C'est le cas pour trier des grains de ballast de voie ferrée, où l'on utilise généralement la technique du tamisage consistant à faire passer les grains dans des tamis dont la forme et la taille des perçages sont contrôlés. La courbe granulométrique du granulat est évaluée selon la répartition massique des grains retenus entre deux tamis successifs. Cette mesure consiste ainsi à caractériser des grains à trois dimensions par des orifices de passage à deux dimensions.

**[0005]** Cette mesure granulométrique normalisée pour de nombreuses applications telles que des applications routières et ferroviaires est efficace et simple à mettre en oeuvre tant que l'évaluation de la morphologie précise des grains n'est pas requise.

**[0006]** Dans le cas du ballast de voie ferrée, la morphologie des grains constituant le ballast, dont la taille caractéristique est généralement comprise entre 2 et 5 centimètres, a un impact important sur la qualité de ce ballast. Le ballast forme un lit de particules sur lequel la voie ferrée est en appui de contact, et doit permettre d'assurer la bonne tenue de cette voie ferrée en présentant des qualités de stabilité et de drainage des eaux de pluie.

**[0007]** La forme des grains de ballast peut jouer sur les performances mécaniques du ballast. C'est notamment le cas pour des grains dont la taille générale reste inchangée mais qui ont perdu de leur caractère anguleux et qui vont générer une résistance plus faible au cisaillement. De façon plus générale, les différences entre un ballast neuf et un ballast usé résident principalement sur des modifications de propriétés morphologiques telles que des arêtes vives ou la rugosité de contact, et non sur la taille des grains.

**[0008]** Il s'en suit que l'évaluation de l'état d'un ballast ne peut pas être précisément caractérisée par des mesures granulométriques par tamisage.

**[0009]** Outre l'évaluation de la morphologie de grains, il s'agit également de trier les grains pour les séparer par classes de morphologie similaire.

**[0010]** Il peut s'agir à cet effet d'un tri simple dont l'objectif est de séparer les grains selon leur degré d'usure ou, dans le cas du ballast, d'isoler des grains de ballast en place dont la morphologie est acceptable, pour les mélanger à du ballast neuf en vue d'effectuer un renouvellement du ballast.

**[0011]** L'invention vise ainsi un procédé de tri de particules basé sur l'évaluation de la forme de ces particules.

**[0012]** L'invention vise également un dispositif permettant de mettre en oeuvre un tel procédé.

**[0013]** L'invention vise en outre un procédé de renouvellement de ballast et une machine pour réaliser le procédé de tri.

**[0014]** À cet effet, le procédé de tri de particules de l'invention est essentiellement caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes :

- 5
- 10 - d'alimentation en particules,
- de passage des particules dans la zone d'acquisition d'un dispositif optique de prise d'images,
- 15 - d'évaluation de la déformation morphologique de chaque particule par comparaison entre la morphologie de chaque particule appréciée à partir de la prise d'image dudit dispositif optique, et la morphologie d'une ou de plusieurs populations de particules de référence,
- 20 - de classification de la particule évaluée parmi au moins deux catégories préalablement définies, et
- 25 - de guidage contrôlé de la particule classifiée dans un contenant de réception de la catégorie de particules concernées.

**[0015]** Le procédé de l'invention peut également comporter les caractéristiques optionnelles suivantes considérées isolément ou selon toutes les combinaisons techniques possibles :

- 30
- 35 - l'évaluation de la déformation morphologique de chaque particule est réalisée par rapport à plusieurs populations de particules de référence à partir de l'acquisition d'un nuage de points à trois dimensions de la dite particule par le dispositif optique et de l'exploitation de ce nuage de points pour la détermination des coefficients de projection de la particule sur une base de projection, et comparaison de ces coefficients avec ceux caractérisant chaque population de particules de référence.
- 40
- 45 - le procédé comporte une étape de démêlage des particules assurant le passage des particules à l'unité dans la zone d'acquisition du dispositif optique.
- 50 - les particules passent en vol dans la zone d'acquisition du dispositif optique.
- 55 - préalablement à leur passage devant le dispositif optique, les particules sont propulsées à une vitesse contrôlée vers la zone d'acquisition dudit dispositif optique.
- chaque particule classifiée est guidée vers le contenant de réception de la catégorie de particules con-

cernées par orientation ou déviation de sa trajectoire par soufflage ou aiguillage mécanique.

- les particules passant dans la zone d'acquisition d'un dispositif optique de prise d'images sont issues d'un tri préalable par criblage.

**[0016]** L'invention porte également sur un dispositif pour mettre en oeuvre le procédé précédemment défini et est essentiellement caractérisé en ce que qu'il comporte au moins :

- une alimentation en particules,
- un système de passage contrôlé des particules dans la zone d'acquisition d'un dispositif optique de prise d'image,
- un analyseur pour évaluer la déformation morphologique de chaque particule par comparaison entre la morphologie de chaque particule à partir de la prise d'image dudit dispositif optique et la morphologie d'une ou de plusieurs populations de particules de référence, et classifier la particule déformée dans une catégorie parmi plusieurs catégories préalablement définies,
- un trieur pour guider de façon contrôlée la particule classifiée dans un contenant de réception de la catégorie de particules concernées.

**[0017]** Le dispositif de l'invention peut également comporter les caractéristiques optionnelles suivantes considérées isolément ou selon toutes les combinaisons techniques possibles :

- le système de passage contrôlé des particules dans la zone d'acquisition du dispositif optique comporte un démêleur permettant de séparer les particules pour assurer leur passage à l'unité dans la zone d'acquisition,
- le système de passage contrôlé des particules dans la zone d'acquisition du dispositif optique comporte, en aval du démêleur, un propulseur qui accélère et contrôle la vitesse des particules avant leur passage en vol dans la zone d'acquisition du dispositif optique.
- le trieur oriente ou dévie chaque particule en mouvement par basculement d'au moins un clapet mobile en rotation vers le contenant de réception de la catégorie de particules concernées.
- par exemple, le trieur comporte un nombre  $n$  de bras mobiles en alignement disposés chacun en regard d'un contenant de réception d'une catégorie de particules, et chaque bras mobile est apte à être action-

né en pivotement pour dévier la trajectoire d'une particule passant entre le dit bras mobile et le contenant concerné.

- 5 - alternativement, le trieur oriente ou dévie la trajectoire de chaque particule vers le contenant de réception de la catégorie de particules concernées par soufflage d'air sous pression contrôlé.
- 10 - par exemple, le trieur comporte un nombre  $n$  de buses de soufflage en alignement disposées chacune en regard d'un contenant de réception d'une catégorie de particule, et chaque buse est apte à être activée pour souffler de l'air sous pression sur une particule passant entre ladite buse et le contenant concerné en déviant la trajectoire de ladite particule vers ledit contenant.

**[0018]** L'invention porte en outre sur l'utilisation du procédé précédemment décrit pour trier les grains d'un ballast de voie ferrée et classer les grains de ballast selon leur état de déformation morphologique.

**[0019]** L'invention porte également sur un procédé de renouvellement d'un ballast de voie ferrée qui est essentiellement caractérisé en ce qu'il comporte au moins les étapes :

- d'enlèvement du ballast en place,
- 30 - de triage des grains de ballast selon le procédé de tri préalablement défini,
- d'isolement des grains de ballast dont la déformation morphologique est acceptable,
- 35 - de mélange des grains de ballast isolés à l'étape précédente avec du ballast neuf, et
- de mise en place du mélange obtenu à l'étape précédente sur la voie ferrée.
- 40

**[0020]** L'invention porte enfin sur une machine de tri de ballast qui comporte au moins un dispositif de tri de particules tel que précédemment défini et un système d'évacuation des particules de chaque contenant de réception

**[0021]** D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est donnée ci-dessous, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux figures annexées parmi lesquelles :

- La figure 1 est une représentation schématique en perspective d'une partie des étapes du procédé de l'invention selon plusieurs variantes et en particulier :
- 55 - la figure 1A est une représentation schématique

- de l'étape d'alimentation en particules,
- la figure 1B est une représentation schématique de l'étape de démêlage,
  - la figure 1C est une représentation schématique d'une première variante de l'étape de propulsion d'une particule vers la zone d'acquisition d'un dispositif optique,
  - la figure 1D est une représentation schématique d'une seconde variante de l'étape de propulsion d'une particule vers la zone d'acquisition d'un dispositif optique,
  - la figure 1E est une représentation schématique du passage d'une particule en vol dans la zone d'acquisition du dispositif optique, de l'évaluation de la déformation morphologique de la particule et de la classification concomitante de cette particule dans une catégorie selon une première variante,
  - la figure 1F est une représentation schématique du passage d'une particule en vol dans la zone d'acquisition du dispositif optique, de l'évaluation de la déformation morphologique de la particule et de la classification concomitante de cette particule dans une catégorie selon une seconde variante,
  - la figure 2 est une représentation schématique de l'étape de guidage contrôlée de la particule classifiée dans un contenant de réception d'une catégorie de particules selon le procédé de l'invention et selon une première variante,
  - la figure 3 est une représentation schématique de l'étape de guidage contrôlée de la particule classifiée dans un contenant de réception d'une catégorie de particules selon le procédé de l'invention et selon une seconde variante,
  - la figure 4 est une représentation schématique de l'étape de guidage contrôlée de la particule classifiée dans un contenant de réception d'une catégorie de particules selon le procédé de l'invention et selon une troisième variante, et
  - la figure 5 est une représentation schématique de l'étape de guidage contrôlée de la particule classifiée dans un contenant de réception d'une catégorie de particules selon le procédé de l'invention et selon une quatrième variante.

**[0022]** L'exemple ci-après se rapporte à un procédé et dispositif de tri de grains de ballast mais s'applique également à n'importe quelles particules d'une taille pouvant

varier de quelques millimètres et plusieurs dizaine de centimètres. À titre d'exemple, les particules faisant l'objet du procédé et dispositif de tri de l'invention peuvent être tout type de matériau géologique peu ou pas déformable, des gélules de médicament, ou encore des aliments tels que des fruits, légumes, pâtes ....

**[0023]** En référence à la figure 1A, le système d'alimentation 1 en grains de ballast 2 peut être une trémie 3 alimentée une fois ou en continue. Alternativement et non représenté, le système d'alimentation en grains de ballast peut être un tapis roulant.

**[0024]** En référence à la figure 1B, les grains 2 issus de la trémie 2 sont versés sur un démêleur 4 pour être séparés les uns des autres. Le démêleur 4 permet d'assurer l'unicité de la présentation des grains 2 au dispositif optique qui sera décrit plus loin pour optimiser la qualité de données de traitement. L'acquisition simultanée de grains reste possible mais complique le traitement des données.

**[0025]** Une fois démêlés et présentés un par un, chaque grain 2 est propulsé vers la zone d'acquisition d'un dispositif optique. Cette propulsion permet d'accélérer la vitesse du grain 2 pour conférer au grain 2 un vecteur vitesse dont la direction et l'amplitude de la vitesse sont contrôlées. Il s'agit en d'autres termes de chercher à s'affranchir le plus possible de la masse du grain 2 et de contrôler la vitesse initiale du grain 2 avant son passage devant le dispositif optique.

**[0026]** Selon une première variante représentée sur la figure 1C, chaque grain 2 en bout de ligne du démêleur 4 tombe sur un tapis roulant 5 à vitesse rapide et contrôlée pour assurer la propulsion du grain 2 vers la zone d'acquisition du dispositif optique.

**[0027]** Selon une seconde variante représentée sur la figure 1D, chaque grain 2 en bout de ligne du démêleur 4 tombe dans une canalisation en U 6 et est propulsé vers la zone d'acquisition du dispositif optique au moyen d'une buse de soufflage d'air sous pression 7.

**[0028]** Alternativement et non représenté, en bout de ligne du démêleur, chaque grain 2 peut tomber à la vertical, sans propulsion, vers la zone d'acquisition du dispositif optique.

**[0029]** Après propulsion ou sans propulsion, le grain 2 passe dans la zone d'acquisition d'un dispositif optique en lien avec un analyseur.

**[0030]** Le dispositif optique et l'analyseur assurent la mesure granulométrique automatisée pour caractériser la forme d'un grain par des données simples, puis le traitement de ces données capable de décrire statistiquement ce grain de façon à pouvoir comparer une population de grains à une autre.

**[0031]** La première étape consiste en l'acquisition d'un nuage de points à trois dimensions de la surface du grain à examiner. Cette acquisition du nuage de points à trois dimensions est réalisée par passage du grain dans la zone d'acquisition du dispositif optique.

**[0032]** Une fois propulsé et en référence à la figure 1E, le grain 2 traverse la zone d'acquisition 8 d'un dispositif

optique 9. Dans ce cas, la zone d'acquisition 8 consiste en des nappes de laser fixe qui mesurent des nuages de points à deux dimensions, les empilements de ces nuages de points assurant la construction du nuage de points à trois dimensions.

**[0033]** Alternativement et comme représenté en figure 1F, le grain 2 est placé sur un support mobile en translation 10 apte à défilé dans les deux directions D1, D2 opposées. Le placement du grain 2 sur le support mobile 10 est par exemple réalisé en bout de démêleur 4 sans qu'il ne soit nécessaire d'utiliser un propulseur.

**[0034]** Lorsque le grain 2 à examiner est positionné sur le support mobile 10, ce dernier est actionné en translation par exemple dans la direction D1. Lorsque le grain 2 passe au niveau de la zone d'acquisition 11 du dispositif d'image 12, ce dispositif 12 collecte un premier nuage de points de la face 2a du grain 2 lui faisant face.

**[0035]** Une fois que le grain 2 a dépassé la zone d'acquisition 11, ce grain 2 est retourné sur le support mobile 10 qui est alors commandé en translation dans la direction opposée D2. Pour ce faire, on peut prévoir une spatule 13 qui se glisse sous le grain 2 pour le retourner.

**[0036]** Lorsque le grain 2 passe une seconde fois au niveau dans la zone d'acquisition, c'est alors une autre face 2b qui fait l'objet d'une acquisition pour collecter un second nuage de points.

**[0037]** La vitesse de passage du grain 2 dans la zone d'acquisition 11 est ajustée pour être compatible avec la vitesse d'acquisition du dispositif 12. Des algorithmes de fusion connus assurent ensuite la fusion de ces premier et second nuages de points pour obtenir un nuage de points unique à trois dimensions décrivant l'intégralité de la surface du grain 2.

**[0038]** La construction du nuage de points de la surface du grain nécessite uniquement qu'il y ait un recouvrement entre les prises d'images des faces concernées pour couvrir toute la surface du grain. Dans la majeure partie des cas, la prise d'image de deux faces du grain est suffisante et ce, quelle que soit la géométrie de ce grain 2. Néanmoins, dans les cas le nécessitant, on peut prévoir la prise d'image de plus de deux faces du grain 2. Dans cette hypothèse, le dispositif est modifié pour prévoir la prise d'image d'une troisième voire d'une quatrième face. À cet effet, et par exemple pour la prise d'image d'une troisième face du grain, on peut prévoir une seconde spatule qui, après le second passage du grain 2 dans la zone d'acquisition 11, permet de retourner de nouveau le grain qui transite dans la direction D1 vers la zone d'acquisition 11 pour subir une troisième acquisition. Tout autre dispositif permettant d'augmenter le nombre de prise d'images du grain 2 est à la portée de l'homme du métier.

**[0039]** Une fois obtenu un nuage de points à trois dimensions décrivant la surface du grain 2, une comparaison est opérée avec une ou plusieurs populations de grain de référence pour en déduire la déformation morphologique du grain 2 et la classification de ce grain 2.

**[0040]** Pour réaliser cette comparaison, on caractérise

la forme globale du grain 2 par le jeu de coefficients de projection C sur une base de projection [F]. Cette base de projection [F] est préalablement obtenue de la façon suivante.

5 **[0041]** On réalise l'acquisition de nuages de points à trois dimensions d'au moins un grain de référence, de préférence un grain de ballast neuf, de la même façon que celle décrite en référence aux figures 1E ou 1F. Pour une meilleure précision de la détermination de la base de projection [F], on fait l'acquisition de nuages de point d'une population p de grains de référence. Plus p est élevé, plus la représentativité sur la base [F] est grande.

10 **[0042]** On décrit ci-dessous l'obtention de la base de projection [F] à partir d'un grain unique, l'obtention de la base de projection [F] à partir d'une population p de grains de référence s'en déduisant.

15 **[0043]** On caractérise en premier lieu un nuage de points dit optimisé à partir du nuage de points en trois dimensions obtenu à l'étape d'acquisition préalablement explicitée. Pour ce faire, on réalise une succession d'opérations mathématiques.

20 **[0044]** Le nuage de points en trois dimensions obtenu à l'étape d'acquisition pour le grain de référence est un ensemble de  $N_p$  points, chacun de ces points étant décrit par un triplet de valeurs  $(x_i, y_i, z_i)$  en coordonnées cartésiennes. On transforme d'abord le champ de ces points en coordonnées sphériques  $(r_i(\theta, \phi))$  dans un repère centré sur le centre d'inertie de la particule. On réalise ensuite une interpolation sur un maillage à pas angulaires fixes comportant  $N_r$  sommets. On fait alors une rotation du nuage de points ainsi interpolés pour l'exprimer dans le repère des directions propres du tenseur d'inertie, les grains élanés sont alors tous orientés de la même manière. Puis, on réalise une interpolation sur une sphère dont les points sont uniformément répartis. Pour ce faire, la répartition uniforme des sommets à la surface d'une sphère est réalisée grâce à un algorithme itératif basé sur le repoussement des sommets de la sphère. Le nombre de sommets  $N_u$  choisi définit la précision avec laquelle la surface de la sphère est discrétisée. On choisit de manière arbitraire  $N_r = N_u = N = 500$ . Suite à cette interpolation, d'une particule à l'autre, la seule variable restante est la valeur du rayon du grain pour une direction donnée. Une particule se réduit donc à un vecteur R à N dimensions et on obtient ainsi un nuage de points optimisé.

30 **[0045]** La seconde étape pour déterminer la base de projection [F] permettant à la fois de caractériser la forme des grains et de pouvoir comparer la forme de deux populations de particule, consiste à condenser l'information morphologique d'un grain en un nombre le plus petit possible de variables sans pour autant perdre trop d'information. Cette condensation doit être adaptée à la forme des grains considérés. On réalise pour ce faire une base de projection qui doit être la plus petite possible vis-à-vis d'une erreur définie. Chacun des vecteurs de cette base doit par ailleurs contenir l'information morphologique du grain.

**[0046]** A partir du vecteur R à N dimensions défini précédemment, on cherche à définir M fonctions  $F_1, \dots, F_M$  avec M très inférieur à N telles que le rayon R peut être approché de manière précise par la formule suivante :

$$R \cong [F] C$$

où  $[F] = [F_1, \dots, F_M]$

et où C est un vecteur de dimension M formant des coefficients de projection sur la base de projection [F].

**[0047]** L'identification de cette base de projection [F] à partir des mesures expérimentales d'acquisition du nuage de points en trois dimensions se base sur la diagonalisation de la matrice d'autocovariance des vecteurs du rayon R issus des mesures, cette approche scientifique étant connue en matière de traitement du signal et de réduction statistique. La construction de cette base [F] étant basée sur des outils statistiques, elle sera d'autant plus représentative, comme dit plus haut, que la population de particules référence servant à son identification sera composée d'un grand nombre de particules.

**[0048]** En disposant de cette base [F], la forme globale d'un grain 2 n'est plus caractérisée que par le jeu de ses coefficients de projection C sur la base [F]. Ainsi, après l'acquisition d'un nuage de points à trois dimensions de la surface du grain à examiner, le nuage de points est exploité par l'analyseur pour caractériser la forme globale du grain 2 en déterminant ses coefficients de projection sur la base de projection [F] précédemment définie.

**[0049]** Pour évaluer l'état d'usure morphologique d'une population de q grain ou d'un grain unique par rapport à une population de p grains de référence, il s'agit donc dans un premier temps de déterminer la base [F] et les coefficients de projection CR1, CR2, CR3, ..., CRp sur cette base [F] d'une population de p particules de référence par le procédé de mesure granulométrique précédemment décrit. Puis, chaque grain 2 à examiner fait l'objet d'une acquisition d'un nuage de points à trois dimensions tel que décrit précédemment en référence aux figures 1 E et 1F et d'une détermination des coefficients de projection CE1, CE2, CE3, ..., CEq sur la base [F].

**[0050]** On compare alors les valeurs des coefficients de projection CE1, CE2, CE3, ..., CEq du grain 2 à examiner avec les coefficients de projection CR1, CR2, CR3, ..., CRp de la population de p particules de référence. Cette comparaison s'effectue par la comparaison des moments statistiques d'ordre croissants de la population de q particules à examiner avec les moments statistiques d'ordre croissant de la population de p particules de référence. De façon plus générale, cette comparaison est effectuée au moyen des méthodes connues pour comparer des distributions statistiques comme le test  $\chi^2$  ou Kolmogorov Smirnov. On en déduit alors l'état statistique précis des différences morphologiques de la

population de p particules par rapport à la population q de référence, ou autrement on en déduit la déformation morphologique du grain 2 par rapport à un grain de ballast neuf.

**[0051]** Pour opérer une classification du grain 2 à examiner dans une population de grains par exemple selon quatre catégories neuf, faiblement usé, usé ou dégradé, on détermine les coefficients de projection CR1, CR2, CR3, ..., CRp de plusieurs populations de p grains de référence correspondant respectivement à un état neuf, faiblement usé, usé ou dégradé.

**[0052]** L'analyseur 14,15 compare ensuite les valeurs des coefficients de projection CE1, CE2, CE3, ..., CEq du grain 2 à examiner avec les coefficients de projection CR1, CR2, CR3, ..., CRp de ces quatre populations de p grains de référence pour classifier chaque grain en fonction de son appartenance à une population. Cette classification est quasi-instantanée et permet ainsi de labéliser le grain 2 à examiner dans une catégorie parmi les catégories d'état de dégradation préalablement définies.

**[0053]** L'analyseur peut alternativement comparer les valeurs des coefficients de projection CE1, CE2, CE3, ..., CEq du grain 2 à examiner avec les coefficients de projection CR1, CR2, CR3, ..., CRp d'une seule population de p grains de référence pour déterminer si la particule tombe ou non dans une catégorie particulière. Dans ce cas, le trieur opérera la séparation des grains 2 entre deux catégories, une première catégorie qui répond positivement selon des critères déterminés à la population de grains de référence, et une seconde catégorie qui ne répond pas à ces critères.

**[0054]** En sortie du passage de la zone d'acquisition 8,11, le grain 2 est ainsi classifié, l'information de cette classification est alors envoyée à un trieur qui assure la séparation physique des grains 2 à examiner selon leur catégorie.

**[0055]** Les figures 2, 3, 4 et 5 illustrent quatre types de trieurs différents T1,T2,T3,T4. Comme illustré sur les figures 2 à 4, le triage peut s'effectuer sans contact au moyen d'une ou de plusieurs buses de soufflage d'air sous pression ou, comme illustré sur les figures 3 et 5, avec contact au moyen d'un aiguillage mécanique.

**[0056]** Sur la figure 2, le grain labellisé 2 parmi trois catégories de grains est représenté en déplacement selon une direction d'avancement D3, par exemple sur un tapis roulant non représenté, en circulant entre une série de trois buses 16,17,18 situées chacune en regard d'un contenant de réception d'une catégorie de grain 19,20,21. Lorsque le grain 2 passe au niveau du contenant 20 correspondant à sa classification, la buse 17 en regard de ce contenant 20 est activée en soufflage pour envoyer de l'air sous pression selon une direction sensiblement perpendiculaire à celle de la direction D3 du grain 2 pour guider le grain 2 vers le contenant correspondant 20. L'opération est bien entendu reproduite pour chaque grain labellisé 2.

**[0057]** Sur la figure 4, le grain labellisé 2 circule sur un

tapis roulant 22 selon une direction d'avancement D4 au bout duquel sont disposés en alignement trois contenants de réception d'une catégorie de grain 23,24,25. Une buse 26 est disposée entre le bout du tapis roulant 22 et le premier contenant 23, et apte à souffler de l'air sous pression vers le haut et selon une direction sensiblement perpendiculaire à la direction D4 du grain 2. Lorsque le grain labellisé 2 arrive en bout de tapis roulant, la buse 26 est activée en soufflage avec une puissance spécifique correspondant à la labellisation du grain 2 et permettant de guider en vol le grain 2 dans le contenant 24 approprié.

**[0058]** Sur la figure 3, le grain labellisé 2 parmi trois catégories de grains est représenté en déplacement selon une direction d'avancement D5, par exemple sur un tapis roulant non représenté, en circulant entre une série de trois bras mobiles en alignement 26,27,28 situés chacun en regard d'un contenant de réception d'une catégorie de grain 29,30,31. Lorsque le grain 2 passe au niveau du contenant 30 correspondant à sa classification, le bras mobile 27 en regard de ce contenant 30 est activé en rotation pour dévier la trajectoire du grain 2 et guider le grain 2 vers le contenant correspondant 30. L'opération est bien entendu reproduite pour chaque grain labellisé 2.

**[0059]** Sur la figure 5, le trieur représenté assure le triage dans deux contenants uniquement. Pour ce faire, le grain labellisé 2 circule sur un tapis roulant 32 selon une direction d'avancement D6. De part et d'autre de ce tapis roulant 32 se trouvent les deux contenants de réception d'une catégorie de grain 33,34. Un bras mobile en rotation 35 est disposé sur le tapis roulant 32 au niveau des deux contenants 33,34 en s'étendant sur au moins toute la largeur de ce tapis roulant 32. A l'approche du grain 2, le bras mobile 35 pivote pour à la fois empêcher le grain 2 de passer dans le contenant 33 qui ne concerne pas la particule et le guider vers le contenant 34 correspondant à la catégorie labellisée de grains. On comprend que ce système se limite uniquement à ceux catégories de grains et s'en trouve donc limité pour cette raison par rapport aux trois autres trieurs T1,T2 et T3 précédemment décrits.

**[0060]** Une fois dans les contenants, les grains 2 sont évacués pour empêcher l'engorgement de ces contenants. À titre d'exemple non représenté, on peut prévoir que les contenants de réception soient des trémies à la base de chacune desquelles est disposé un tapis roulant qui envoie les grains à un endroit souhaité.

**[0061]** Le procédé de tri ainsi que son dispositif associé peut ainsi se substituer aux procédés de criblages de l'art antérieur. Alternativement, le procédé et le dispositif de tri de l'invention peuvent venir s'associer aux techniques de criblage. Par exemple, un criblage peut être réalisé pour isoler des grains de taille prédéfinie, par exemple de diamètre moyen compris entre 20 et 50 millimètres, puis cette population isolée de grain peut ensuite subir le procédé de l'invention. À cet effet, les grains de diamètre moyen compris entre 20 et 50 millimètres isolés

entre deux cribles successifs peuvent être acheminés jusqu'à la trémie d'alimentation en grain de la figure 1A. On associe ainsi un tri grossier selon la taille des grains à un tri précis selon la dégradation morphologique des grains sélectionnés, ce qui permet d'augmenter considérablement le rendement du triage.

**[0062]** Comme précédemment décrit, le procédé et le dispositif de l'invention peuvent être utilisés pour trier les grains de ballast ou tout autre type de particule afin de les stocker par catégorie pour une utilisation ultérieure.

**[0063]** Alternativement, le procédé et le dispositif de l'invention peuvent être inclus dans un procédé ou dispositif associé assurant le renouvellement d'un ballast sur place. À cet effet, le ballast est enlevé de la voie par des moyens connus de l'homme du métier, puis l'opération de tri est réalisée. À l'issue de ce tri, les grains de ballast catégorisés comme présentant une usure acceptable sont mélangés à des grains de ballast neuf avant d'être remis sur la voie ferrée.

**[0064]** Le dispositif de l'invention peut, que ce soit pour réaliser uniquement un tri ou pour s'intégrer dans un procédé de renouvellement de ballast, être installé dans une machine mobile. Dans ce cas, la machine mobile comporte de préférence un système d'évacuation des grains retenus dans chaque contenant de réception.

## Revendications

1. Procédé de tri de particules, **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins les étapes :
  - d'alimentation en particules (2),
  - de passage des particules (2) dans la zone d'acquisition (8,11) d'un dispositif optique de prise d'images (9,12),
  - d'évaluation de la déformation morphologique de chaque particule (2) par comparaison entre la morphologie de chaque particule appréciée à partir de la prise d'image dudit dispositif optique, et la morphologie d'une ou de plusieurs populations de particules de référence,
  - de classification de la particule évaluée (2) parmi au moins deux catégories préalablement définies, et
  - de guidage contrôlé de la particule classifiée (2) dans un contenant de réception de la catégorie de particules concernées (19,20,21 ; 29,30,31 ; 23,24,25 ; 33,34).
2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** l'évaluation de la déformation morphologique de chaque particule (2) est réalisée par rapport à plusieurs populations de particules de référence à partir de l'acquisition d'un nuage de points à trois dimensions de la dite particule par le dispositif optique (9,12) et de l'exploitation de ce nuage de points pour la détermination des coefficients de projection

de la particule (2) sur une base de projection (F), et comparaison de ces coefficients avec ceux caractérisant chaque population de particules de référence.

3. Procédé de tri selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, **caractérisé en ce qu'il** comporte une étape de démêlage des particules (2) assurant le passage des particules à l'unité dans la zone d'acquisition (8,11) du dispositif optique (9,12).
4. Procédé de tri selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les particules (2) passent en vol dans la zone d'acquisition (8) du dispositif optique (9).
5. Procédé de tri selon la revendication 4, **caractérisé en ce que** préalablement à leur passage devant le dispositif optique (9), les particules (2) sont propulsées à une vitesse contrôlée vers la zone d'acquisition (8) dudit dispositif optique (9).
6. Procédé de tri selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** chaque particule classifiée (2) est guidée vers le contenant de réception de la catégorie de particules concernées (19,20,21 ; 29,30,31 ; 23,24,25 ; 33,34) par orientation ou déviation de sa trajectoire par soufflage ou aiguillage mécanique.
7. Procédé de tri selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les particules passant dans la zone d'acquisition (8,11) d'un dispositif optique de prise d'images (9,12) sont issues d'un tri préalable par criblage.
8. Dispositif de tri de particules pour mettre en oeuvre le procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins :
  - une alimentation en particules (1),
  - un système de passage contrôlé (4,5 ; 6) des particules dans la zone d'acquisition (8,11) d'un dispositif optique de prise d'image (9,12),
  - un analyseur (14,15) pour évaluer la déformation morphologique de chaque particule par comparaison entre la morphologie de chaque particule à partir de la prise d'image dudit dispositif optique (9,12) et la morphologie d'une ou de plusieurs populations de particules de référence, et classifier la particule déformée dans une catégorie parmi plusieurs catégories préalablement définies,
  - un trieur (T1,T2,T3,T4) pour guider de façon contrôlée la particule classifiée (2) dans un contenant de réception de la catégorie de particules concernées (19,20,21 ; 29,30,31 ; 23,24,25 ; 33,34).

9. Dispositif selon la revendication 8, **caractérisé en ce que** le système de passage contrôlé des particules (4,5 ; 6) dans la zone d'acquisition (8,11) du dispositif optique (9,12) comporte un démêleur (4) permettant de séparer les particules (2) pour assurer leur passage à l'unité dans la zone d'acquisition (8,11).
10. Dispositif selon la revendication 9, **caractérisé en ce que** le système de passage contrôlé des particules (4,5 ; 6) dans la zone d'acquisition (8) du dispositif optique (9) comporte, en aval du démêleur (4), un propulseur (5,6) qui accélère et contrôle la vitesse des particules (2) avant leur passage en vol dans la zone d'acquisition (8) du dispositif optique (9).
11. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, **caractérisé en ce que** le trieur (T2,T4) oriente ou dévie chaque particule (2) en mouvement par basculement d'au moins un clapet mobile en rotation (35 ; 26,27,28) vers le contenant de réception de la catégorie de particules concernées (33,34 ; 29,30,31).
12. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 8 à 10, **caractérisé en ce que** le trieur (T1,T3) oriente ou dévie la trajectoire de chaque particule (2) vers le contenant de réception de la catégorie de particules concernées (19,20,21 ; 23,24,25) par soufflage d'air sous pression contrôlé.
13. Utilisation du procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7 pour trier les grains d'un ballast de voie ferrée et classer les grains de ballast selon leur état de déformation morphologique.
14. Procédé de renouvellement d'un ballast de voie ferrée, **caractérisé en ce qu'il** comporte au moins les étapes :
  - d'enlèvement du ballast en place,
  - de triage des grains de ballast selon le procédé de tri des revendications 1 à 7,
  - d'isolement des grains de ballast dont la déformation morphologique est acceptable,
  - de mélange des grains de ballast isolés à l'étape précédente avec du ballast neuf, et
  - de mise en place du mélange obtenu à l'étape précédente sur la voie ferrée.
15. Machine de tri de ballast de voie ferrée **caractérisée en ce qu'elle** comporte au moins un dispositif de tri de particules selon l'une quelconque des revendications 8 à 12 et un système d'évacuation des particules (2) de chaque contenant de réception (19,20,21 ; 29,30,31 ; 23,24,25 ; 33,34).

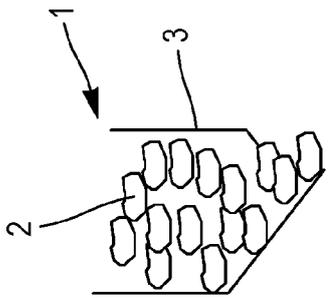


FIG. 1A

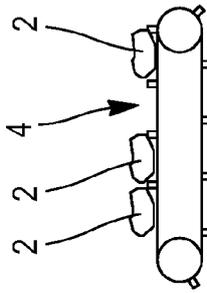


FIG. 1B

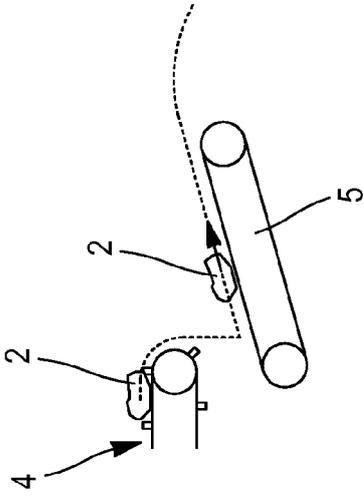


FIG. 1C

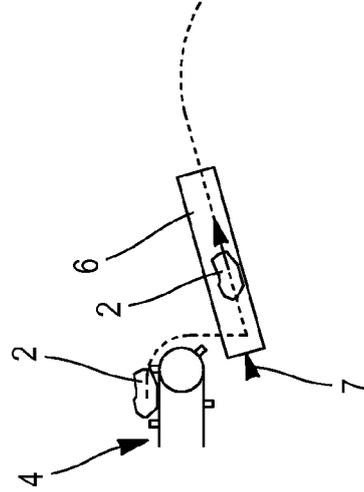


FIG. 1D

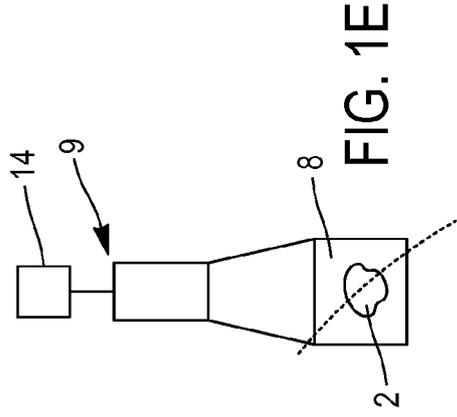


FIG. 1E

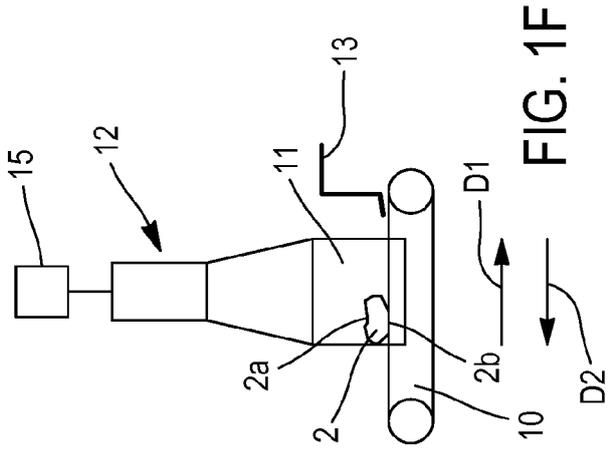
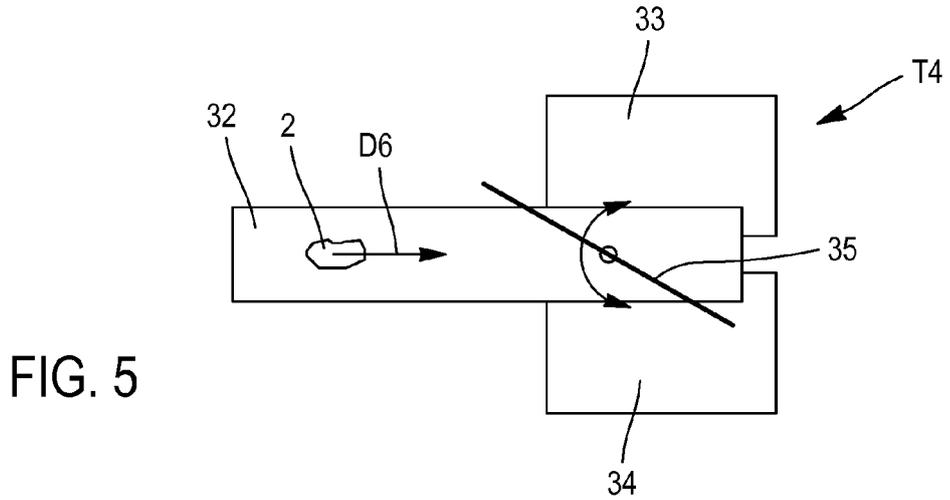
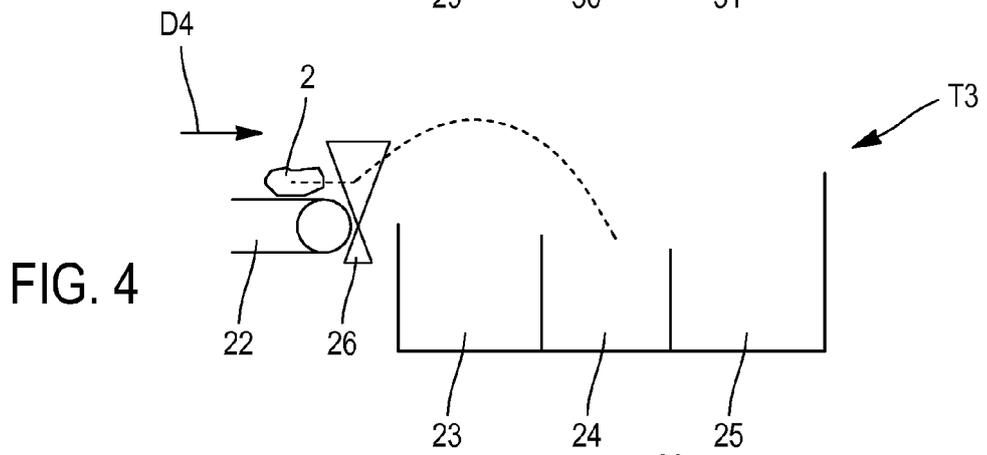
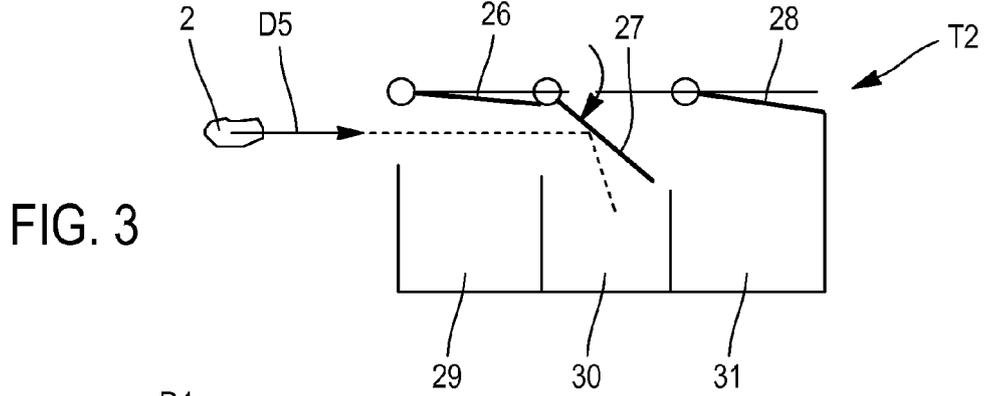
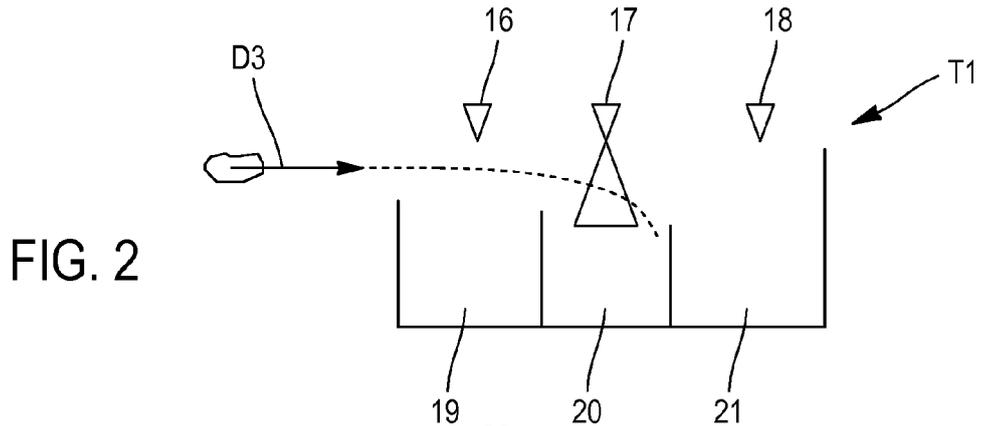


FIG. 1F

FIG. 1





## RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 16 19 2458

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X A	CA 1 228 141 A (EXXON RESEARCH ENGINEERING C0) 13 octobre 1987 (1987-10-13) * page 5, ligne 8 - page 6, ligne 14; figure 1 *	1,3-13, 15 2,14	INV. B07C5/10
X A	DE 197 17 093 A1 (RWK KALK AG [DE]) 13 novembre 1997 (1997-11-13) * page 1, ligne 3 - page 3, ligne 1 *	1,3-13, 15 2,14	
A	EP 0 983 804 A1 (WACKER CHEMIE GMBH [DE]) 8 mars 2000 (2000-03-08) * alinéa [0006] - alinéa [0011] *	1-15	
A	DE 43 37 125 A1 (MASSEN ROBERT PROF DR ING [DE]) 4 mai 1995 (1995-05-04) * abrégé; figures *	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			B07C
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche <b>Munich</b>		Date d'achèvement de la recherche <b>7 février 2017</b>	Examineur <b>Wich, Roland</b>
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03/82 (P04/C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 16 19 2458

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.  
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

07-02-2017

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
CA 1228141 A	13-10-1987	AU 4144885 A CA 1228141 A FI 851572 A US 4624367 A ZA 8502939 B	24-10-1985 13-10-1987 21-10-1985 25-11-1986 30-12-1986
DE 19717093 A1	13-11-1997	DE 19616036 C1 DE 19717093 A1	15-05-1997 13-11-1997
EP 0983804 A1	08-03-2000	DE 19840200 A1 EP 0983804 A1 JP 2000088537 A US 6265683 B1	09-03-2000 08-03-2000 31-03-2000 24-07-2001
DE 4337125 A1	04-05-1995	AUCUN	

EPO FORM P0480

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82