

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

①① N° de publication :

3 078 493

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

②① N° d'enregistrement national :

18 51842

⑤① Int Cl⁸ : **B 02 C 19/16** (2018.01), **B 02 C 25/00**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ PROCÉDE POUR DISSOCIER DIFFÉRENTS CONSTITUANTS D'UN MATERIAU ARTIFICIEL HÉTÉROGÈNE.

②② Date de dépôt : 02.03.18.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *FIVES FCB Société anonyme* — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 06.09.19 Bulletin 19/36.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 14.02.20 Bulletin 20/07.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : WASIER ETIENNE, FRUCHART ALAIN et PORTAL JEROME.

⑦③ Titulaire(s) : *FIVES FCB Société anonyme*.

⑦④ Mandataire(s) : BUREAU DUTHOIT LEGROS ASSOCIES.

FR 3 078 493 - B1



L'invention concerne le domaine du recyclage de matériaux artificiels, c'est-à-dire obtenus à partir d'un procédé mis en œuvre par l'Homme, en tant que produit final de ce procédé ou non. Plus précisément, l'invention concerne le domaine des matériaux artificiels hétérogènes, c'est-à-dire produits à partir du mélange de plusieurs constituants dont au moins une partie peut se retrouver dans le matériau sans modification de leur structure.

Les bétons sont un exemple d'un matériau artificiel hétérogène. Encore plus précisément, le béton de ciment comprend typiquement un gravillon, ou comprenant des fragments de roche, emprisonné dans un mortier, lequel est en général lui-même un mélange de sable et d'une pâte de ciment faisant office de liant hydraulique.

Le béton de ciment est largement utilisé dans les ouvrages de construction et d'infrastructure, c'est-à-dire par exemple les bâtiments, les routes et ouvrages d'art. Or, la production du béton de ciment implique l'exploitation de ressources naturelles, notamment minérales pour extraire le granulats, comprenant du gravillon et du sable. L'impact sur l'environnement n'est donc pas négligeable, notamment du fait de l'exploitation de ressources naturelles non renouvelables, mais également à cause de la pollution et des nuisances causées par le transport de ces ressources depuis leur lieu d'extraction jusqu'au chantier où elles sont utilisées pour produire le béton. Les déchets de démolition doivent par ailleurs être mis en décharge. De telles décharges, outre leur impact là encore sur l'environnement, sont par ailleurs l'objet d'un sentiment négatif de la part de l'opinion publique.

Le développement durable étant devenu un enjeu stratégique, différents pays ont déjà favorisé, voire imposé, l'utilisation d'une part de béton de ciment recyclé dans les nouveaux ouvrages, afin de développer des circuits courts. On entend par béton de ciment recyclé le béton de ciment obtenu à partir d'au moins un constituant d'un béton initial qui a antérieurement été coulé et séché pour réaliser un ouvrage, lequel ouvrage est ensuite démoli.

La production de béton recyclé reste néanmoins complexe, notamment à cause de la présence de matériaux indésirables dans le béton initial, tels que des morceaux métalliques, si le tri en amont n'a pas été correctement effectué et également à cause d'une demande en eau plus importante que pour un béton n'utilisant pas de gravillon recyclé en raison de la fracturation du gravillon et de la porosité du mortier ancien, le mortier étant le mélange de sable et de pâte de ciment. En outre, la présence du mortier ancien diminue les performances du béton qui en résulte, notamment avec une résistance à la fragmentation moindre par rapport à un béton non recyclé.

Pour produire un béton de ciment recyclé, il est donc important de séparer les différents constituants du béton initial, à savoir notamment le gravillon du mortier, pour réutiliser le gravillon dans la formulation du béton recyclé. Le mortier doit donc être séparé du gravillon, sans briser le gravillon pour éviter la production de particules plus fines ne pouvant être réutilisées en tant que gravillon. Eventuellement, il est souhaitable de récupérer le sable du mortier, qui est également réutilisable.

Différentes techniques ont été proposées afin de produire du béton de ciment recyclé.

Par exemple, il a été proposé soit de chauffer l'eau dans le béton par l'apport de micro-ondes pour l'évaporer et faciliter la séparation entre le gravillon et le mortier soit de faire passer une décharge électrique à très haut voltage dans le matériau, une technologie qui joue sur les différences de conductivité électrique entre les matériaux pour générer des fractures aux interfaces. Le béton ainsi « prétraité » est ensuite concassé pour libérer le gravillon. Toutefois, dans ces deux solutions, un apport en énergie est requis, ce qui freine leur développement notamment à cause des coûts, mais également à cause de leur complexité technologique.

Il a également été proposé d'utiliser la technologie des appareils de broyage-concassage-fragmentation, désignés dans ce qui suit par machine de fragmentation.

Il est par exemple connu d'utiliser une machine de fragmentation à mâchoires, c'est-à-dire comprenant deux mâchoires articulées l'une par rapport à l'autre de manière à fragmenter la matière en rapprochant les

mâchoires l'une de l'autre. Le document JP2007-261870 donne un exemple d'une telle machine, dans laquelle le taux de remplissage de la zone de fragmentation, entre les deux mâchoires, est régulé en ajustant la vitesse d'un tapis d'alimentation de la matière à la machine de fragmentation et la vitesse d'un tapis de sortie récupérant à la sortie de la machine de fragmentation la matière fragmentée. Ainsi, le temps de séjour de la matière entre les mâchoires est régulé pour obtenir la libération du gravillon. Le document WO2011/142663 propose également d'utiliser une machine de fragmentation à mâchoires dans laquelle le temps de séjour de la matière entre les mâchoires est ajusté par un mouvement vertical de l'une des mâchoires par rapport à l'autre. Le document WO2016/122324 propose de souffler de l'air entre les mâchoires afin d'emporter les particules fines et d'optimiser l'énergie de fragmentation pour la matière restante entre les mâchoires.

Ces solutions avec une machine de fragmentation à mâchoires n'apportent pas entière satisfaction, car en pratique, le gravillon n'est pas suffisamment libéré du mortier pour pouvoir être réutilisé dans un nouveau béton aux caractéristiques satisfaisantes. Ainsi, il est souvent mis en œuvre après la machine de fragmentation à mâchoires un dispositif complémentaire tel que celui décrit dans le document WO2016/122323, dans lequel la matière sortant de la machine de fragmentation est soumise à des vibrations pour libérer davantage le gravillon. Un tel dispositif complémentaire augmente l'encombrement d'une installation et la consommation d'énergie.

Il est également connu d'utiliser une machine de fragmentation comprenant des cylindres en rotation sur un lit de matière. Le document WO 2015/051925 propose un exemple d'une telle utilisation. Selon ce document, la pression des cylindres est réglée de telle manière que les contraintes appliquées sur le lit de broyage par les cylindres permettent la séparation des matériaux par frottement mutuel et en utilisant le phénomène d'attrition. Cette solution n'apporte toujours pas en pratique entière satisfaction.

Du document US 2015/0210594, il est également connu d'introduire du béton dans un tambour rotatif. Un gaz de combustion comprenant du CO₂ est injecté dans le tambour. Le CO₂ réagit avec la pâte de ciment du béton à 75°C, et la rotation du tambour assure la fragmentation du béton en continu, de sorte que de nouvelles surfaces sont continuellement exposées au CO₂. Le béton est également baigné dans de l'eau dans le tambour, de manière à être saturé quasiment à 100% en eau. Les produits de réaction comprennent du carbonate de calcium et du granulats qui sont évacués du tambour sur un convoyeur. Une telle solution est complexe à mettre en œuvre et consomme beaucoup d'énergie. Elle requiert en outre une étape de séchage de la matière récupérée en sortie du tambour avant de pouvoir trier les produits de réaction, et donc le granulats comprenant le gravillon, générant des coûts supplémentaires.

Il existe donc un besoin pour un nouveau procédé permettant de libérer notamment le gravillon du mortier d'un béton utilisé antérieurement dans un ouvrage, et plus généralement pour dissocier les constituants d'un matériau artificiel hétérogène, afin de pouvoir produire un nouveau matériau recyclé.

A cet effet, un premier objet de l'invention est de proposer un procédé pour dissocier différents constituants d'un matériau artificiel hétérogène permettant de récupérer au moins un des constituants pour le réutiliser au moyen d'une machine de fragmentation.

Un deuxième objet de l'invention est de proposer un tel procédé ne nécessitant pas de dispositif supplémentaire pour dissocier les constituants.

Un troisième objet de l'invention est de proposer un tel procédé avec un contrôle accru de la qualité de la dissociation entre les constituants, et donc une fiabilité accrue.

Un quatrième objet de l'invention est de proposer un tel procédé simplifié.

Un cinquième objet de l'invention est de proposer un tel procédé avec une souplesse vis-à-vis des constituants à dissocier, afin d'adapter facilement les réglages de la machine de fragmentation au matériau à fragmenter.

Ainsi, selon un premier aspect, l'invention propose un procédé pour dissocier différents constituants d'un matériau artificiel hétérogène. Le procédé comprend notamment la fragmentation du matériau dans une machine de fragmentation par compression en lit de matière sous l'effet d'une force de fragmentation. La machine comporte :

- une cuve formant piste intérieure de fragmentation autour d'un axe longitudinal de la machine ;
- un moyeu formant piste extérieure de fragmentation autour d'un axe longitudinal de la machine, le moyeu étant placé à l'intérieur de la cuve ;
- au moins un vibreur, mis en rotation autour d'un axe longitudinal de la machine, et relié à l'un ou l'autre de la cuve et du moyeu ;
- un système de contrôle d'au moins un paramètre de la force de fragmentation parmi la vitesse de rotation du ou des vibrateurs et l'angle de déphasage entre au moins deux vibrateurs.

Le procédé comprend alors :

- la mise en rotation du ou des vibrateurs de la machine de fragmentation, de sorte que la cuve effectue un mouvement dans un plan transversal de la machine par rapport au moyeu ;
- l'alimentation de la machine de fragmentation en matériau à fragmenter ;
- la fragmentation du matériau entre la piste extérieure et la piste intérieure de fragmentation.

Le système de contrôle règle au moins un paramètre de la rotation des vibrateurs de manière à générer une force de fragmentation par la machine permettant de dissocier au moins en partie au moins un des constituants du matériau des autres constituants.

Ainsi, la force de fragmentation déployée entre la piste intérieure et la piste extérieure de fragmentation de la machine est ajustée de manière à libérer un des constituants du matériau hétérogène de la matrice formée par les autres constituants. Le constituant libéré peut alors être valorisé directement, sans nécessairement une étape de nettoyage supplémentaire.

La conception de la machine permet de régler rapidement la force de fragmentation, si bien qu'elle peut être ajustée rapidement, sans avoir à

arrêter la machine en fonctionnement, par exemple lorsque la libération du constituant en question n'est pas conforme à un résultat visé.

En outre, le réglage de la force de fragmentation sur la machine permet d'adapter le procédé à tout type de matériau, en fonction de la nature de ses constituants.

Selon un mode de réalisation, le moyeu est de forme sensiblement conique et dans lequel la machine comprend :

- un bâti destiné à reposer sur le sol, le moyeu étant supporté par le bâti ;
- un châssis mobile en translation au moins dans un plan transversal de la machine par rapport au bâti, la cuve étant montée sur le châssis mobile ;
- au moins un vibreur monté sur le châssis, et mis en rotation autour d'un axe longitudinal de la machine.

Avantageusement, la machine peut comprendre :

- au moins deux vibrateurs montés sur le châssis, chaque vibreur étant mis en rotation autour d'un axe longitudinal de la machine par un moteur, chaque moteur entraînant indépendamment les uns des autres le vibreur auquel il est associé ;
- un dispositif de gestion des moteurs et un dispositif de mesure de l'angle de déphasage relatif entre les vibrateurs.

Le procédé selon ce mode de réalisation peut alors comprendre le réglage de l'angle de déphasage relatif entre les vibrateurs par le système de contrôle pour obtenir la dissociation d'au moins un constituant. Ainsi, la force de fragmentation déployée par la machine est réglée par l'angle de déphasage entre les vibrateurs. L'ajustement de l'angle de déphasage entre les vibrateurs permet un réglage fin et précis de la force de fragmentation. En effet, comme chaque vibreur est entraîné indépendamment des autres par un moteur associé, la vitesse et la position des vibrateurs relativement les uns aux autres peuvent être contrôlées avec précision, et maintenues pendant toute la durée de fonctionnement de la machine avec une grande fiabilité, garantissant la libération d'un constituant du matériau de départ

selon un résultat souhaité, et conservé pendant la durée de fonctionnement de la machine.

La force cible de fragmentation peut être déterminée de différentes manières. Deux modes de réalisation sont donnés ci-après en exemple, et
5 peuvent être éventuellement mis en œuvre en combinaison.

Ainsi, selon un mode de réalisation, le au moins un paramètre de la rotation des vibrateurs est réglé de la manière suivante :

- déterminer dans le matériau à fragmenter un ratio cible entre au moins un constituant et les autres constituants ;
- 10 – récupérer en sortie de la machine de fragmentation le matériau fragmenté ;
- déterminer au moins un critère de tri permettant de séparer l'au moins un constituant des autres constituants ;
- soumettre le matériau fragmenté à un tri au moyen dudit critère de tri déterminé de manière à récupérer au moins deux fractions ;
- 15 – déterminer un ratio réel entre les au moins deux fractions ;
- régler le au moins un paramètre de la rotation des vibrateurs en fonction de l'écart entre le ratio cible et le ratio réel.

En effet, le ratio théorique des différents constituants du matériau hétérogène de départ est bien souvent connu, ou du moins une évaluation est possible. Par conséquent, en comparant le ratio théorique au ratio réel, le procédé permet d'évaluer le résultat de la libération d'un des constituants, et d'ajuster la force de fragmentation de la machine en conséquence pour obtenir le résultat visé.

25 Selon un autre mode de réalisation le au moins un paramètre de la rotation des vibrateurs est réglé de la manière suivante :

- déterminer au moins une propriété d'au moins un constituant du matériau ;
- à partir de ladite propriété déterminée, calculer une force cible permettant de dissocier le au moins un constituant des autres constituants ;
- 30 – régler le au moins un paramètre de la rotation des vibrateurs pour obtenir la force cible.

En effet, par exemple, il est possible de déterminer, en fonction du constituant que l'on souhaite libérer, certaines de ses propriétés, telles que la forme, la taille, la dureté et/ou la résistance à la compression. Ces propriétés peuvent ensuite être utilisées pour évaluer une force cible de fragmentation, qui permettra de briser la liaison entre le constituant que l'on souhaite libérer et les autres constituants du matériau de départ, et de régler la rotation du ou des vibrateurs en conséquence.

Selon un mode de réalisation, on peut récupérer tout ou partie d'au moins une fraction du matériau fragmenté qui est recirculée à l'alimentation de la machine de fragmentation.

Ainsi, par exemple, le procédé peut comprendre en outre les étapes suivantes :

- déterminer au moins un coefficient d'aplatissement cible pour au moins un constituant du matériau à fragmenter ;
- récupérer ledit au moins constituant après fragmentation ;
- mesurer ledit coefficient d'aplatissement dudit au moins constituant ;
- régler le débit et/ou la plage granulométrique de la au moins une fraction recirculée en fonction de l'écart entre le coefficient d'aplatissement déterminé et le coefficient d'aplatissement mesuré.

En variante ou en combinaison, le procédé peut comprendre en outre les étapes suivantes :

- déterminer un taux de nettoyage pour au moins un constituant du matériau à fragmenter ;
- récupérer ledit au moins constituant après fragmentation ;
- mesurer ledit taux de nettoyage dudit au moins constituant ;
- régler le débit et/ou la plage granulométrique de la au moins une fraction recirculée en fonction de l'écart entre le taux de nettoyage déterminé et le taux de nettoyage mesuré.

Selon une application possible, le matériau à fragmenter est un béton et comprend un premier constituant appelé gravillon et un deuxième constituant appelé mortier. Le gravillon est dit emprisonné dans le mortier, c'est-à-dire que la cohésion entre les particules de gravillon est assurée au moins en partie par le mortier. Le procédé peut dès lors comprendre la

détermination d'une force cible de fragmentation engendrant une contrainte dans le lit de matière supérieure ou égale à la résistance à la compression du béton. En effet, on constate que la résistance à la compression du béton est principalement donnée par la liaison entre les particules de gravillon et le mortier. En mesurant sur le béton avant fragmentation sa résistance à la compression et en réglant la force de fragmentation déployée par la machine de fragmentation en conséquence, on obtient la séparation entre les particules de gravillon et le mortier.

Selon un mode de réalisation, toujours dans lequel le matériau à fragmenter est un béton, le procédé peut comprendre :

- la récupération en sortie de la machine de fragmentation du gravillon et du mortier ;
- la soumission du gravillon et du mortier à un tri entre particules dites grossières d'une taille supérieure à une valeur donnée correspondant à la taille minimale attendue du gravillon et particules dites fines de taille inférieure à ladite valeur donnée.

Les particules fines comprennent alors le sable, qui peut également être valorisé. Ainsi, selon un mode de réalisation, on soumet les particules fines à un deuxième tri pour séparer d'une part des particules d'une taille inférieure à une deuxième valeur donnée correspondant à la taille minimale attendue pour du sable et d'autre part les particules de taille supérieure à ladite deuxième valeur donnée.

Eventuellement, lorsque les particules de sable n'ont pas été suffisamment libérées de la pâte de ciment, on peut soumettre la fraction fine à une deuxième étape de fragmentation et à une étape de tri pour séparer des particules d'une taille supérieure à une deuxième valeur donnée correspondant à la taille minimale attendue pour du sable et les particules de taille inférieure à ladite deuxième valeur donnée.

D'autres effets et avantages de l'invention apparaîtront à la lumière de la description de modes de réalisation accompagnée des figures dans lesquelles :

La figure 1 est une représentation schématique, en vue de dessus, d'une machine de fragmentation pour la mise en œuvre d'un mode de réalisation du procédé selon l'invention.

5 La figure 2 est une vue en coupe selon la ligne II-II de la machine de la figure 1.

La figure 3 est une représentation schématique de différentes étapes d'un mode de réalisation du procédé selon l'invention.

La figure 4 est une illustration représentant un exemple d'un matériau hétérogène.

10 Sur les figures 1 et 2, il est représenté un exemple d'une machine 1 de fragmentation pour un matériau artificiel hétérogène par compression en lit de matière adaptée pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention. La fragmentation par compression en lit de matière est particulièrement adaptée, mais non exclusivement, à la fragmentation de matériaux
15 minéraux.

Par matériau hétérogène, on entend ici un matériau comprenant plusieurs constituants reliés entre eux de façon à former un bloc. En d'autres termes, en considérant un des constituants, on peut le voir comme étant emprisonné dans une matrice formée des autres constituants.

20 De manière générale, les constituants d'un matériau hétérogène peuvent se distinguer en fonction de leurs propriétés, par exemple leurs dimensions, leur forme, leur porosité, leur résistance à l'usure, leur résistance à la compression ou encore leur dureté.

A des fins de simplification, la description qui suit porte sur l'exemple
25 du béton de ciment en tant que matériau artificiel hétérogène, étant entendu que le procédé objet de l'invention n'est pas limité à cet exemple. Ainsi, dans ce qui suit, on considère que le béton de ciment comprend des particules de granulats emprisonnées dans de la pâte de ciment. Les particules de granulats répondent à des critères établis, tel que ceux établis
30 dans la norme EN12620, et comprennent ainsi des particules de gravillon et des particules de sable, étant attendu que les particules de gravillon soient de taille supérieure à celles des particules de sable. Communément, le

mélange de sable et de pâte de ciment est appelé mortier, le mortier emprisonnant le gravillon.

La machine 1 de fragmentation comprend notamment un bâti 2, destiné à reposer directement sur le sol, ou indirectement par l'intermédiaire d'une plateforme mobile reposant sur le sol. La machine 1 comprend de plus une cuve 3, dont la surface intérieure forme une piste 3a intérieure de fragmentation. La cuve 3 est montée sur un châssis 4 mobile en translation par rapport au bâti 2 au moins dans un plan transversal, qui est en pratique sensiblement le plan horizontal. A cet effet, le châssis 4 est monté sur le bâti 2 par l'intermédiaire de plots 4a élastiques, se déformant élastiquement aussi bien transversalement que longitudinalement pour limiter la transmission des vibrations au bâti 2. Un moyeu 5, dont la surface extérieure forme une piste 5a extérieure de fragmentation, est placé à l'intérieur de la cuve 3. De préférence, le moyeu 5 est monté sur un arbre 6 s'étendant selon un axe A longitudinal, qui est en pratique sensiblement vertical, et supporté par un bâti 2a secondaire. Le bâti 2a secondaire est suspendu au châssis 4.

Dans ce qui suit, on désigne par longitudinal tout axe parallèle à l'axe A longitudinal de l'arbre 6, et par transversal toute direction perpendiculaire à l'axe A longitudinal.

Selon la machine de l'exemple des figures 1 et 2, et de manière non limitative, le moyeu 5 est de forme sensiblement conique. Plus précisément, la piste 5a extérieure décrit une surface de révolution autour de l'axe A longitudinal sensiblement conique, s'évasant vers le bas. Dans ce cas, et avantageusement, la piste 3a intérieure décrit également une surface sensiblement conique autour d'un axe longitudinal, s'évasant vers le haut.

La machine 1 est de type à inertie et comprend à cet effet un dispositif 7 de mise en vibrations de la cuve 3 par rapport au bâti 2 dans un plan transversal. Ainsi, sous l'effet du dispositif 7 de mise en vibrations, la cuve 3 se déplace dans plan transversal par rapport au moyeu 5, de sorte que de la matière est soumise à une pression de fragmentation entre la piste 3a intérieure et la piste 5a extérieure. Selon un mode de réalisation, le dispositif 7 de mise en vibrations comprend au moins un vibreur de type

balourd dont la rotation autour d'un axe longitudinal génère le mouvement de la cuve 3 par rapport au moyeu 5 dans un plan transversal. De préférence, le dispositif 7 de mise en vibrations comprend au moins deux vibrateurs.

5 Plus précisément, par vibrateur, on désigne ici tout dispositif dont la masse est non parfaitement répartie sur un volume de révolution et génère ainsi une force de balourd par rotation.

10 Selon un mode de réalisation qui est celui des figures, le dispositif 7 de mise en vibrations comprend quatre vibrateurs 8a, 8b, 8c, 8d répartis en carré sur le châssis 4. Chaque vibrateur 8a, 8b, 8c, 8d peut être formé de deux parties réparties de part et d'autre d'un plan sensiblement transversal du châssis 4, de sorte que les vibrations de la cuve 3 provoquées par la rotation des vibrateurs 8a, 8b, 8c, 8d demeurent sensiblement dans ce plan transversal. Chaque vibrateur 8a, 8b, 8c, 8d est fixé sur un arbre 9a, 9b, 15 9c, 9d à vibrateur d'axe longitudinal entraîné en rotation par rapport au châssis 4 par un moteur 10, dont les moteurs 10 des arbres 9a, 9b à vibrateur sont visibles sur la figure 2. Ainsi, lorsque les vibrateurs sont mis en rotation, la cuve 3 est mise en vibrations et décrit un mouvement de translation circulaire dans un plan transversal.

20 Chaque moteur 10 entraîne le vibrateur correspondant indépendamment des autres vibrateurs. Plus précisément, chaque moteur 10 entraîne la position et la vitesse de rotation du vibrateur correspondant. Grâce à un ou plusieurs capteurs, il est possible de connaître à tout instant la position de chacun des vibrateurs, et donc de régler la position angulaire 25 relative entre deux vibrateurs, également appelée déphasage. Ainsi, chaque moteur 10 est relié à un dispositif de gestion des moteurs 10 de manière à régler la vitesse de rotation des vibrateurs 8a, 8b, 8c, 8d. La machine 1 comprend en outre un dispositif de mesure de l'angle de déphasage relatif entre les vibrateurs 8a, 8b, 8c, 8d, qui est relié au dispositif de gestion des 30 moteurs 10 de manière à commander le déphasage entre les vibrateurs 8a, 8b, 8c, 8d.

Selon une variante, non représentée sur les figures, le dispositif 7 de mise en vibration comprend deux vibrateurs entraînés en rotation par un

moteur commun et autour d'un même axe longitudinal. Le déphasage entre les deux vibrateurs, c'est-à-dire la position angulaire relative autour de leur axe de rotation, est réglable, par exemple manuellement lorsque la machine est à l'arrêt ou automatiquement pendant le fonctionnement de la machine.

5 Il est alors possible de régler de manière précise la force appelée force de fragmentation déployée par la machine 1 de fragmentation, c'est-à-dire la force déployée entre la piste 3a intérieure et la piste 5a extérieure par le réglage des paramètres de la rotation des vibrateurs. En effet, dans la machine 1 de fragmentation dont le mouvement relatif entre la piste 3a
10 extérieure de fragmentation et la piste 5a intérieure de fragmentation est obtenu par la mise en œuvre d'un vibrateur, la force déployée par la machine dépend notamment de la fréquence et de l'intensité des vibrations, lesquelles dépendent quant à elle notamment de la vitesse de rotation du vibrateur, mais également, lorsqu'il y a au moins deux vibrateurs, du
15 déphasage entre les au moins deux vibrateurs.

Ainsi, la machine 1 comprend en outre un système 11 de contrôle d'au moins un paramètre de la force de fragmentation parmi la vitesse de rotation du ou des vibrateurs et l'angle de déphasage entre au moins deux vibrateurs. La force de fragmentation mise en œuvre par la machine 1 de
20 fragmentation peut ainsi être réglée par le réglage des vibrateurs de manière à libérer le granulat du béton.

Plus précisément, il est possible de déterminer, directement ou indirectement, une force cible, ou une plage de valeurs de la force cible, de fragmentation pour obtenir la dissociation des constituants du matériau.

25 Plus généralement, la machine 1 de fragmentation avec la force de fragmentation ajustée comme décrit permet de dissocier au moins en partie un constituant des autres constituants du matériau hétérogène de départ, et de récupérer le constituant en question d'origine. Par « dissocier au moins en partie », on entend ici qu'au moins une partie du constituant en
30 question n'est plus emprisonnée dans la matrice formée par les autres constituants, mais est libérée. Dans l'exemple du béton, la force de fragmentation permet ainsi de libérer par exemple les particules de gravillon du mortier. En d'autres termes, la majorité, voire la totalité, des particules

de gravillon sont individualisée. Des fragments de mortier peuvent restés attachés à la surface de particules du gravillon, ou peuvent encore relier des particules du gravillon entre elles. Cependant, la quantité de particules encore reliées entre elles par du mortier est très inférieure à la quantité de particules individualisées. Des particules de gravillon peuvent avoir été fragmentées sous l'effet de la force de fragmentation, mais pour une minorité des particules de gravillon. En d'autres termes encore, les particules de gravillon libérées et récupérées sont, pour la grande majorité, les particules de gravillon d'origine, c'est-à-dire celles qui se trouvaient dans le béton d'origine.

Par exemple, pour dissocier le gravillon du mortier, la force cible de fragmentation peut être déterminée par calcul théorique. En effet, la résistance à la compression du mortier est en général inférieure à celle du gravillon, de sorte qu'il est possible de calculer une force cible de fragmentation permettant de casser le mortier en limitant, voire en évitant, la fragmentation du gravillon. De manière générale, la force cible de fragmentation peut être déterminée à partir des caractéristiques des constituants du matériau à fragmenter.

Il est également possible de calculer une force cible correspondant à la force de liaison entre les particules de gravillon et le mortier, la force cible de fragmentation étant supérieure à la force de liaison mais inférieure à la force limite en compression du gravillon.

Il est également possible de déterminer la force cible de fragmentation expérimentalement, sur un échantillon du béton initial.

Selon un mode de réalisation, la force cible de fragmentation est atteinte par itération, en partant d'une force initiale de la machine et en l'ajustant par action sur la vitesse de rotation des vibrateurs ou par action sur le déphasage entre les vibrateurs jusqu'à obtenir la dissociation entre gravillon et mortier.

Par exemple, la force de fragmentation est ajustée à partir du ratio entre gravillon et mortier. En effet, la proportion entre gravillon et mortier pour un type de béton est en général connue. Ainsi, il est possible de déterminer un ratio théorique en fonction du type de béton alimentant la

machine 1 de fragmentation. Une fois que le béton est fragmenté dans la machine 1, on récupère la matière fragmentée, et on la soumet à un tri selon un critère permettant de séparer le gravillon du mortier. Typiquement, le tri peut être un criblage avec un critère sur la taille des particules adapté à la récupération le gravillon, dont les particules sont de tailles supérieures à celles du mortier. On obtient ainsi après criblage deux fractions. En déterminant un ratio réel entre ces deux fractions et en le comparant avec le ratio théorique, la force de fragmentation déployée par la machine peut être ajustée par approche du ratio réel au ratio théorique.

Il est également possible d'utiliser un autre critère que celui du ratio entre gravillon et mortier. Par exemple, la présence de mortier implique une absorption d'eau d'autant plus importante que la quantité de mortier est importante. Ainsi, en évaluant en sortie de la machine 1 de fragmentation et après le tri, la quantité d'eau absorbée par la fraction censée comprendre le gravillon, on obtient une évaluation de la quantité de mortier qui reste accrochée au gravillon, et la force de fragmentation de la machine 1 de fragmentation peut être ajustée en conséquence.

Le réglage de la force de fragmentation par la vitesse ou le déphasage des vibrateurs 8a, 8b, 8c, 8d sur la machine 1 telle que présentée ci-dessus permet de réaliser un procédé particulièrement réactif, la force de fragmentation déployée par la machine étant modifiée en quelques secondes, sans avoir à arrêter la machine ni l'alimentation en matériau. En outre, grâce au réglage de la vitesse et du déphasage des vibrateurs 8a, 8b, 8c, 8d, il est possible d'obtenir une large gamme de valeurs pour la force de fragmentation déployée par la machine 1.

Toutefois, le procédé peut être mis en œuvre sur toute machine de fragmentation par compression de lit de matière et à inertie dans laquelle la vitesse et/ou le déphasage des vibrateurs sont réglables, manuellement ou automatiquement, pendant le fonctionnement de la machine ou à l'arrêt.

La figure 3 illustre un exemple de mise en œuvre du procédé selon l'invention sur la machine 1 présentée ci-dessus.

Plus précisément, le matériau 12 à fragmenter comprend au moins deux constituants, comme illustré schématiquement sur la figure 4. Selon

l'exemple du béton qui est décrit ici, le matériau 12 à fragmenter comprend une matrice 120 composée du mortier, c'est-à-dire un mélange de sable et de pâte de ciment, et de particules 121 de gravillon emprisonnées dans le mortier c'est-à-dire que la surface des particules 121 de gravillon est liée au mortier.

Le matériau 12 passe entre la piste 3a intérieure de fragmentation et la piste 5a extérieure de fragmentation. La pression exercée par le lit de matière sur le mortier et le gravillon permet de briser la liaison entre les particules de gravillon et le mortier, libérant le gravillon. Le matériau fragmenté est ensuite soumis à un tri dans un dispositif 13 de tri, par exemple basé sur la taille, étant attendu que les particules du gravillon sont de taille supérieure à celles du mortier. En sortie du dispositif 13 de tri, deux fractions sont récupérées : une première fraction 14 comprenant les particules de plus grande taille, et appelée fraction grossière, et une deuxième fraction 15 comprenant les particules plus fines, appelée fraction fine.

La fraction 14 grossière comprend ainsi le gravillon libéré du mortier, et de préférence du gravillon en grande majorité par rapport au mortier. Plus précisément, du mortier peut rester collé à certaines particules du gravillon. Cependant, de par la flexibilité de réglage de la force de fragmentation de la machine, il est possible de déterminer un taux acceptable pour la présence de mortier dans la fraction 14 grossière. En général, la proportion de mortier varie entre 10% et 70% en masse dans le béton alimentant la machine 1 de fragmentation. Après fragmentation, la fraction grossière peut alors contenir moins de 10% et de préférence moins de 5% en masse de mortier.

La fraction 15 fine comprend alors majoritairement, et de préférence exclusivement, du mortier qui est lui-même un mélange de sable et de pâte de ciment. Ainsi, afin de récupérer le sable, la fraction 15 fine peut être envoyée dans une deuxième machine 16 de fragmentation, sensiblement similaire à la machine 1 déjà décrite ci-dessus, afin de dissocier le sable de la pâte de ciment. De même que précédemment, le matériau récupéré en sortie de la deuxième machine 16 de fragmentation est soumis à un tri dans

un deuxième dispositif 17 de tri avec un critère de tri adapté à la séparation entre le sable et la pâte de ciment. Le passage dans la deuxième machine 16 de fraction est facultatif, car il se peut que tout le granulat, c'est-à-dire le sable et le gravillon, ait déjà été suffisamment dissocié de la pâte de ciment dans la première machine 1 de fragmentation de sorte que la fraction 15 fine peut directement être envoyée au deuxième dispositif 17 de tri. Le critère de tri peut là encore être basé sur la taille. Il est alors récupéré de nouveau deux fractions, à savoir une fraction comprenant des particules de taille supérieure à une valeur donnée correspondant à la taille minimale attendue pour du sable et une autre fraction comprenant les particules de taille inférieure à cette valeur donnée.

Selon un mode de réalisation, on fait recirculer tout ou partie du matériau fragmenté, c'est-à-dire après son passage dans la machine 1 de fragmentation, afin notamment d'homogénéiser les efforts de compression en multipliant les points de compression sur les particules du gravillon et donc limiter la production de particules de granulométrie inférieure à la granulométrie attendue pour le gravillon.

Plus précisément, par exemple, une partie du matériau fragmenté est récupérée directement en sortie de la machine 1 de fragmentation et renvoyée à l'alimentation de la machine 1.

En variante ou en combinaison, le matériau fragmenté est soumis à une étape de tri, et tout ou partie d'une ou de plusieurs fractions récupérées après le tri est renvoyé à l'alimentation de la machine 1.

En outre, la recirculation d'une fraction à la machine 1 peut être effectuée pour améliorer ce qui est appelé le coefficient d'aplatissement. Le coefficient d'aplatissement permet de caractériser la forme de particules, notamment pour les particules de gravillon dans le domaine du béton de ciment. Toutefois, cette notion peut être élargie à tous les matériaux artificiels hétérogènes. Le coefficient d'aplatissement donne notamment un indice sur la fragilité du gravillon. En effet, plus la forme est allongée et plate, plus la particule est fragile, rendant in fine le béton fragile. Ainsi, plus le coefficient d'aplatissement est élevé, plus les particules sont fragiles. Dès lors, il est possible de déterminer une valeur cible, ou en tout cas une

valeur maximale, pour le coefficient d'aplatissement attendu par exemple pour le gravillon en sortie de machine. En mesurant le coefficient d'aplatissement du gravillon après fragmentation, il est alors possible de régler le débit et/ou la plage granulométrique de chaque fraction recirculée en fonction de l'écart entre le coefficient d'aplatissement déterminé et le coefficient d'aplatissement mesuré.

De plus, la recirculation, notamment de la fraction 15 fine dans le cas du béton, peut également favoriser le phénomène d'attrition, notamment sur le mortier collé aux particules du gravillon dans le cas du béton, de manière à améliorer la libération du gravillon. Par exemple, on peut définir un taux de nettoyage caractérisant la quantité de mortier restant accroché aux particules de gravillon. Il peut par exemple s'agir de la masse de mortier que l'on récupère par différentes techniques, tel que le grattage ou un nettoyage chimique, sur un échantillon de particules de gravillon. Le taux de nettoyage peut également être défini à partir de la demande en eau. Ainsi, on peut déterminer un taux de nettoyage à atteindre, puis mesurer ce taux de nettoyage sur le gravillon après fragmentation. Le débit et/ou la plage granulométrique de chaque fraction recirculée sont alors réglés en fonction de l'écart entre le taux de nettoyage déterminé et le taux de nettoyage mesuré.

En variante ou en combinaison, un adjuvant peut être ajouté à l'alimentation de la machine 1 de fragmentation afin de faciliter la dissociation entre le gravillon et le mortier. L'adjuvant peut avoir pour effet par exemple d'affaiblir la liaison entre le mortier et le gravillon, ou encore d'éviter que les particules, aussi bien du gravillon que du mortier, ne s'agglomèrent, facilitant ainsi le criblage éventuel.

La machine 1 de fragmentation peut facilement être réglée de manière à obtenir le résultat visé. Le procédé permet ainsi d'obtenir de manière fiable une fraction comprenant du gravillon pouvant être utilisée directement dans la formulation d'un nouveau béton, sans étape supplémentaire de nettoyage. La machine permet par ailleurs de récupérer une fraction comprenant du sable et une fraction comprenant de la pâte de

ciment, qui peuvent à leur tour être réemployées dans la formulation d'un nouveau béton.

5 Bien que la description porte sur l'exemple du béton de ciment, grâce notamment à la flexibilité dans le réglage de la force de fragmentation, le procédé peut être mis en œuvre sur tout matériau artificiel hétérogène.

REVENDEICATIONS

1. Procédé pour dissocier différents constituants d'un matériau artificiel hétérogène, le procédé comprenant la fragmentation du matériau dans une machine (1) de fragmentation par compression en lit de matière sous l'effet d'une force de fragmentation, la machine (1) comportant :
 - une cuve (3) formant piste (3a) intérieure de fragmentation autour d'un axe longitudinal de la machine (1) ;
 - un moyeu (5) formant piste (5a) extérieure de fragmentation autour d'un axe longitudinal de la machine (1), le moyeu (5) étant placé à l'intérieur de la cuve (3) ;
 - au moins un vibreur (8a, 8b, 8c, 8d), mis en rotation autour d'un axe longitudinal de la machine (1), et relié à l'un ou l'autre de la cuve (3) et du moyeu (5) ;
 - un système (11) de contrôle d'au moins un paramètre de la force de fragmentation parmi la vitesse de rotation du ou des vibreurs (8a, 8b, 8c, 8d) et l'angle de déphasage entre au moins deux vibreurs (8a, 8b, 8c, 8d) ;
 le procédé comprenant :
 - la mise en rotation du ou des vibreurs (8a, 8b, 8c, 8d) de la machine (1) de fragmentation, de sorte que la cuve effectue un mouvement dans un plan transversal de la machine (1) par rapport au moyeu (5) ;
 - l'alimentation de la machine (1) de fragmentation en matériau à fragmenter ;
 - la fragmentation du matériau entre la piste (5a) extérieure et la piste (3a) intérieure de fragmentation ;
 le procédé étant caractérisé en ce que le système de contrôle règle au moins un paramètre de la rotation des vibreurs (8a, 8b, 8c, 8d) de manière à générer une force de fragmentation par la machine (1) permettant de dissocier au moins en partie au moins un des constituants du matériau des autres constituants.

2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel le moyeu (5) est de forme sensiblement conique et dans lequel la machine (1) comprend :

- un bâti (2) destiné à reposer sur le sol, le moyeu (5) étant supporté par le bâti (2) ;

5 – un châssis (4) mobile en translation au moins dans un plan transversal de la machine (1) par rapport au bâti (2), la cuve étant montée sur le châssis (4) mobile ;

- au moins un vibreur (8a, 8b, 8c, 8d) monté sur le châssis (4), et mis en rotation autour d'un axe longitudinal de la machine (1).

10

3. Procédé selon la revendication 1 dans lequel le moyeu (5) est de forme sensiblement conique et dans lequel la machine (1) comprend :

- un bâti (2) destiné à reposer sur le sol, le moyeu (5) étant supporté par le bâti (2) ;

15 – un châssis (4) mobile en translation au moins dans un plan transversal de la machine (1) par rapport au bâti (2), la cuve étant montée sur le châssis (4) mobile,

- au moins deux vibrateurs (8a, 8b, 8c, 8d) montés sur le châssis (4), chaque vibreur (8a, 8b, 8c, 8d) étant mis en rotation autour d'un axe longitudinal de la machine (1) par un moteur (10), chaque moteur (10) entraînant indépendamment les uns des autres le vibreur (8a, 8b, 8c, 8d) auquel il est associé ;

20 – un dispositif de gestion des moteurs (10) et un dispositif de mesure de l'angle de déphasage relatif entre les vibrateurs ;

25 procédé dans lequel le au moins un paramètre de la rotation des vibrateurs (8a, 8b, 8c, 8d) réglé par le système de contrôle est l'angle de déphasage relatif entre les vibrateurs (8a, 8b, 8c, 8d).

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel le au moins un paramètre de la rotation des vibrateurs (8a, 8b, 8c, 8d) est réglé de la manière suivante :

30 – déterminer dans le matériau à fragmenter un ratio cible entre au moins un constituant et les autres constituants ;

- récupérer en sortie de la machine (1) de fragmentation le matériau fragmenté ;
- déterminer au moins un critère de tri permettant de séparer l'au moins un constituant des autres constituants ;
- 5 – soumettre le matériau fragmenté à un tri au moyen dudit critère de tri déterminé de manière à récupérer au moins deux fractions ;
- déterminer un ratio réel entre les au moins deux fractions ;
- régler le au moins un paramètre de la rotation des vibrateurs (8a, 8b, 8c, 8d) en fonction de l'écart entre le ratio cible et le ratio réel.

10

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le au moins un paramètre de la rotation des vibrateurs (8a, 8b, 8c, 8d) est réglé de la manière suivante :

15

- déterminer au moins une propriété d'au moins un constituant du matériau ;
- à partir de ladite propriété déterminée, calculer une force cible permettant de dissocier le au moins un constituant des autres constituants ;
- régler le au moins un paramètre de la rotation des vibrateurs (8a, 8b, 8c, 8d) pour obtenir la force cible.

20

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel on récupère tout ou partie d'au moins une fraction du matériau fragmenté qui est recirculée à l'alimentation de la machine (1) de fragmentation.

25

7. Procédé selon la revendication 6, comprenant en outre les étapes suivantes :

30

- déterminer au moins un coefficient d'aplatissement cible pour au moins un constituant du matériau à fragmenter ;
- récupérer ledit au moins constituant après fragmentation ;
- mesurer ledit coefficient d'aplatissement dudit au moins constituant ;

- régler le débit et/ou la plage granulométrique de la au moins une fraction recirculée en fonction de l'écart entre le coefficient d'aplatissement déterminé et le coefficient d'aplatissement mesuré.

5 8. Procédé selon la revendication 6 ou la revendication 7, comprenant en outre les étapes suivantes :

- déterminer un taux de nettoyage pour au moins un constituant du matériau à fragmenter ;

- récupérer ledit au moins constituant après fragmentation ;

10 – mesurer ledit taux de nettoyage dudit au moins constituant ;

- régler le débit et/ou la plage granulométrique de la au moins une fraction recirculée en fonction de l'écart entre le taux de nettoyage déterminé et le taux de nettoyage mesuré.

15 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le matériau à fragmenter est un béton et comprend un premier constituant appelé gravillon et un deuxième constituant appelé mortier, le gravillon étant emprisonné dans le mortier, le procédé comprenant la détermination d'une force cible de fragmentation engendrant une contrainte
20 dans le lit de matière supérieure ou égale à la résistance à la compression du béton.

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le matériau à fragmenter est un béton et comprend un premier
25 constituant appelé gravillon et un deuxième constituant appelé mortier, le gravillon étant emprisonné dans le mortier, le procédé comprenant :

- la récupération en sortie de la machine de fragmentation du gravillon et du mortier ;

- la soumission du gravillon et du mortier à un tri entre particules dites
30 grossières d'une taille supérieure à une valeur donnée correspondant à la taille minimale attendue du gravillon et particules dites fines de taille inférieure à ladite valeur donnée.

11. Procédé selon la revendication 7, comprenant en outre l'étape suivante :

5 soumettre la fraction fine à un deuxième tri pour séparer d'une part des particules d'une taille supérieure à une deuxième valeur donnée correspondant à la taille minimale attendue pour du sable et d'autre part les particules de taille inférieure à ladite deuxième valeur donnée.

12. Procédé selon la revendication 7 ou la revendication 8, comprenant en outre l'étape suivante :

10 soumettre la fraction fine à une deuxième étape de fragmentation et à une étape de tri pour séparer des particules d'une taille supérieure à une deuxième valeur donnée correspondant à la taille minimale attendue pour du sable et les particules de taille inférieure à ladite deuxième valeur donnée.

15

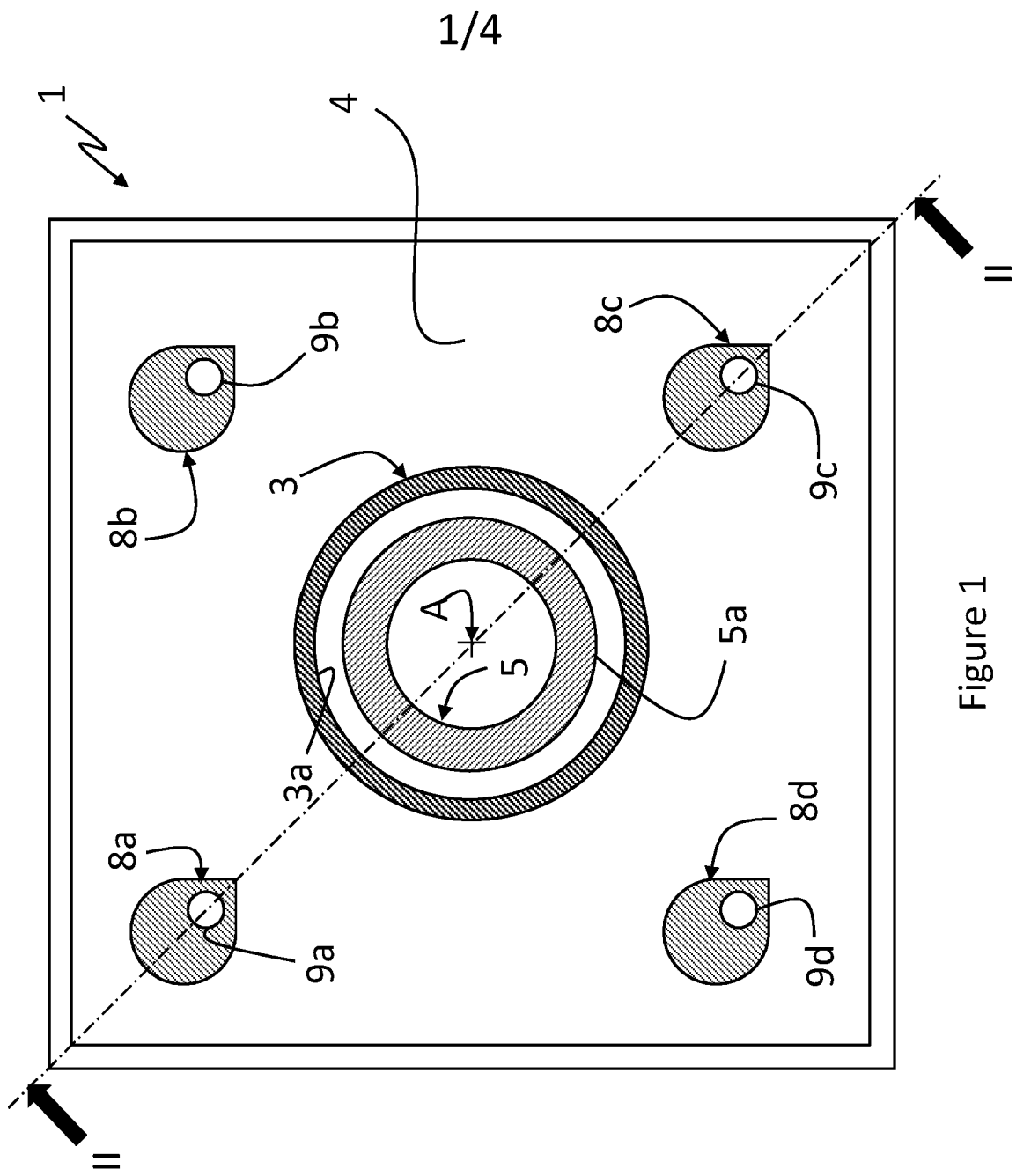


Figure 1

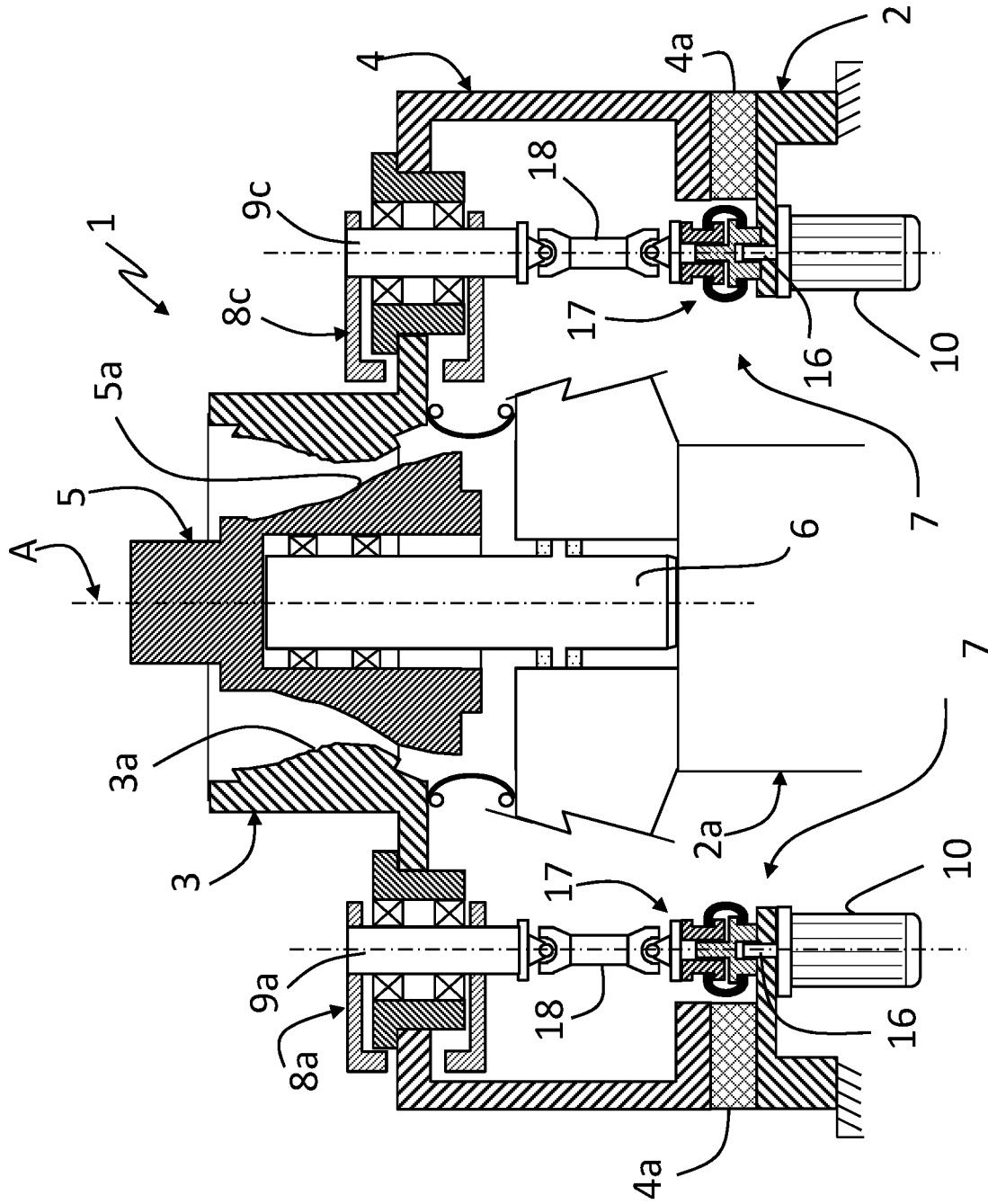


Figure 2

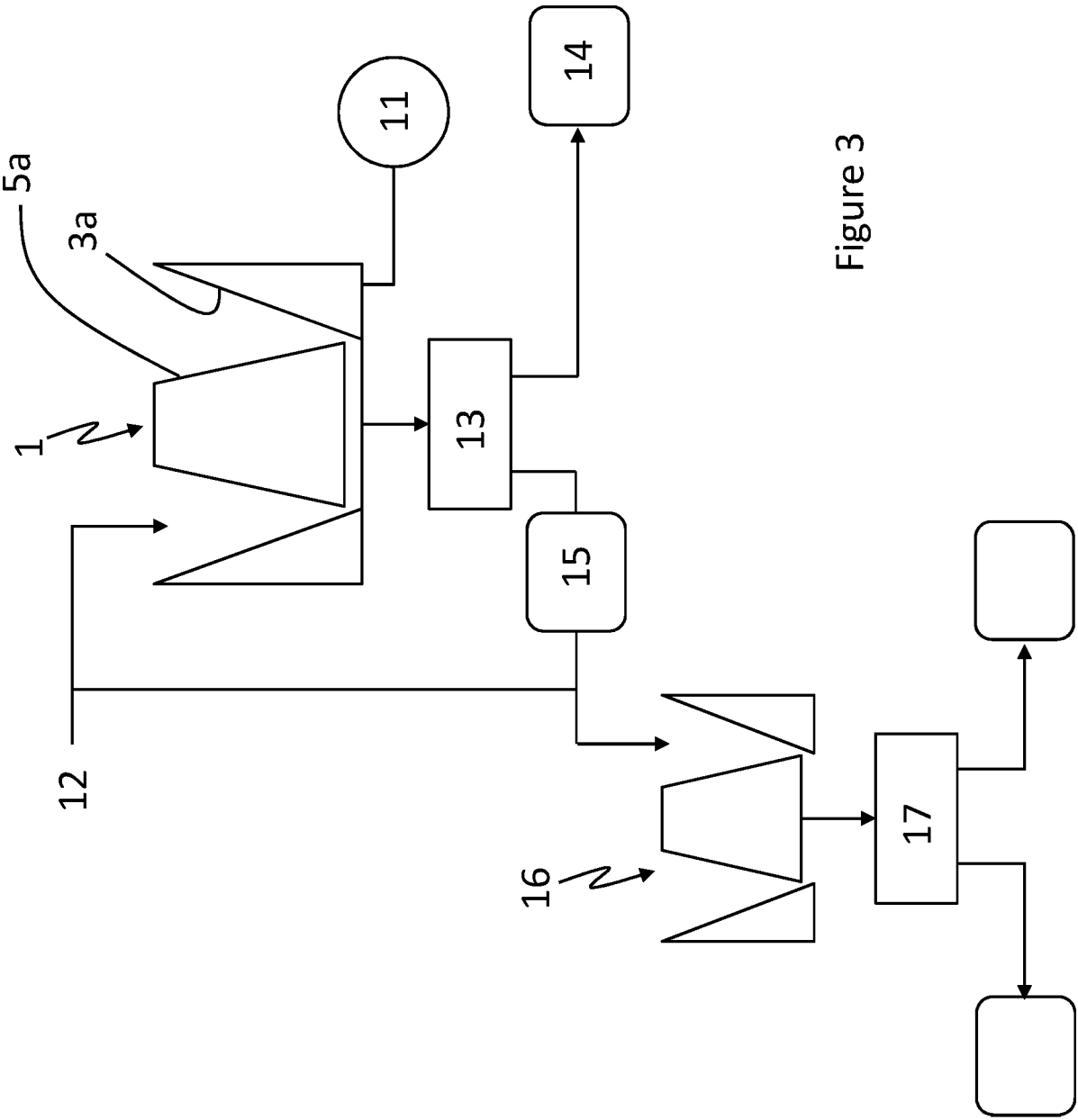


Figure 3

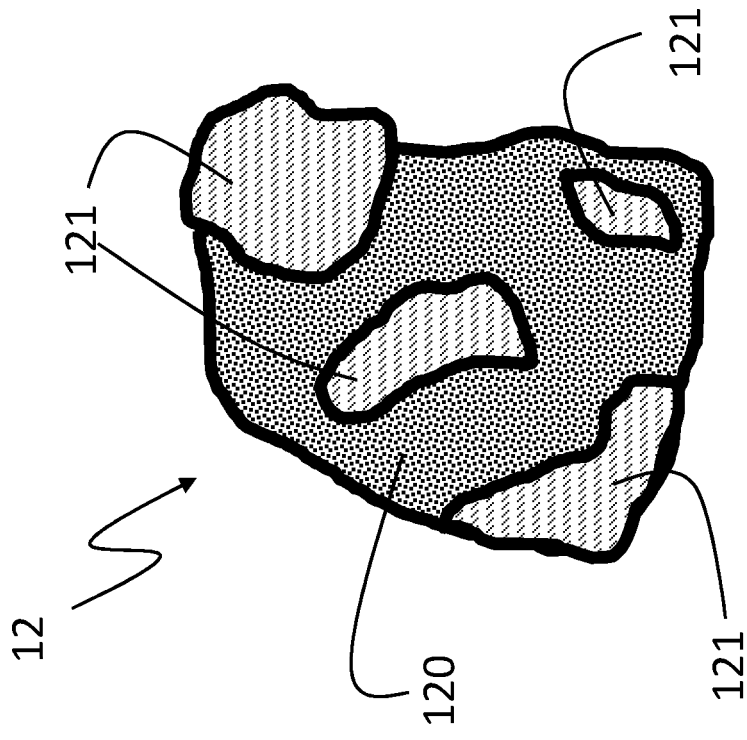


Figure 4

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☐ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION

NEANT

2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL

JP H09 262489 A (NITTETSU MINING CO LTD) 7 octobre 1997 (1997-10-07)

JP 2009 013016 A (RASA IND LTD; SHINOZAKI KENZAI KK; URAS TECHNO KK) 22 janvier 2009 (2009-01-22)

US 2011/139913 A1 (FRIED ANDREW CHARLES [US]) 16 juin 2011 (2011-06-16)

3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES

NEANT