

②② **Date de dépôt : 16.12.22.**

③③ **Priorité :**

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 21.06.24 Bulletin 24/25.

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

⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦¹ **Demandeur(s) :** *BRGM Etablissement public* — FR.

72 Inventeur(s) : MENAD Nour-Eddine, BRU Kathy et BOUCHERON Maxime.

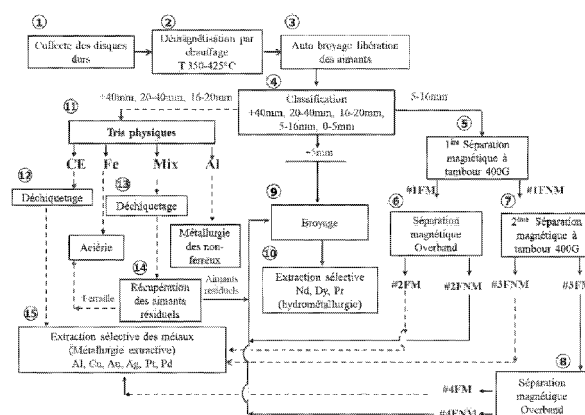
⑦³ Titulaire(s) : BRGM Etablissement public.

74 Mandataire(s) : LLR.

⑤4 Procédé de récupération d'aimants permanents et des métaux de valeurs des disques durs.

⑤7) Procédé de récupération d'aimants permanents de type NdFeB à partir de déchets d'équipements électriques et électroniques, comprenant les étapes successives suivantes :- soumettre des aimants permanents désaimantés à une première séparation magnétique à tambour 400 G, - récupérer une première phase magnétique (1FM), - soumettre la première phase magnétique (1FM) à une première séparation magnétique sur un séparateur Overband, de manière qu'une deuxième phase non magnétique (2FNM) issue de la première séparation magnétique Overband soit enrichie en aimants désaimantés, - récupérer la deuxième phase non magnétique (2FNM).

Figure pour l'abrégé : figure 1



Description

Titre de l'invention : Procédé de récupération d'aimants permanents et des métaux de valeurs des disques durs

- [0001] 1 – Domaine technique de l'invention
- [0002] L'invention concerne un procédé de récupération d'aimants permanents du type NdFeB à partir de déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), et en particulier de disques durs issus des DEEE. L'invention concerne également un procédé d'extraction de métaux tels que les terres rares, l'aluminium, le cuivre, l'or, l'argent, le platine et le palladium, à partir de DEEE.
- [0003] 2 - Etat de l'art
- [0004] L'utilisation croissante des terres rares (TR) dans de nombreuses innovations technologiques récentes a conduit à une forte augmentation de leur demande. Les technologies vertes contribuant à réduire les impacts environnementaux du fait de leur consommation énergétique réduite et particulièrement friandes de ces éléments, contribuent largement à cette demande durable. Dans ce contexte, l'Europe place le recyclage, dans sa stratégie « Matières premières », comme un des piliers principaux permettant de sécuriser une partie de ses approvisionnements de métaux stratégiques dont les terres rares. Les opérations de recyclage des terres rares, à l'échelle industrielle, demeurent assez peu nombreuses bien qu'elles présentent de nombreux avantages par rapport à l'exploitation des ressources primaires :
- [0005] - L'Europe constitue une des plus importantes régions de consommation de terres rares au travers de ses industries à hautes valeurs ajoutées. Elle a en outre accumulé pendant des dizaines d'années des biens de consommation qui, arrivés en fin de vie, constituent des ressources secondaires d'où peuvent être extraites des terres rares.
- [0006] - La dépendance européenne et française vis-à-vis des ressources provenant de pays étranger pourrait être réduite au travers du recyclage des déchets post-consommation.
- [0007] - Le traitement de ressources secondaires pour la production de terres rares n'entraînerait pas de risques sanitaires et environnementaux, alors que l'exploitation des gisements primaires présente de tels risques, liés à la présence de radionucléides dans les gisements primaires.
- [0008] - La production de ressources métalliques par exploitation des ressources secondaires se fait le plus souvent avec des consommations énergétiques bien inférieures à celles observées pour l'exploitation des ressources primaires.
- [0009] Par ailleurs, le volume de production de Néodyme a augmenté de façon spectaculaire, depuis le développement des aimants puissants (Nd-Fe-B) en 1980. Ce développement a permis d'améliorer considérablement la performance des petits moteurs

et de réduire l'encombrement et le poids des appareils électroniques portatifs. A titre d'exemple, la plupart des téléphones mobiles utilisent des moteurs miniaturisés construits sur la base de petits aimants à base de Nd pour leurs fonctions de vibration. Ces aimants sont également très largement utilisés dans les disques durs d'ordinateurs où ils constituent le moteur qui assure le positionnement des têtes de lecture/écriture. Ils permettent d'améliorer sensiblement les performances de ce périphérique de stockage et contribue à la réduction de taille des ordinateurs. La révolution technologique des pays développés a fait apparaître des déficits d'approvisionnement et des tensions qui se sont traduits par une envolée des prix depuis janvier 2010.

- [0010] Cependant, le recyclage des aimants permanents contenus dans les catégories de DEEE se heurte à de nombreux verrous comme ceux cités ci-après.
- [0011] - Le gisement de DEEE est hétérogène et il est difficile d'obtenir des échantillons représentatifs.
- [0012] - Les terres rares sont dispersées dans le gisement de DEEE.
- [0013] - Le contenu en terres rares du flux de petits appareils en mélange (PAM) et des unités centrales est méconnu.
- [0014] - La propriété magnétique des aimants permanents constitue un verrou technique lors des opérations de recyclage ; en effet, ces aimants « collent » dans les équipements de broyage et de tri.
- [0015] - Les DEEE en entrée de procédé sont du tout-venant, à la base du procédé, et leur nature est donc variable.
- [0016] - L'efficacité des opérations unitaires de broyage et de tri à partir de matrices complexes est interrogée. A titre d'exemple, un disque dur est constitué de 80% d'aluminium, 7% de carte électronique, 8% de ferraille, 1% de plastiques, 3% d'aimants et de 1% d'autres métaux.
- [0017] - La séparation des terres rares des métaux constitutifs des revêtements des aimants dans la fraction inférieure à 80 µm obtenue après broyage est difficile.
- [0018] Cependant au Japon, on recycle déjà les terres rares issues des aimants permanents. Le recyclage est réalisé essentiellement par métallurgie extractive.
- [0019] En France, les réflexions actuelles portent sur le recyclage des aimants contenus dans les éoliennes et les véhicules hybrides ou tout électriques.
- [0020] Le document WO2017/079183 propose également un procédé de recyclage d'aimants contenant des terres rares à partir d'articles manufacturés. Ce procédé prévoit d'aligner dans une orientation prédéterminée les articles manufacturés, de séparer alors les aimants des articles manufacturés, puis de chauffer pour désaimanter, ou démagnétiser, les aimants. Enfin, les aimants désaimantés sont séparés des parties résiduelles des articles de fabrication. Ce procédé requiert donc une installation particulière, en particulier pour l'alignement des articles. C'est un procédé long et lourd économiquement,

avec un rendement faible.

[0021] L'Institut Fraunhofer a développé un procédé de recyclage des aimants des moteurs et générateurs électriques en utilisant la fusion des aimants dans un four à induction à 1000°C. Un inconvénient de ce type de procédé par fusion est lié à la dépense énergétique qui induit un coût élevé. De plus, le rendement de ce procédé est à améliorer, et la qualité du produit obtenu est également à améliorer.

[0022] Enfin il a également été proposé de récupérer des aimants de disques durs grâce à un tri mécanique. Les aimants désaimantés par traitement thermique sont récupérés en utilisant la fragmentation, la classification et la séparation magnétique. Dans ce procédé, une fraction riche en aimants est récupérée dans la fraction magnétique. Ainsi dans ce procédé, les aimants sont récupérés avec d'autres objets magnétiques, comme par exemple des ferrailles. Pour purifier les aimants, il faut ensuite les séparer de ces autres objets magnétiques. Le rendement de ce procédé n'est donc pas optimal.

[0023] **Description de l'invention**

[0024] L'invention a notamment pour but de proposer un procédé alternatif de récupération des aimants permanents, ne présentant pas tout ou partie de ces inconvénients.

[0025] A cet effet, l'invention a pour objet un procédé de récupération d'aimants permanents de type NdFeB à partir de déchets d'équipements électriques et électroniques. Le procédé comprend les étapes successives suivantes :

- soumettre des aimants permanents désaimantés à une première séparation magnétique à tambour 400 G,
- récupérer une première phase magnétique,
- soumettre la première phase magnétique à une première séparation magnétique sur un séparateur Overband, de manière qu'une deuxième phase non magnétique issue de la première séparation magnétique Overband soit enrichie en aimants désaimantés,
- récupérer la deuxième phase non magnétique.

[0026] Du fait en particulier de leur contenu en alliage de fer, les aimants permanents désaimantés, lorsqu'ils sont soumis à une séparation magnétique, sont entraînés dans la fraction magnétique. De façon surprenante, les inventeurs ont développé un procédé permettant, par séparation magnétique, de séparer les aimants désaimantés du reste de la fraction magnétique, qui inclut par exemple les ferrailles. Il n'est donc pas besoin d'étape complémentaire pour séparer les aimants des ferrailles. Le procédé selon l'invention présente un rendement amélioré. Par ailleurs, lorsque les aimants récupérés sont utilisés pour obtenir des terres rares, il est particulièrement avantageux de limiter la présence de fer car celui-ci devra ensuite être séparé des terres rares.

[0027] Les séparateurs magnétiques Overband sont utilisés classiquement dans les dispositifs de traitement de déchets. Ainsi par exemple dans le document FR2962924, un séparateur Overband assure l'extraction des résidus ferreux dissociés des autres

matières lors d'un broyage précédent. L'Overband comprend un système magnétique fixe autour duquel tourne une bande d'évacuation. Il est placé au-dessus ou au-dessous d'un convoyeur et permet d'entraîner hors du convoyeur les particules magnétiques et laisser passer les particules non magnétiques. De façon standard, l'intensité du champ magnétique de l'Overband est comprise entre 380 et 400 G.

- [0028] Pour obtenir les aimants désaimantés, les DEEE sont tout d'abord chauffés de préférence entre 325°C et 450°C, c'est-à-dire au-delà de leur température de Curie. Par exemple, on traite une tonne de disques durs pendant au minimum 2 heures dans un four. Les DEEE sont ensuite broyés, de préférence dans un broyeur autogène.
- [0029] Suivant d'autres caractéristiques optionnelles du procédé de récupération d'aimants, prises seules ou en combinaison :
- [0030] - Le séparateur Overband comprend un système magnétique fixe placé au-dessus ou au-dessous d'un convoyeur pour convoier les aimants désaimantés, et le système magnétique est situé à une distance allant de 7 à 15 cm, de préférence de 8 à 10 cm, de façon préférée d'environ 9 cm. A cette distance, les aimants désaimantés sont entraînés dans la fraction non magnétique. Pour faire passer les aimants dans la fraction non magnétique, on aurait pu penser par exemple à faire varier l'intensité du champ magnétique. L'intervention au niveau de la distance permet de façon simple et efficace de faire passer les aimants désaimantés dans la fraction non magnétique.
- [0031] - Les aimants désaimantés sont obtenus par broyage puis sélection de la fraction de particules dont la taille va jusqu'à 16 mm. En sélectionnant ces tailles de particules, on concentre les aimants car on identifie visuellement que l'essentiel des aimants se trouvent dans cette fraction.
- [0032] - On sélectionne les particules dont la taille est supérieure à 5 mm. En effet la fraction de particules de taille inférieure à 5 mm est mal adaptée à la séparation magnétique et le passage de ces particules de taille inférieure à 5 mm dans les séparateurs magnétiques risque de polluer les phases obtenues à l'issue des séparations, ces particules de petite taille n'ayant pas nécessairement le comportement attendu. Par ailleurs la fraction inférieure à 5 mm ne contient pas beaucoup d'aimants.
- [0033] - Les aimants permanents sont récupérés à partir de disques durs issus des déchets d'équipements électriques et électroniques. Parmi ces déchets, les disques durs contiennent systématiquement des aimants permanents. On concentre ainsi les aimants permanents sur lesquels le procédé de récupération va être mis en œuvre.
- [0034] - Le procédé comprend en outre au moins une des étapes successives suivantes :
 - . récupération d'une première phase non magnétique à l'issue de la première séparation magnétique à tambour 400 G,
 - . deuxième séparation magnétique à tambour 400 G de la première phase non magnétique, pour obtenir une troisième phase magnétique,

. deuxième séparation magnétique Overband de la troisième phase magnétique, et
 . récupération d'une quatrième phase non magnétique.

Avantageusement, ces étapes supplémentaires sont combinées ensemble et permettent de récupérer des aimants qui n'étaient pas passés dans la phase magnétique à l'issue de la première séparation magnétique à tambour 400 G.

- [0035] - Le procédé comprend en outre une étape préalable de désaimantation par chauffage entre 325°C et 450°C des déchets d'équipements électriques et électroniques. Par exemple, une tonne de disques durs est chauffée entre 325°C et 450°C pendant 2 heures dans un four à induction.
- [0036] Le procédé comprend également une étape préalable de libération des aimants désaimantés par broyage. Par exemple, 50 kg de disques durs sont soumis pendant 45 minutes à un broyage dans un broyeur autogène, à une vitesse de rotation de 25 tours/minute.
- [0037] L'invention porte également sur les produits obtenus directement du procédé de récupération d'aimants selon l'invention et leur utilisation subséquente notamment dans le domaine de l'électronique.
- [0038] L'invention a également pour objet un procédé d'extraction de métaux tels que les terres rares, l'aluminium, le cuivre, l'or, l'argent, le platine et le palladium, à partir d'aimants permanents de type NdFeB de déchets d'équipements électriques et électroniques, incorporant un procédé de récupération d'aimants tel que décrit ci-avant.
- [0039] L'invention porte également sur les produits obtenus directement du procédé d'extraction de terres rares selon l'invention et leur utilisation subséquente notamment dans le domaine de l'électronique.
- [0040] L'invention a aussi pour objet un procédé de fabrication d'aimants permanents à partir d'aimants permanents de type NdFeB de déchets d'équipements électriques et électroniques, incorporant un procédé de récupération d'aimants tel que décrit ci-avant.
- [0041] L'invention porte également sur les produits obtenus directement du procédé de fabrication d'aimants selon l'invention et leur utilisation subséquente notamment dans le domaine de l'électronique.

Brève description des figures

- [0042] L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en se référant aux dessins annexés dans lesquels :
- [0043] [Fig.1] schématise un procédé de récupération de métaux, incluant les étapes du procédé de récupération d'aimants permanents selon l'invention ;
- [0044] [Fig.2] est une photographie de la fraction supérieure à 40 mm obtenue après l'étape de classification d'un procédé de récupération des aimants selon l'invention ;
- [0045] [Fig.3] est une photographie de la fraction de 20 à 40 mm obtenue après l'étape de

classification d'un procédé de récupération des aimants selon l'invention ;

[0046] [Fig.4] est une photographie de la fraction inférieure à 5 mm obtenue après l'étape de classification d'un procédé de récupération des aimants selon l'invention ;

[0047] [Fig.5] est une photographie de la fraction de 5 à 16 mm obtenue après l'étape de classification d'un procédé de récupération des aimants selon l'invention ;

[0048] [Fig.6] est une photographie de la fraction obtenue à l'étape 9 d'un procédé de récupération des aimants selon l'invention.

Description détaillée

[0049] La [Fig.1] schématise un procédé de récupération de métaux, dont une extraction de terres rares. Ce procédé inclut les étapes du procédé de récupération d'aimants permanents selon l'invention (étapes 1 à 10 du procédé schématisé). Dans le procédé selon l'invention, les aimants sont récupérés à partir de déchets DEEE. Dans l'exemple décrit ci-après, les aimants permanents sont plus particulièrement récupérés à partir de disques durs issus de DEEE.

[0050] Exemple 1

[0051] Dans les premières étapes 1 et 2, les aimants sont récupérés à partir des disques durs et désaimantés. Ils sont ensuite libérés par broyage lors de l'étape 3. Les terres rares contenues dans les aimants sont ensuite récupérées sélectivement par voie hydrométallurgique au cours des étapes 9 et 10. Les autres métaux séparés des aimants sont déchiquetés et récupérés par métallurgie extractive lors des étapes 11 à 15.

[0052] Dans l'étape 1, un lot de disques durs usagés collectés sur le site d'un industriel a été collecté. De façon connue en soi, les industriels récupèrent des disques durs usagés selon deux techniques, à savoir le démantèlement manuel et le démantèlement mécanique des petits appareils en mélange (PAM) en utilisant un tambour rotatif avec releveurs pour libérer les composants des ordinateurs.

[0053] Dans l'étape 2, une tonne de disques durs a ensuite été chauffée entre 325°C et 450°C (température de Curie) afin de désaimanter les aimants, de façon également connue en soi. Plus précisément, les aimants ont été chauffés à 350°C pendant 2 heures dans un four à induction.

[0054] Dans l'étape 3, environ 415 kg de disques durs issus de l'étape 2 ont été introduits dans un broyeur autogène pour libérer les aimants des disques durs. Les disques durs étaient regroupés par lots de 50 kg. Chaque lot était placé dans le broyeur autogène pendant 45 minutes, à une vitesse de rotation de 25 tours/minute.

[0055] Lors de l'étape 4, les broyats issus de l'étape 3 ont été classifiés par tamisage dans différentes classes granulométriques : taille supérieure à 40 mm, 20 à 40 mm, 16 à 20 mm, 5 à 16 mm et taille inférieure à 5 mm. La fraction granulométrique inférieure à 40 mm a été tamisée à 5, 16 et 20 mm. Les fractions de taille inférieure à 5 mm, 5 à 16

mm, 16 à 20 mm et taille supérieure à 20 mm représentaient respectivement 14,2 %, 19,9 %, 8,2 % et 57,7 % en poids.

[0056] Les figures 2, 3, 4 et 5 montrent respectivement des photographies de la fraction de taille supérieure à 40 mm, de la fraction de 20 à 40 mm, de la fraction de taille inférieure à 5 mm et de la fraction de 5 à 16 mm.

[0057] On identifie visuellement que les aimants sont plus présents dans les deux fractions 5 - 16 mm et de taille inférieure à 5 mm. Ainsi la classification permet de concentrer les aimants permanents à récupérer.

[0058] Des aimants permanents de disques durs récupérés à l'issue de l'étape de classification ont été soumis à une analyse chimique qualitative par microscopie électronique à balayage – spectroscopie à dispersion d'énergie (MEB EDS). En microscopie électronique à balayage, les aimants ont une structure granulaire. Ils sont constitués de cristaux de phase $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ frittés en présence d'une phase intergranulaire. L'analyse a été faite sur les cristaux.

[0059] Le tableau suivant présente la répartition des éléments chimiques détectés.

[0060] [Tableaux1]

élément	% en masse	$\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ théorique
Nd	28,1	27,0
Fe	69,6	72,0
Dy	2,3	1,0

[0061] Ainsi dans les cristaux de phase $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ fritté, le Fe est majoritaire et le Nd est bien représenté. Dans la phase inter-granulaire, on identifie en particulier les raies d'émission du Nd et du Pr. Ainsi les aimants contiennent un alliage de Nd/ Fe/B comme matrice et d'autres terres rares comme Dy, et Pr sous forme d'oxydes se présentent dans les interfaces.

[0062] Les étapes 5 à 8 du procédé de la [Fig.1] ont été réalisées à partir de la fraction 5 - 16 mm issue de l'étape 4 de classification.

[0063] Dans l'étape 5, environ 80 kg de la fraction 5 à 16 mm ont été soumis à une séparation magnétique à aimant permanent à basse intensité à tambour sec (400G), pour séparer les produits magnétiques et non magnétiques. Une analyse visuelle a montré que la fraction magnétique 1FM obtenue était riche en aimants.

[0064] Lors d'une étape 6, la fraction magnétique 1FM issue de l'étape 5 a été traitée par un séparateur magnétique Overband. Lors de cette étape 6, le séparateur magnétique Overband était distancé du tapis transporteur de 8 à 10 cm. Dans ces conditions, la fraction non-magnétique 2FNM issue de l'étape 6 de séparation Overband était riche

en aimants.

[0065] Ainsi le procédé de récupération exemplifié comprend les étapes successives suivantes :

- soumettre les aimants permanents désaimantés à une séparation magnétique à tambour 400 G,
- récupérer une phase magnétique 1FM,
- soumettre la phase magnétique 1FM à une séparation magnétique sur un séparateur Overband, de manière qu'une phase non magnétique 2FNM issue de la séparation magnétique Overband soit enrichie en aimants désaimantés.

[0066] La fraction non magnétique 2FNM issue de l'étape 6, enrichie en aimants, a ensuite été soumise aux étapes 9 et 10 qui seront décrites plus loin. Alternativement, la fraction non magnétique 2FNM est utilisée pour fabriquer des aimants permanents. En effet, la fraction non magnétique peut suivre une « boucle longue », c'est à dire un traitement hydrométallurgique pour extraire des terres rares, puis éventuellement fabriquer des aimants permanents à partir de ces terres rares. Elle peut également suivre une « boucle courte », c'est à dire que la phase non magnétique est utilisée pour former à nouveau des aimants, sans passer par des étapes de récupération de terres rares par un procédé hydrométallurgique. Dans la boucle courte, la phase magnétique est par exemple réduite en poudre, et des aimants sont à nouveau fabriqués à partir de cette poudre. La boucle courte implique en général une supplémentation de matières.

[0067] La fraction magnétique 2FM issue de l'étape 6 a ensuite été soumise à l'étape 15 qui sera décrite plus loin.

[0068] Lors de l'étape 7, la fraction non magnétique 1FNM issue de l'étape 5 a été soumise à une deuxième séparation magnétique dans les mêmes conditions que dans l'étape 5.

[0069] A l'issue de l'étape 7, lors de l'étape 8, la fraction magnétique 3FM a été soumise à une séparation magnétique dans les mêmes conditions que dans l'étape 6. La fraction non magnétique 3FNM issue de l'étape 7 a ensuite été soumise à l'étape 15.

[0070] A l'issue de l'étape 8, les fractions magnétique 4FM et non magnétique 4NFM ont été traitées respectivement comme les fractions 2FM et 2FNM en sortie de l'étape 6.

[0071] Ainsi le procédé comprend en outre les étapes successives suivantes :

- . récupération d'une première phase non magnétique 1FNM à l'issue de la première séparation magnétique à tambour 400 G,
- . deuxième séparation magnétique à tambour 400 G de la première phase non magnétique 1FNM, pour obtenir une troisième phase magnétique 3FM,
- . deuxième séparation magnétique Overband de la troisième phase magnétique 3FM,
- et
- . récupération d'une quatrième phase non magnétique 4FNM.

Ces étapes supplémentaires permettent de récupérer des aimants qui n'étaient pas

passés dans la phase magnétique 1FM à l'issue de la première séparation magnétique à tambour 400 G.

- [0072] Au total, environ 32 kg de la fraction riche en aimants (phases 2FNM et 4FNM) représentant 7,7 % en poids des disques durs soumis au procédé, ont été obtenus.
- [0073] Lors des étapes 9 et 10, les fractions riches en aimants, respectivement 2FNM issue de l'étape 6, et 4FNM issue de l'étape 8, sont broyées (étape 9), de même que la fraction inférieure à 5mm ([Fig.4]), et sont lixiviées pour récupérer sélectivement les terres rares lors de l'étape 10, selon le procédé décrit dans le document WO 2017207947 du déposant.
- [0074]
- [0075] Ainsi, on a extrait des terres rares à partir d'aimants permanents de type NdFeB de déchets d'équipements électriques et électroniques, en mettant en œuvre le procédé de récupération d'aimants décrit ci-avant.
- [0076] Alternativement, on fabrique des aimants permanents à partir d'aimants permanents de type NdFeB de déchets d'équipements électriques et électroniques, en mettant en œuvre le procédé de récupération d'aimants décrit ci-avant.
- [0077] Les étapes 11 à 15 recensent les étapes mises en œuvre, à l'issue de l'étape 4 (classification), sur les fractions de taille supérieure à 40 mm, 20 à 40 mm, 16 à 20 mm, et sur les fractions magnétiques 2FM et 4FM, pour récupérer d'autres métaux contenus dans les disques durs.
- [0078] Les fractions de taille supérieure à 40 mm, 20 à 40 mm et 16 à 20 mm sont triées par des opérations unitaires utilisées dans la minéralurgie : techniques de tris physiques (séparation magnétique Overband pour récupérer la ferraille, séparation de courant de Foucault pour récupérer l'aluminium et les cartes électroniques lors de l'étape 11). Le fer métallique est récupéré par la séparation magnétique et recyclé dans les aciéries électriques. Les cartes électroniques CE sont récupérées par le tri optique ou par le séparateur de courant Foucault, et déchiquetées (étape 12). Les cartes électroniques récupérées sont injectées dans les fours de la métallurgie du cuivre pour récupérer le cuivre et les métaux précieux (étape 15). L'aluminium et les fils de cuivre sont récupérés par le séparateur de courant Foucault ou par le séparateur gravimétrique. Les différents métaux contenus sont récupérés sélectivement par la métallurgie extractive (étape 15). Les métaux récupérés sont envoyés aux fondeurs.
- [0079] La fraction mixte issue de l'étape 11 est déchiquetée (étape 13) pour libérer les différents métaux et les aimants contenus.
- [0080] Les aimants résiduels sont déchiquetés et broyés à 80 µm. Les analyses au MEB montrent que le produit pulvérisé est concentré en terres rares (27% Nd, 5%Dy et de 3% Pr). Ces terres rares sont récupérées sélectivement par les techniques hydrométallurgiques conventionnelles. Comme représenté sur la [Fig.1], les aimants résiduels

peuvent être traités par les étapes 9 et 10 du procédé.

- [0081] Le mélange (plastiques, métaux et céramique) est décheté pour libérer les différents composés, et traité par la pyrolyse pour éliminer les résines et concentrer les métaux (de base et précieux) qui seront récupérés sélectivement par voie hydrométallurgique.
- [0082] L'aluminium et la ferraille récupérés de l'étape 11 sont envoyés respectivement à la métallurgie des non ferreux et à la sidérurgie.
- [0083] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation présentés et d'autres modes de réalisation apparaîtront clairement à l'homme du métier

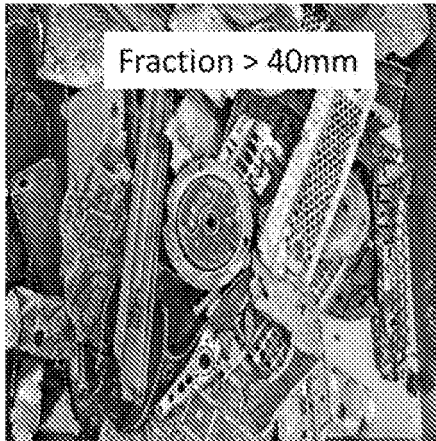
Revendications

- [Revendication 1] Procédé de récupération d'aimants permanents de type NdFeB à partir de déchets d'équipements électriques et électroniques, comprenant les étapes successives suivantes :
- soumettre des aimants permanents désaimantés à une première séparation magnétique à tambour 400 G,
 - récupérer une première phase magnétique (1FM),
 - soumettre la première phase magnétique (1FM) à une première séparation magnétique sur un séparateur Overband, de manière qu'une deuxième phase non magnétique (2FNM) issue de la première séparation magnétique Overband soit enrichie en aimants désaimantés,
 - récupérer la deuxième phase non magnétique (2FNM).
- [Revendication 2] Procédé de récupération d'aimants permanents selon la revendication précédente, dans lequel le séparateur Overband comprend un système magnétique fixe placé au-dessus ou au-dessous d'un convoyeur pour convoyer les aimants désaimantés, et le système magnétique est situé à une distance allant de 7 à 15 cm, de préférence de 8 à 10 cm, de façon préférée d'environ 9 cm.
- [Revendication 3] Procédé de récupération d'aimants permanents selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les aimants désaimantés sont obtenus par broyage puis sélection de la fraction de particules dont la taille va jusqu'à 16 mm.
- [Revendication 4] Procédé de récupération d'aimants permanents selon la revendication précédente, dans lequel on sélectionne les particules dont la taille est supérieure à 5 mm.
- [Revendication 5] Procédé de récupération d'aimants permanents selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les aimants permanents sont récupérés à partir de disques durs issus des déchets d'équipements électriques et électroniques.
- [Revendication 6] Procédé de récupération d'aimants permanents selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre les étapes successives suivantes :
- récupération d'une première phase non magnétique (1FNM) à l'issue de la première séparation magnétique à tambour 400 G,
 - deuxième séparation magnétique à tambour 400 G de la première phase non magnétique (1FNM), pour obtenir une troisième phase magnétique (3FM),

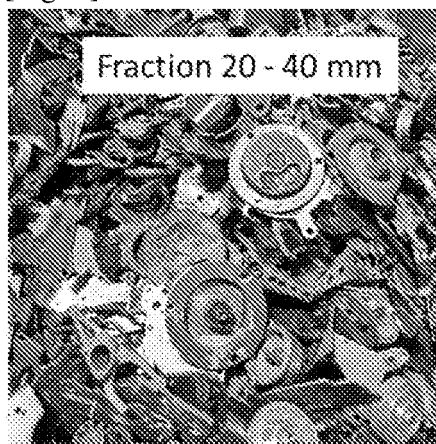
- deuxième séparation magnétique Overband de la troisième phase magnétique (3FM), et
- récupération d'une quatrième phase non magnétique (4FNM).

- [Revendication 7] Procédé de récupération d'aimants permanents selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une étape préalable de chauffage entre 325°C et 450°C des déchets d'équipements électriques et électroniques.
- [Revendication 8] Procédé de récupération d'aimants permanents selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une étape de broyage des aimants désaimantés, par exemple dans un broyeur autogène.
- [Revendication 9] Procédé d'extraction de métaux tels que les terres rares, l'aluminium, le cuivre, l'or, l'argent, le platine et le palladium, à partir d'aimants permanents de type NdFeB de déchets d'équipements électriques et électroniques, incorporant un procédé de récupération d'aimants selon l'une quelconque des revendications précédentes.
- [Revendication 10] Procédé de fabrication d'aimants permanents à partir d'aimants permanents de type NdFeB de déchets d'équipements électriques et électroniques, incorporant un procédé de récupération d'aimants selon l'une quelconque des revendications 1 à 8.

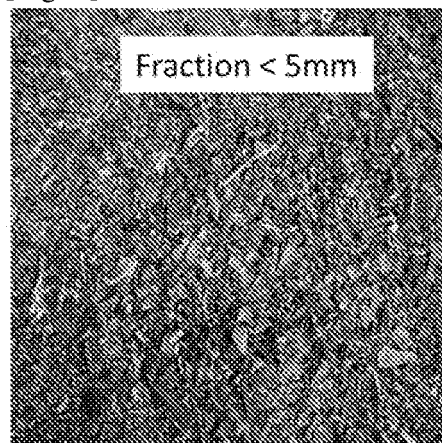
[Fig. 2]



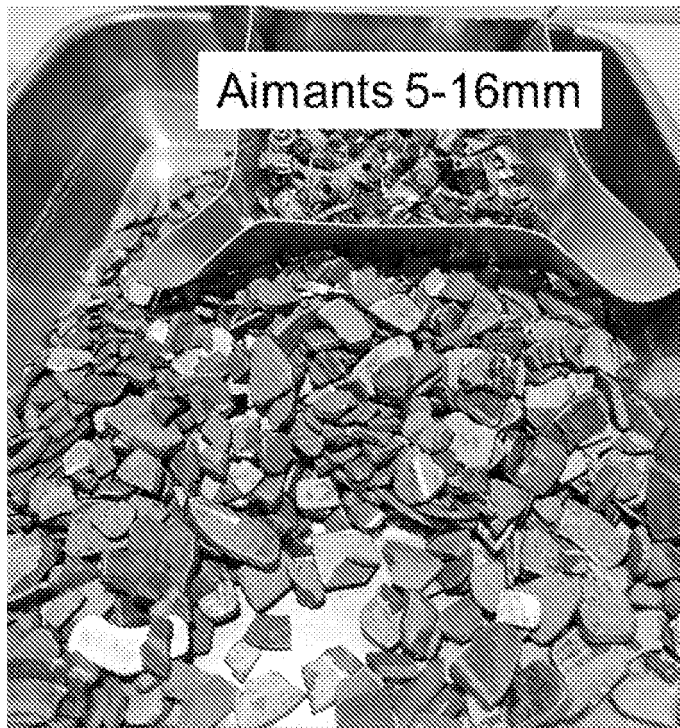
[Fig. 3]



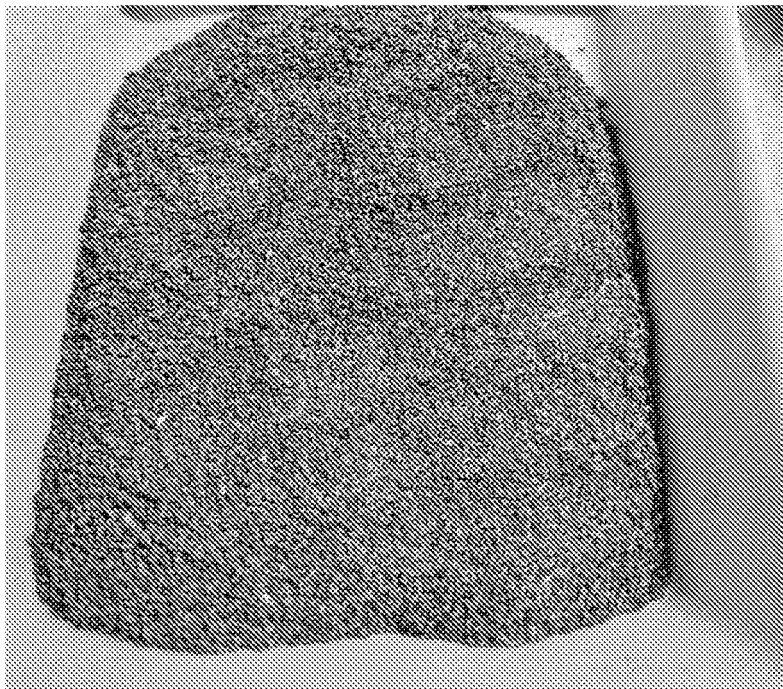
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 914477
FR 2213538

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	JP 5 797603 B2 (HITACHI LTD) 21 octobre 2015 (2015-10-21) * abrégé * * figures 1,3 * * alinéas [0001], [0009] - [0013], [0016], [0034] - [0042] * -----	1-10	B03C1/005 B03C1/033 B09B3/00 H01F13/00 H01F1/057
A	JP 2014 123585 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 3 juillet 2014 (2014-07-03) * figures 1,2 * * alinéas [0013] - [0027] * -----	1-10	
A	JP 2001 219093 A (MITSUBISHI ELECTRIC CORP) 14 août 2001 (2001-08-14) * figures 1-6 * * alinéas [0006] - [0025] * -----	1-10	
A	JP 4 820423 B2 (RARE METALS 21 KK; SANCT CORP; FUJII KAZUHIRO) 24 novembre 2011 (2011-11-24) * alinéas [0012], [0035], [0036] * -----	1-10	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	KR 2018 0138069 A (KIM HAK SOO [KR]; SAMSAN INC [KR]) 28 décembre 2018 (2018-12-28) * figures 1-4 * * alinéas [0008], [0013], [0027] - [0030], [0053] - [0058] * -----	1-10	B03C B09C B09B H01F
A	CN 108 356 060 A (SHANDONG KELIHUA ELECTRIC MAGNETIC EQUIPMENT CO LTD) 3 août 2018 (2018-08-03) * figure 1 * * alinéas [0045] - [0050] * -----	1-10	
A	CN 111 804 432 A (CHENGDU AIQIMIAN BRAND MAN CO LTD) 23 octobre 2020 (2020-10-23) * figure 2 * * alinéas [0030] - [0040] * -----	1-10	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
9 juin 2023		Bielert, Erwin	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2213538 FA 914477**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
 Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **09-06-2023**
 Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 5797603 B2	21-10-2015	JP 5797603 B2	21-10-2015
		JP 2013255901 A	26-12-2013

JP 2014123585 A	03-07-2014	JP 5921426 B2	24-05-2016
		JP 2014123585 A	03-07-2014

JP 2001219093 A	14-08-2001	AUCUN	

JP 4820423 B2	24-11-2011	JP 4820423 B2	24-11-2011
		JP 2010199110 A	09-09-2010

KR 20180138069 A	28-12-2018	AUCUN	

CN 108356060 A	03-08-2018	AUCUN	

CN 111804432 A	23-10-2020	AUCUN	
