



DOSSIER DE PRESSE

Septembre 2025

Nouveau pilote procédé
pour le recyclage
et la fabrication
d'aimants permanents
de haute performance



bpifrance

Dossier de presse

Septembre 2025

**Un nouveau pilote procédé
pour le recyclage et la fabrication d'aimants permanents de haute performance**

CONTACTS PRESSE

Contacts presse Orano :

+33 (0)1 34 96 12 15

press@orano.group

Contact presse CEA Grenoble :

Joseph Lisbonis

+ 33 (0)6 59 80 64 59

joseph.lisbonis@cea.fr

SOMMAIRE

1 – Présentation du projet

A – Le recyclage des aimants à base de terres rares, un levier stratégique

B – Un partenariat historique et complémentaire, Orano et le CEA Liten

C – MAGELLAN

D – MAGNOLIA

2 – Le programme Aimants d'Orano

3 – La plateforme de métallurgie des poudres et le programme d'économie circulaire de la matière au CEA

4 – À propos

A - ... des terres rares

B - ... des aimants permanents

C - ... des procédés de recyclage en boucle courte et de fabrication des aimants NdFeB

D - ... d'Orano et du CEA

1. Présentation du projet

Partenaires historiques sur des projets de R&D, Orano et le CEA Liten ont associé leurs expertises et savoir-faire, en vue d'étudier et de tester des procédés de recyclage et de fabrication d'aimants permanents à base de terres rares. Ce projet a donné naissance, sur le site du CEA Liten à Grenoble (Isère), à un nouveau pilote procédé dédié, conjuguant l'atteinte d'une haute performance magnétique et le recyclage des matières critiques contenues dans ces composants stratégiques.

Ce projet, lauréat de France Relance et Horizon Europe, s'appuie sur 10 ans de R&D, et a vocation à accélérer le développement de solutions circulaires, afin de diversifier les voies d'approvisionnement en aimants de haute performance, nécessaires à la transition énergétique. Ces aimants sont ceux utilisés dans l'électromobilité, en particulier les moteurs de traction, les turbines d'éoliennes, ou encore d'autres secteurs industriels notamment le secteur de la Défense. Les travaux d'Orano et du CEA Liten s'appuient sur deux consortiums européens, Magellan et Magnolia (projets détaillés ci-dessous).

Le pilote « Procédé aimants permanents » marque un jalon important dans l'industrialisation de briques technologiques de pointe, contribuant à une plus grande autonomie stratégique européenne. En effet, les aimants sont aujourd'hui principalement extraits, raffinés et produits hors d'Europe. Dans la perspective d'un stock conséquent d'aimants usagés à disposition de l'Union européenne et de la France dans la décennie à venir, un règlement européen, le CRM Act¹ (Critical Raw Material Act) entré en vigueur en mai 2024, incite au recyclage à grande échelle des aimants permanents à base de terres rares, afin de les réintégrer dans une future consommation européenne.

En complément, un autre règlement européen, le NZIA² (Net-Zero Industry Act) reconnaît les aimants permanents à base de terres rares comme des composants spécifiques essentiels aux technologies propres et demande l'application d'un critère de résilience dans les marchés et les appels d'offre publics, en regard d'une dépendance excessive envers une source d'approvisionnement unique.

Quel est l'objectif du pilote procédé ?

Ce pilote pour le recyclage et la fabrication d'aimants permanents a pour vocation de conduire des essais techniques de procédé et d'en valider le principe, dans la perspective de répondre aux besoins des industriels du secteur en France et en Europe, qui pourront le mettre en œuvre à l'échelle industrielle.

Cette ligne pilote contribue à deux consortiums : Magellan, soutenu par l'Union européenne à travers le programme Horizon Europe, et Magnolia, appuyé par France Relance et BPI France, afin d'étudier, d'analyser et de maîtriser deux voies de recyclage des aimants à base de terres rares :

- Magellan dédié au recyclage « en boucle courte » dans le processus de fusion,
- Magnolia dédié au recyclage « en boucle courte » dans le processus de poudre.

1.A Le recyclage des aimants à base de terres rares, un levier stratégique

La production des terres rares et des aimants permanents à base de terres rares est aujourd'hui concentrée en Chine, et conduit à une pression croissante sur les ressources primaires. Cette pression peut être diminuée ; les aimants permanents usagés pouvant être recyclés. Ainsi, le recyclage des aimants néodyme-fer-bore (NdFeB, les aimants permanents les plus puissants) apparaît comme une solution stratégique incontournable pour l'Europe. Il permettrait de réduire la dépendance aux matières premières primaires (terres rares), de réduire la dépendance aux importations d'aimants, de diminuer les impacts environnementaux et de sécuriser un approvisionnement local, durable et circulaire en France et en Europe. L'incorporation de

¹ D'ici 2030, le CRM Act fixe un taux de recyclage d'au moins 25 % de la consommation européenne en matière stratégique, dont les terres rares.

² Par voie d'actes délégués, le NZIA inclut certains critères autres que le prix dans les enchères des États membres, notamment la résilience et la durabilité, pour le déploiement des technologies propres et de leurs composants spécifiques essentiels, dont les aimants permanents.

matières recyclées dans la production d'aimants NdFeB représente donc un enjeu majeur à la fois environnemental, économique et stratégique.

Quels sont les défis ?

La réintégration de matériaux recyclés dans des aimants de haute performance constitue un défi technique : il faut **garantir une pureté et une homogénéité parfaites des alliages** pour garantir les propriétés magnétiques. Les procédés de recyclage doivent donc être capables de restructurer les matériaux avec une très grande précision. C'est à cette condition que le recyclage pourra devenir une véritable alternative aux matières premières vierges, compatible avec les exigences de haute performance des technologies de demain. Il nécessite en outre des investissements en R&D, un savoir-faire métallurgique pointu et des procédés industriels complexes.

Le défi majeur réside dans l'extrême exigence des propriétés physico-chimiques requises pour garantir la qualité des aimants NdFeB, en particulier pour les applications industrielles avancées. Toute impureté ou variation dans la composition des alliages peut altérer les performances magnétiques finales. Pour atteindre la haute performance, les aimants doivent présenter une pureté chimique et une microstructure cristalline extrêmement précises. Toute contamination ou altération de l'alliage peut fortement dégrader la qualité de l'aimant final, en particulier dans les applications haut de gamme.



Aimants permanents néodyme-fer-bore (NdFeB)
Copyright : Pierre Jayet - CEA Orano GRENOBLE juin 2025

1.B Un partenariat historique et complémentaire, Orano et le CEA Liten

Orano et le CEA Liten associent leurs expertises et savoir-faire afin de répondre à un défi technologique de taille : mettre au point et mettre en œuvre des procédés de recyclage d'aimants permanents par boucle courte, capables de produire des aimants de haute performance. Réutiliser la matière magnétique sans la dissocier chimiquement – c'est-à-dire sans repasser par l'étape d'oxydation, de séparation chimique et de métallisation – offre des perspectives prometteuses et nécessite des procédés industriels complexes.

L'enjeu du partenariat est double : développer des technologies de traitement capables de préserver les propriétés intrinsèques des matériaux, tout en assurant une traçabilité et une stabilité des performances à l'échelle industrielle.

À terme, maîtriser la boucle courte de recyclage sera indispensable pour concilier les besoins des transitions écologiques, numériques et technologiques, la réindustrialisation et favoriser une plus grande autonomie stratégique européenne.

1.C MAGELLAN

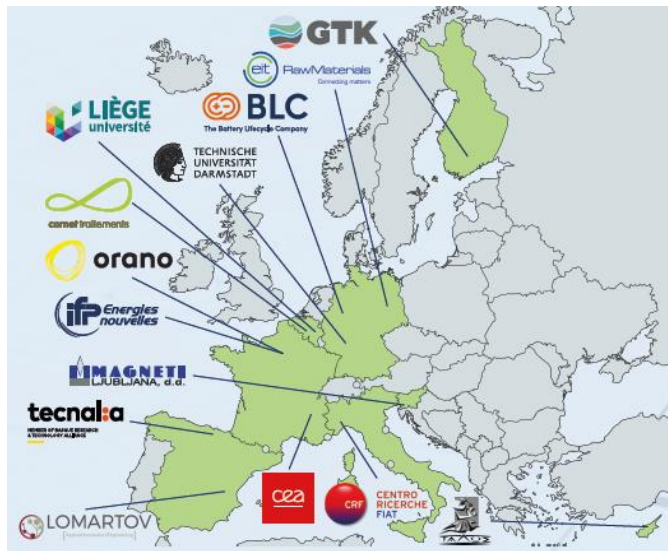


L'objectif du projet est de donner un coup d'envoi à la création d'une chaîne de valeur pour le recyclage et la fabrication des aimants permanents en Europe.

Les aimants permanents contenant des éléments des terres rares, en particulier les aimants NdFeB, sont incontournables dans la transition énergétique. Leurs propriétés magnétiques idéales améliorent

l'efficacité des applications technologiques clés, telles que les moteurs de traction des véhicules électriques et les éoliennes. Cependant, étant donné que les aimants permanents sont principalement produits en dehors de l'Europe, il existe un risque pour la sécurité de l'approvisionnement du continent. Par conséquent, une chaîne d'approvisionnement européenne d'aimants permanents est nécessaire pour soutenir la transition énergétique.

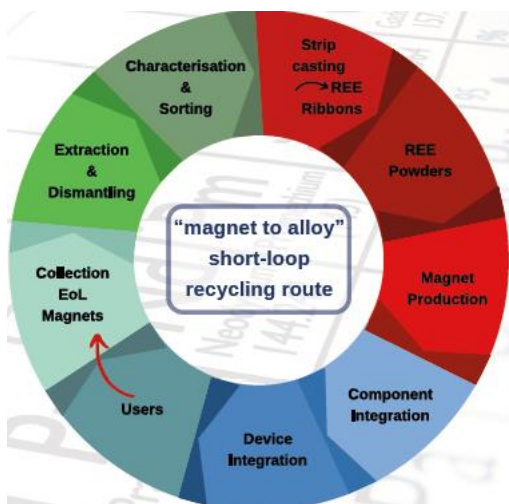
Un consortium de 14 acteurs clés de 8 pays européens



(source : consortium Magellan)

L'un des objectifs de MAGELLAN est d'établir de nouveaux procédés de fabrication d'aimants permanents qui améliorent l'utilisation des ressources.

MAGELLAN développe et améliore la boucle courte de recyclage des aimants permanents appelée « de l'aimant à l'alliage » (fusion). Cette voie technologique conserve les terres rares sous leur forme métallique et réduit ainsi de manière significative l'intensité énergétique. Cette voie évite également les séparations des différents éléments constitutifs des aimants permanents NdFeB et présente ainsi l'avantage d'éviter le recours à des procédés plus polluants.



(source : consortium Magellan)

Les résultats attendus sont les suivants :

- Une réduction de la consommation énergétique finale, grâce à un rendement de 70 % permis par le maintien des terres rares sous forme métallique ;
- Des processus moins polluants en évitant la séparation de terres rares issues des aimants en fin de vie ;
- Un rendement optimisé de l'utilisation des ressources critiques ;
- Une utilisation de ressources primaires non critiques (cerium et lanthane) dans différents alliages.

1.D MAGNOLIA



bpifrance

Magnolia vise à initier une filière industrielle française de recyclage et de fabrication d'aimants permanents à base de terres rares

Le projet vise 3 objectifs :

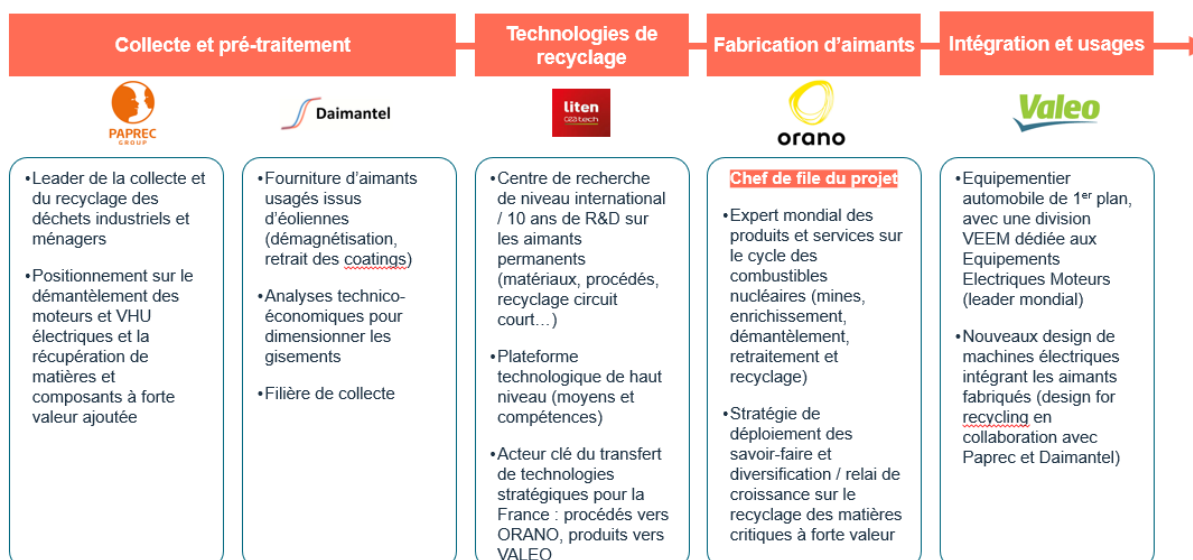
- Développer des procédés de recyclage et fabrication d'aimants frittés sur une ligne pilote au CEA Liten, et préparer les étapes d'industrialisation ;
- Préparer une filière industrielle de collecte, de démantèlement et de valorisation des moteurs électriques, à un prix compétitif et stable, tout en sécurisant l'approvisionnement et la production d'aimants ;
- Réduire l'impact environnemental des procédés grâce au recyclage des aimants, à la réduction des déchets de fabrication, à la valorisation des terres rares et à l'éco-conception des machines électriques.

Une modernisation aux plus hauts standards de la ligne existante du CEA Liten

Il s'agit de développer et d'industrialiser des briques technologiques clés :

- Le recyclage des aimants frittés usagés (riches en terres rares lourdes) par une méthode innovante de poudre
- La diffusion de terres rares lourdes Dy pour réduire la quantité de Dy utilisée à iso-performances magnétiques
- La fabrication « net-shape », pour améliorer les rendements matière et augmenter le rendement

Pour ce faire, Magnolia s'appuie sur 5 acteurs clés, complémentaires, chacun apportant des compétences et savoir-faire sur l'ensemble de la chaîne de valeur.



2. Le Programme Aimants d'Orano

Le programme Aimants d'Orano s'inscrit dans un triple paradigme : circularité, décarbonisation et résilience.

Les savoir-faire acquis par le groupe Orano dans la transformation et la maîtrise des matières nucléaires contribuent à recycler d'autres matières stratégiques, comme celles présentes dans les aimants.

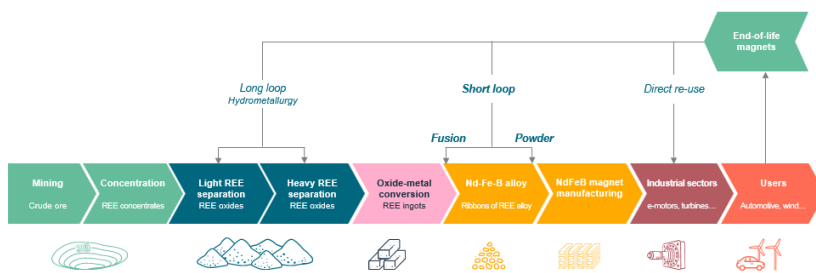
Les projets de recyclage visent la production d'aimants permanents de haute performance requis pour les applications de la transition énergétique les plus exigeantes : les moteurs de traction des véhicules électriques et les turbines d'éoliennes.

Ces projets visent à contribuer à la sécurisation des approvisionnements de l'Europe en matériaux stratégiques nécessaires à la transition énergétique.

Avec ce programme, Orano participe à l'entretien et la création, en France et au sein de l'Union européenne, des compétences clés, des actifs matériels et immatériels pour faire face au défi minéral associé à la transition énergétique.

La France dispose d'une filière des terres rares reconnue dans le monde, articulant de nombreux savoir-faire sur plusieurs pans nécessaires à l'émergence d'une offre européenne solide et pérenne, en particulier dans la séparation des oxydes, en hydrométallurgie et métallurgie des poudres.

Orano valorise ses compétences techniques : la métallurgie des poudres et leur frittage, le travail sous atmosphère confinée, l'industrialisation de procédés. Le groupe conduit ce développement avec son retour d'expérience dans l'exploitation de ses sites industriels complexes et réglementés – tout particulièrement le site Orano de Melox dans le Gard pour le recyclage des combustibles nucléaires usés et la fabrication de combustibles MOX (mixed oxydes).



3. La plateforme de métallurgie des poudres et le programme d'économie circulaire de la matière au CEA

La ligne pilote de fabrication et de recyclage des aimants permanents de haute performance fait partie intégrante de la plateforme de métallurgie des poudres du CEA à Grenoble. Avec cette ligne couvrant la préparation des alliages jusqu'à la mise en forme par métallurgie des poudres, la plateforme du CEA est à même d'assurer toutes les étapes de développement d'aimants permanents de type NdFeB. Le CEA s'est équipé depuis 2012 d'équipements industriels spécifiques à la fabrication des aimants dans l'objectif de contribuer à réduire, réutiliser et remplacer les terres rares dans la composition de ces composants qui sont stratégiques pour le déploiement de la mobilité électrique et la transition énergétique.

L'étape de préparation de la phase magnétique par coulée et solidification contrôlée de l'alliage (strip-casting) est en particulier parfaitement maîtrisée par le CEA. Or, de cette étape-clé dépendent la composition, la microstructure et par conséquent les performances magnétiques de l'aimant final.

Ces projets de recherche et de développement s'inscrivent plus largement dans le programme d'économie circulaire de la matière du CEA. Les transitions énergétique et numérique pourraient conduire à remplacer la dépendance actuelle à l'égard des combustibles fossiles par une dépendance aux matières premières. Sécuriser leurs approvisionnements, limiter leur impact environnemental et les rendre plus responsables sont donc des enjeux majeurs. Fort d'un savoir-faire et de compétences historiques dans le domaine du cycle du combustible nucléaire, le CEA intègre cette démarche d'économie circulaire des matériaux critiques dans ses programmes de recherches depuis plus d'une dizaine d'années et intervient sur l'ensemble du cycle de vie des matériaux, de la production minière au recyclage des composants, avec l'objectif de les réintroduire dans une nouvelle chaîne de fabrication.

Pilote procédé pour le recyclage et la fabrication d'aimants permanents de haute performance

Surface : 220 m² (ligne de production et stockage)

Equipe : 20 personnes Cea et 15 Orano



Vue partielle du hall du pilote aimants
Copyright : Pierre Jayet - Orano CEA GRENOBLE juin 2025

4. À propos

4.A ... des terres rares

Souvent méconnues du grand public, les terres rares³ désignent un groupe de **17 éléments⁴ aux propriétés chimiques exceptionnelles**, indispensables à la fabrication des technologies avancées, en particulier les **aimants puissants**. Ces éléments sont devenus **essentiels à la transition énergétique et numérique**. Bien qu'elles soient qualifiées de "rares", ces ressources sont relativement abondantes dans la croûte terrestre, mais leur extraction reste complexe. Aujourd'hui, la Chine concentre la majeure partie de l'extraction et de la production mondiale, posant des **enjeux géopolitiques importants**. Face à cette dépendance, l'Union européenne cherche à **sécuriser ses approvisionnements** et à développer des **filières de recyclage**. Les terres rares symbolisent ainsi les défis croisés de l'innovation technologique, de l'environnement et de la souveraineté industrielle.

Les principaux **enjeux économiques** autour des terres rares se concentrent sur les **aimants permanents**, qui représentent la plus forte valeur ajoutée de cette filière.

Le **néodyme** et le **dysprosium**, en particulier, sont au cœur des préoccupations : ces deux éléments entrent dans la composition d'**aimants haute performance** utilisés dans les moteurs de traction des véhicules électriques, les générateurs d'éoliennes ou encore les systèmes de guidage ou les drones pour le secteur de la Défense. Leur forte demande et leur disponibilité limitée en font des **matériaux stratégiques**. Au-delà des aimants, d'autres terres rares trouvent des débouchés dans des domaines variés : les luminophores, utilisés dans les écrans et l'éclairage LED (europium, terbium), la catalyse automobile et pétrochimique (cérium, lanthane), ou encore dans certaines technologies médicales et militaires. Cette diversité d'applications confère aux terres rares un rôle clé dans l'industrie de demain, rendant leur sécurisation d'autant plus critique.

4.B ... des aimants permanents

Omniprésents dans notre quotidien, les aimants permanents sont des **composants essentiels** dans une multitude d'**applications industrielles et technologiques**. Ils permettent de **convertir efficacement l'énergie** dans des systèmes compacts, fiables et sans entretien. On les retrouve dans les moteurs ou les générateurs électriques, les appareils électroménagers ou les disques durs. Avec l'essor des véhicules électriques, des énergies renouvelables et de la robotique, la demande en aimants ne cesse de croître, faisant de cette filière un **maillon stratégique des transitions écologiques, numériques et technologiques**.

Parmi les différentes familles d'aimants permanents, **les aimants NdFeB (Neodyme-Fer-Bore) sont les plus puissants disponibles à ce jour**. Leur densité énergétique élevée permet de concevoir des moteurs plus compacts, plus légers et plus performants – **un atout décisif** pour les **véhicules électriques**, les **éoliennes** de nouvelle génération, les **drones** ou les **robots**. En plus du néodyme, d'autres terres rares, comme le dysprosium, sont parfois ajoutées pour améliorer leur résistance à la chaleur. Les aimants NdFeB concentrent aujourd'hui plus de 80 % de la valeur économique du marché des aimants. Leur poids dans la chaîne de valeur technologique et industrielle en fait un **levier central** des politiques de **souveraineté** et de **réindustrialisation** à l'échelle mondiale.

Tous les aimants NdFeB ne présentent pas les mêmes performances : leurs propriétés varient en fonction de la pureté des matières et matériaux employés, des procédés de fabrication et de l'ingénierie des alliages. Produire des aimants capables de résister à des températures élevées tout en conservant une forte densité magnétique reste un **défi technologique** de premier ordre. Parmi les aimants NdFeB, **les aimants NdFeB de « haute performance » sont indispensables dans les applications les plus exigeantes**, notamment dans la traction automobile, les éoliennes offshore, l'aéronautique ou la Défense. Les aimants de **grade supérieur** sont produits dans des **conditions de fabrication très spécifiques**. Leur fabrication requiert un **savoir-faire industriel avancé** que seuls une dizaine d'acteurs dans le monde maîtrisent.

³ Les 17 éléments de terre rare (REE) comprennent 15 lanthanides, l'yttrium et le scandium. Ils sont essentiels dans de nombreuses industries de haute technologie, notamment dans la fabrication d'aimants permanents, de phosphores dans les écrans couleur, de batteries et de céramiques avancées. Les éléments de terre rare partagent des propriétés chimiques similaires mais ont des comportements physiques distincts, notamment au niveau de leurs caractéristiques électroniques et magnétiques.

⁴ Ces 17 éléments de terre rare sont les suivants : [scandium](#), [yttrium \(pourquoi en bleu ?\)](#), praséodyme, néodyme, prométhium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, cérium, lanthane, thulium, lutécium.

Pour le secteur automobile, plus de **80 % des technologies de moteurs de traction utilisent des aimants permanents**, qui permettent des gains en compacité et en performance. Un moteur de traction de véhicule électrique nécessite **1 à 2 kg d'aimants permanents**. Un véhicule électrique consomme une vingtaine d'aimants sur des fonctions secondaires (essuie-glaces, direction assistée, haillon, rétroviseurs...), pour environ 400-500g.

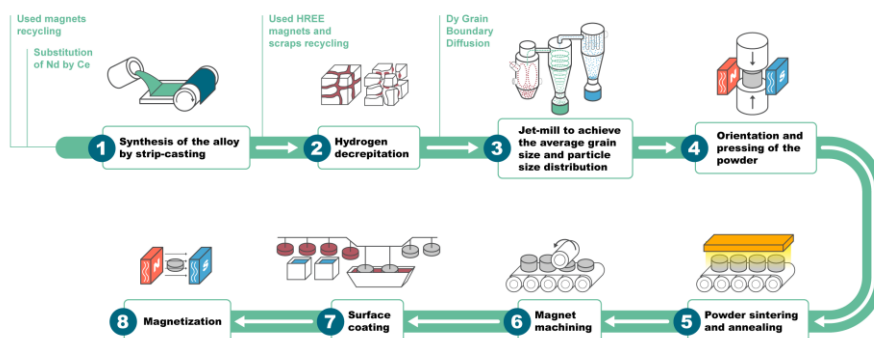
Pour les énergies renouvelables, près de **80% des technologies de turbines d'éoliennes en mer, et 20% des éoliennes terrestres, utilisent des aimants permanents**. Une turbine d'éolienne offshore de **10 MW nécessite environ 6 t d'aimants permanents**.

A titre illustratif, le coût d'un aimant de haute performance produit en Chine est autour de **75 €/kg** : ainsi, **le coût et le poids des aimants permanents ne reflètent pas leur valeur stratégique** dans les systèmes qui les utilisent.

4.C ... des procédés de recyclage en boucle courte et de fabrication des aimants NdFeB

La fabrication d'un aimant permanent NdFeB se déroule selon les étapes suivantes :

1. Synthèse de l'alliage par strip-casting ;
2. Décrépitation sous hydrogène ;
3. Broyage en lit fluidisé ;
4. Pressage et orientation de la poudre ;
5. Frittage sous vide et recuit ;
6. Usinage ;
7. Traitement de surface ;
8. Magnétisation.



Lors du strip-casting (1), les alliages Néodyme-Fer-Bore, sont coulés dans un four à induction en versant l'alliage fondu sur une roue en cuivre rotative. Le métal se solidifie à la surface de la roue et les rubans éjectés sont récupérés en partie basse. Les rubans sont exposés à l'hydrogène dans l'étape de décrépitation (2) afin d'aboutir à leur fragilisation contrôlée. Cette étape conduit à la formation d'une poudre grossière. Le broyage de cette poudre est ensuite réalisé par la technique « jet-mill » (3), dans laquelle un lit fluidisé est créé à partir de la poudre accélérée par un jet de gaz. La poudre broyée alimente une matrice de presse où un champ magnétique permet l'orientation des grains de poudre puis cette poudre est soumise au pressage (4). A la suite du pressage, les opérations de frittage puis de recuit (5) sont réalisées. Les aimants produits sont découpés et rectifiés par usinage (6) afin de les mettre aux bonnes dimensions et d'éliminer les défauts présents en surface. Une fois usinés, les aimants sont revêtus d'une couche protectrice selon leur application finale (7). Les aimants sont ensuite remagnétisés (8).

L'incorporation de matières recyclées peut intervenir à différents moments du procédé de production, à l'étape 1, il s'agit de la boucle courte fusion, à l'étape 2, il s'agit de la boucle courte poudre.

4.D ... d'Orano et du CEA

À propos d'Orano

Opérateur international de premier plan dans le domaine des matières nucléaires, Orano apporte des solutions aux défis actuels et futurs, dans l'énergie et la santé. Son expertise ainsi que sa maîtrise des technologies de pointe permettent à Orano de proposer à ses clients des produits et services à forte valeur ajoutée sur l'ensemble du cycle du combustible. Grâce à leurs compétences, leur exigence en matière de sûreté et de sécurité et leur recherche constante d'innovation, l'ensemble des 17 500 collaborateurs du groupe s'engage pour développer des savoir-faire de transformation et de maîtrise des matières nucléaires, pour le climat, pour la santé et pour un monde économe en ressources, aujourd'hui et demain. Orano, donnons toute sa valeur au nucléaire. Pour en savoir plus : www.orano.group

À propos du CEA

Le CEA est un organisme public de recherche dont le rôle est d'éclairer la décision publique et de donner aux entreprises françaises et européennes ainsi qu'aux collectivités les moyens scientifiques et technologiques pour mieux maîtriser quatre mutations sociétales majeures : la transition énergétique, la transition numérique, la santé du futur, ainsi que la Défense et la sécurité globale. Sa raison d'être est d'agir pour assurer à la France et à l'Europe un leadership scientifique, technologique et industriel, ainsi qu'un présent et un avenir mieux maîtrisés et plus sûrs pour tous. À cette fin, trois valeurs guident l'action du CEA et de ses équipes : curiosité, coopération et conscience des responsabilités. Pour en savoir plus : www.cea.fr

www.orano.group



www.cea.fr

