

IV.1 Introduction :

Les sables usés, réutilisables en technique routière, résultent de l'utilisation des sables dans le moulage à haute température (parfois plus de 1000°C) lors de la coulée du métal en fusion suivie d'un traitement chimique par des adjuvants (huile, noir de carbone....) afin de faciliter le démoulage des pièces.

Etant donné que les sables usés sont des résidus de calcination d'un mélange quasi-inerte thermiquement, ils présentent des caractéristiques minéralogiques et pétrographiques semblables à celles des sables de moulage d'origines.

Les sables usés sont essentiellement constitués de quartz (SiO_2) accompagné d'une faible proportion d'argile (1 à 5%), sous forme de bentonite, et accessoirement de chromites ($(\text{Mg,Fe})\text{Cr}_2\text{O}_4$). Dans certains cas, on peut détecter des traces d'adjuvant de démoulage tels que le noir de carbone ou des produits organiques de toute sortes et natures (paraffines, graisses aux silicones-esters, sulfonâtes,....). Il est important de signaler que les sables usés peuvent également contenir un certain nombre de corps étranges (billes de métal, bavures, support de noyaux,....) si les déchets issus du traitement de régénération des sables de moulage (déchets métalliques, refus de criblage, dépoussiérage) ne sont pas convenablement gérés et stockés par type ou famille. Auparavant et dans les vieux stocks de sables à proximité des usines (désignés également crassiers), tous ces déchets étaient mélangés avec les sables usés. Actuellement, cette pratique disparaît au profit du tri sélectif et d'une recherche de valorisation des déchets.

En France, on estime que sur les 800 000 tonnes de sables de fonderie seules, 50 000 tonnes sont valorisés.

Dans la région Nord Pas de Calais, le tonnage de sables non recyclés vers la fonderie est proche de 150 000 t dont la moitié environ est utilisées en travaux publics. [2]

Cette utilisation modérée dans le **BTP** est en partie liée à la dispersion géographique des fonderies et à la difficulté à fédérer une filière généralisée permettant d'assurer un flux continu.

IV.2 Valorisation des sables des fonderies dans le domaine du génie civil.

IV.2.1 Valorisation dans la construction routière.

IV.2.1.1 valorisation en couche de Remblais.

Les sables de fonderie peuvent être valorisés en remblais sous réserve que leur teneur en phénol soit inférieure à **1mg/Kg**, ils peuvent être utilisés dans des remblais routiers, des plate-formes industrielles ou pour le remblaiement de tranchées (**charge de coulis**).

La possibilité de corrosion doit être envisagée en cas de contact avec des éléments métalliques (**corrosion par les sols : A05-252**) ainsi que l'agressivité vis-à-vis des bétons (**agressivité des sols : FD P 18-011**). [12]

IV.2.1.2 valorisation en couches de forme.

Ils doivent être traités par un liant hydraulique pour être utilisés en couche de forme. Le guide technique pour la réalisation des remblais et des couches de forme classe ce matériau en F9 (SETRA-LCPC, 2002). Ils sont par ailleurs utilisables en accotement (ministère de l'aménagement et du territoire, 2001). [12]

IV.2.1.3 Assises de chaussée.

En couche de base ou de fondation, la teneur en phénol doit être limitée à 5mg/Kg. Les sables de fonderie ont été valorisés pour le renforcement des chaussées à faible trafic : le recyclage des sables usés en construction routière existe depuis les années 1980 en substitution des sables naturels dans les formulations de matériaux de chaussées (FNTP, 2005).actuellement, ils sont utilisés seulement. Comme correcteur granulométrique à faible dosage dans les sables ou dans les graves traités. [12]

IV.2.1.4 Utilisation dans les formulations d'enrobés

Il a été démontré que l'incorporation des résidus de sable de fonderie dans le béton bitumineux malaxé à chaud est une technique viable. Cependant le domaine d'emplois est limité sur des revêtements peu circulés (voirie de lotissement, trottoirs, parking vl, cour). [12]

IV.2.1.5 Valorisation en grave hydrauliques

Les graves hydrauliques sont utilisés, entre autres filières, pour la construction de chaussés semi rigides .les matériaux sont traités aux liants hydrauliques qui peuvent être des ciments, laitiers (granulés, broyés), des cendres volants ou des pouzzolanes. Les dosages différents selon le type de liants.

Les sables qui répondent aux critères environnementaux, sont utiles en mélange avec des graves conventionnels et en substitutions de graves naturels dans des matériaux à liants hydrauliques par **TVPI (traitement et valorisation de produits industrielles)**.le plus souvent, il s'agit de sables a vert enrichis par du sables a noyaux. [12]

IV.2.2 Fabrication des matériaux de construction (béton, parpaing.....)

IV.2.2.1 Tuiles et briques :

Les tuiles et briques sont des produits constitués de sable et argile concassées et broyées. L'ensemble subit dosage, laminage, malaxage, humidification, façonnage, séchage, puis cuisson en four (à **750C⁰**). Le sable usé de fonderie peut se substituer aux sables et argile des granulats naturels.

Le sable peut représenter 30% de la composition des produits en terre cuite. La granulométrie recherchée par les producteurs pour ces sable et comprise entre 0.25 mm et 0.6 mm (mais souvent plus proche de 0.25 mm que 0.6 mm). Les fines et les agglomérats sont exclus.

La présence d'oxyde de fer Fe₂O₃ est un atout pour cette valorisation ainsi que les produits alcalins tels que la bentonite.

La valorisation de sables usés en fabrication de briques et tuiles est pratiquée en France à l'échelle de plusieurs milliers de tonnes par an .Elle se pratique aussi en Allemagne, en Belgique et aux Etats – Unis. [12]

IV.2.2.2 Valorisation en cimenterie.

L'intérêt des sables usés de fonderie pour la cimenterie est constitué par l'apport de silice qui vient de substitution de celle des produits de carrières .Ils peuvent se substituer aux sables naturels à un pourcentage de **50 à 70%** mais nécessitent souvent un pré-broyage avant introduction dans le four à clinker .Cette filière n'accepte pas de la chromite, de la magnésie, du zircon ou de l'olivine, même à l'état de trace compte tenu des valeurs limites de rejets qui lui sont imposés. [12]

IV.2.2.3 Valorisation des sables usés en coulis de béton

Un procédé de fabrication de coulis compactant appelée **CAC 2000** a été mis au point par les sociétés **HECKETT MULTISERV** et **ENVIMAT** basses à Escaut pont.

Le CAC2000 est un produit fluide de remblayage de tranchet, de type non essorable, à base de sables usés de fonderie, de ciment, de fibres en **polypropylène extrudé fibrasol** et de l'eau.

Cette coulisse auto compactant a été élaborés en fonction de la portance plutôt que de la résistance à la compression. Il présente une résistance à la perforation inférieure à **2 MPa**, ce qui permet de le trouser avec des outils légers.

Dans cette application, la présence de bentonite est un avantage car elle permet d'obtenir une bonne thixotropie du matériau confectionnée, et lui confère une bonne prise des formes. [12]

IV.2.3 Valorisations de sables de fonderie en barrière étanche ouvragée :

(Perméabilité en laboratoire)

D'après une étude faite en France, il a été montré le sable a vert peut être utilisé comme une barrière de sécurité passive qui est constituée sur terrain naturel. [13]

IV.3 Antécédents de traitement.

IV.3.1 Régénération des sables de fonderie.

La majeure partie des sables de fonderie à liant minéraux sont recyclés in situ, directement sur lieu de production des sables usés.

Des sables usés à liants organiques peuvent suivre trois types de régénération :

- **La régénération mécanique :**

Ce procédé est réalisé par frottement des grains les uns contre les autres ou par une projection contre une surface dure. Les opérations de degangage et désenrobage permettent de séparer les sables et les résines enrobant les grains. Les sables ainsi récupérés sont recyclés et les déchets à base de résines sont éliminés de la même façon que les sables brûlés.

- **La régénération thermique :**

Il s'agit ici de détruire la résine qui s'enflamme à 800 °C par passage sur le lit fluidisé. La température du sable est ensuite abaissée à 35 °C par passage dans un refroidisseur.

- **La régénération par voie bactériologique :**

Ce procédé permet de détruire le taux de phénols des sables. [14]

IV.3.2 Solutions de traitement.

IV.3.2.1 Bactérie contre phénol :

Comment ramener la teneur en phénol des sables de fonderie à un niveau qui permette leur valorisation ? C'est tout l'enjeu du procédé **Biophon**, breveté par le **BRGM** et aujourd'hui opérationnel sur l'unité de traitement de la société **Soccoim-onyx à Chaingy**, dans le Loiret.

A chacun son prédateur ! Cette grande loi du vivant a parfois des applications inattendues. Est en partant de ce principe, en effet, que le **BRGM**, depuis plus de quinze ans, développe des procédés biologiques de dégradation ou de transformation de certaines substances, ici du cyanure, la de l'arsenic, ailleurs du chrome.....en vue de dépolluer un effluent, un matériau, un sol.[15]

Et c'est ce même principe, fondé cette fois sur la propriété de certaines bactéries à métaboliser le phénol en l'utilisant comme source de carbone et d'énergie, que le **BRGM** a exploité avec **Biophon**, un procédé aujourd'hui breveté.

➤ **Des micro-organismes adaptés**

En fonderie, les moules qui servent à fabriquer des pièces métalliques sont constitués de sables et de liants organiques dont les plus répandus sont des résines phénoliques.

Leur élimination après utilisation est régie par des règles très strictes. Si leur teneur en phénol est inférieure à 1 mg/Kg de matière sèche, les sables peuvent être recyclés en terrassement (remblais). Ils doivent, sinon, être stockés en décharge de déchets dangereux, ou traités thermiquement, solutions très coûteuses.

« Nous avons commencé à nous intéresser aux sables de fonderie en 1995, à la demande Renault, explique Marie-Christine Dictor, micro-biologiste au BRGM. L'objectif était alors un recyclage en interne, visant à fabriquer de nouveaux moules à partir de moules usagers. Cette démarche n'a pas abouti, le sable obtenue après traitement n'étant pas approprié. Mais elle nous a permis de sélectionner un « un consortium microbien »

(deux espèces de bactéries et une levure) dont nous avons pu monter l'efficacité pour décontaminer des sables de fonderie. » [15]

IV.3.2.2 Recyclage des sables à vert usés par voie hydraulique.

La régénération des sables a prise chimique, notamment par voie thermique, est bien maîtrisée. En revanche, il n'en est pas de même pour les sables silico-argileux (sables à vert) dont le coût de mise en décharge devrait continuer de croître, et pour lesquelles les voies de valorisation (surtout pour petits volumes) ne sont pas développées.

Il y a donc un intérêt économique à pouvoir réutiliser le sable siliceux issu d'un traitement In - situ ou de proximité.

La méthode hydraulique fait aux techniques développées en traitement des minerais et des minéraux industriels regroupées sous le nom de « minéralurgie », sujet maîtrisé par les experts minéralurgistes de **Sofremines**, société ingénierie française spécialisée en caractérisation de gisements et en valorisation de minerais et minéraux industriels.

La voie hydraulique est solution de traitement envisageable et déjà envisagée par les industrielles de la fonderie car elle implique simplicité d'utilisation de mise en place et consommation énergétiques faible.

La valorisation des sables à vert usés au sein même ou à proximité de la fonderie, permettant de récupérer une partie du sable, de la bentonite et du noir minérale qui sont recyclés en lieu et en place des produits neufs, inscrit ainsi, si elle s'avère réalisable industriellement, dans une démarche de développement durable. [11]

-Objectif sociétal : la réduction des coûts d'approvisionnement et de gestion des déchets permettra aux fonderies d'améliorer leur compétitivité en réduisant leur coût de revient.

-Objectif économique : le développement d'un moyen de traitement des sables à vert usés extrapolable aux crassiers signifiera la création d'un nouveau marché synonyme de développement économiques et de création d'emplois.

-Objectif environnementale : une solution industrielle de recyclage des sables à vert usés permettra de réduire la quantité de déchets ultimes à enfouir ; de préserver les ressources naturelles minérales et de diminuer le transport routier donc la production de CO₂ liée à l'approvisionnement en matière premières et transport des déchets. [11]

IV.3.2.2.1 Les solutions hydrauliques :

Le nettoyage des sables à vert usés par voie hydrauliques existe à l'échelle industrielle en Italie, et est phase de développement en Espagne. Quelques études ont déjà été menées en France mais ne sont pas encore en phase industrielle.

a. Solution existantes.**• Technologie « Safond »**

L'entreprise **Safond**, implantée dans le nord de l'Italie traite annuellement plus de 500 000 tonnes de déchets de sables à vert et en mélange pour fonderie de métaux ferreux italiennes suivant la technologie suivante :le sable est débordé de façon à obtenir une pulpe homogène et emmottée puis attiré avant apaisissage. Il est ensuite séché et refroidi avant stockage en silos. L'eau de traitement est décanté en bac avec ajout de flocculant et coagulants.

Le sable dont l'humidité résiduelle a été ramené à moins de 0.5% est réutilisé dans la fabrication de moules et les confections de noyaux.la littérature donne des taux d'utilisation résine/catalyseur similaires ou légèrement supérieures lors de l'utilisation de sable recyclé par rapport à l'utilisation de sables neufs. Certains fournisseurs de résines proposent des formulations différentes adaptés à la caractérisation des sables recycles suivie par les fondeurs : la demande acide (ou basique).

La technologie **Safond** a également été implantée à la **société Ecofond** au pays Basque espagnol à **Salvatierra-Agurain**. Encore actuellement en phase de démarrage et de lise au point 4^{eme} trimestre 2007, la société ne dispose pas de données techno-économiques fiables. [11]

• Technologie « SASIL »

L'installation **SASIL** est implantée à **Brunesco** dans le nord de l'Italie.

La technologie **SASIL** associe attrition et classification hydrauliques puis séparation magnétique et lixiviation après séchage.

b. Solution à l'étude.**• Technologie par ultrasons**

CTIF a été amené à vérifier la qualité d'un sable traité pour utilisation en noyautage après traitement par ultra-sons afin de démontrer la faisabilité de cette technologie.

L'examen des échantillons de sable après traitement par ultrasons à monter :

- Que le sable traité présentait une rétention de bleu méthylène extrêmement faible : plus d'argile active.
- Que le sable était bien nettoyé de son argile calcinée (**oolithisation**).
- Que le pH avoisinait celui du sable neuf : bon nettoyage du sable.
- Que la morphologie des grains (MEB) confirmait la disparition de la couche de liants argileux.

• Traitement hydraulique par voies physiques

La minéralurgie appliquée au sable de fonderie usé a déjà fait l'objet de plusieurs études de laboratoire et a été étudié par de nombreux fournisseurs de matériel de traitement de sable.

Les techniques applicables sont les suivantes :

➤ Classification granulométriques :

- Criblage.
- Cyclonage.
- Par classificateur hydraulique (à vis, à injection d'eau....).

➤ **Attrition**

L'attrition est une technique de frottement des grains générée par un arbre à pales et qui entraîne un nettoyage de surface des grains. Cette technique s'utilise en amont du procédé. L'attrition produit de sable recyclé et des fines de chamotte.

➤ **Séparation magnétique**

Cette technique permet de séparer les particules magnétiques (ferrailles résiduelles et grains de chamotte) des non magnétiques.

Différents types d'équipements fonctionnent en voie humide (séparation Jones) ou en voie sèche (séparateurs à aimants permanentes, à rotor induit...) sont adaptés à l'élimination des particules magnétiques issues d'un sable à vert usé.

➤ **Séparation densimétrique**

Il s'agit d'une méthode basée sur la densité des différents grains composants le sable à vert, particulièrement indiquée pour éliminer les éléments légers issus de l'attrition (chamotte et noir minéral) – possibilité de séparation gravimétrique par spirales ou table à secousses au stade industriel.

• **Technologie hydraulique acide**

Cette étude théorique et expérimentale n'a pas encore fait l'objet d'une application industrielle.

Le seul agent envisagé pour le traitement des sables usés par voie aqueuse est une solution d'acide sulfurique à concentration élevée.

Les grains de sable sont nettoyés de leur couche d'argile cuite et deviennent suffisamment propres pour être réutilisés dans la confection des noyaux. Le résidu de traitement (argile, noir minéral et fines), après séchage et cuisson, pourrait être incorporé comme filler dans la fabrication de briques. [11]

IV.3.2.3 Régénération des sables de fonderie à l'aide du gaz naturel au Canada.

Le coût du sable constitue une partie importante des frais d'exploitation d'une fonderie le principe de recyclage du sable, plutôt que son élimination, a été mise en œuvre de manière très efficace à la fonderie de la Montupet. On a installé un générateur d'air chaud au gaz naturel à haut rendement énergétique à la fonderie de la Montupet situé à **Rivière-Beaudette (Québec)**, cette installation lui permet de recycler presque 100% de son sable. Comparativement à l'autre solution (élimination du sable), ce système a entraîné des économies d'environ 90% par tonne, en plus de réduire la période de récupération de l'investissement à moins de deux ans. [16]

IV.3.2.3.1 L'objet du projet :

Avant l'installation du système de régénérateur, tout le sable pour la fabrication des moules (blocs porte-empreintes) devait être déversé dans un site d'enfouissement, parce qu'il

était couvert de liant résiduel. En raison des couts astronomiques liés à l'achat et à l'élimination du sable, et parce que la fonderie Montupet prévoyait de doubler sa capacité de production au cours des années à venir, il fallait trouver une solution. En revanche, en tenant compte de l'environnement et du rapport cout-efficacité, la Montupet a revu sa politique d'élimination du sable dans un site d'enfouissement, puisque la société anticipait également une hausse de la quantité de manière qu'elle prévoit traiter, ses dirigeants ont décidé d'installer un système de récupération du sable et ils opté un générateur a lit fluidisé. [16]

a. Le principe :

Le sable qui doit être recyclé est ajouté directement à partir du silo de stockage du générateur. De là, une vis sans fin l'achemine dans le lit chauffant, à un taux constant. Le sable entre ensuite dans une chambre à lit fluidisé qui est maintenue à une température de 677°C par des tubes brûleurs submergés, qui produisent un mélange homogène de produits de combustion et de sable, assurant ainsi un excellent transfert de chaleur. L'air utilisé lors de la combustion dans le bruleur est préchauffé par un récupérateur qui récupère la chaleur contenue dans les gaz sortants, ce qui aide à limiter la consommation de combustible. Ce sable fraîchement nettoyé est ensuite acheminé dans la chambre de refroidissement a lit fluidisé, ou un échangeur de chaleur air-eau le refroidis jusqu'à la température ambiante. La figure suivante présente un schéma de ce système de recyclage :

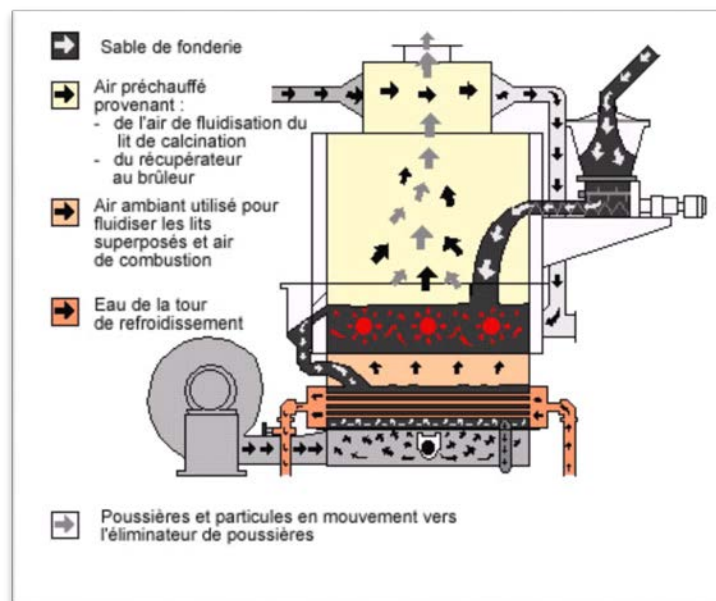


Figure IV.1: Schéma d'un système de recyclage.

- Contrairement au sable neuf, le sable régénéré ne contient pas de particules fines.
- L'enrobage des grains de sable est uniforme puisque les bordures des grains de sable sont plus arrondies.

- La régénération thermique stabilise le sable, puisque le sable est plus uniforme, la quantité de liant requise est plus facile à contrôler, donnant ainsi un produit amélioré.

b. Exploitation du sable dans la fonderie.

Le tableau IV.1 présente le coût d'exploitation du sable par la fonderie qui recycle le sable au gaz naturel

Tableau IV.1 : Coûts d'exploitation du sable dans la fonderie. [16]

Coût d'exploitation (en dollar canadien/tonnes de sables traité)			
Sans régénération		Avec régénération	
Cout du sable	73	énergie	6
		Exploitation et entretien	4.5
Elimination du sable	36	Elimination du sable	1.6
Total	109	total	12.1

Conclusion :

Cette étude bibliographique sur les valorisations et les techniques de traitements nous permettra de confirmer tout l'intérêt de cette étude pour une mise au point d'une méthode de traitement industriel par voies divers des sables à prises chimiques ou par liants minéraux.

Le surplus de sable à vert éliminé dans les fonderies est actuellement :

- Soit évacué en centre de stockage de déchets.
- Soit valorisé au niveau d'autres pays avec une longueur d'avance bien précise, (**Italie, Canada, France**).

Un durcissement de la réglementation relative au stockage en centre de stockage de déchets est à revoir puisque l'actuel nous nous exhortent juste à stocker ces déchets d'une manière préventive mais sans aucun cas les valoriser ou les recycler.

Les solutions de valorisation externes sont limitées en raison du caractère ignare de notre économie et de notre administration en ce qui concerne une logistique assez fermée sur les solutions de valorisation au niveau national.