



LIFE ENVIRONNEMENT PROPOSAL n°LIFE06 ENV/F/000124 ARFVALORMAT

Project acronym : ARFVALORMAT

APPLICANT : Société A. R. F.

Recyclage des déchets riches en ressources minérales issus des industriels et des collectivités pour la fabrication de liants hydrauliques en économisant les ressources naturelles (argile et calcaire)

Rapport de Vulgarisation
[01/10/2006 au 30/06/2009]

A.R.F.

**ARF
valormat**



FR

1 – Contexte et objectifs du projet

1.1 – Contexte environnemental

Les industries génèrent des quantités importantes de déchets riches en silice, en chaux et en carbonate comme notamment des boues d'épuration, des boues de papeteries, des boues chaulées, des sables de fonderie. Les principales voies d'élimination ou de traitement de ce type de déchets sont aujourd'hui la mise en décharge, l'épandage agricole et l'incinération.



Avec la directive européenne 1999/CE du 26/04/1999 qui a pour objectif de limiter les effets négatifs de la mise en décharge des déchets et avec l'arrêt progressif de l'épandage dû à une réglementation appelée à être de plus en plus sévère, il est donc devenu impératif de proposer des alternatives répondant pleinement aux préoccupations environnementales d'aujourd'hui.

1.2 – Objectifs et description du projet

C'est autour de cette problématique que ARF propose un processus innovant de fabrication de liants hydrauliques et/ou de matériaux inertes qui consiste principalement à substituer en totalité à l'argile et au calcaire provenant de carrières, par des minéraux de substitution préparés à partir de ces déchets.

Le projet prévoit la construction d'une base de données des gisements de déchets à partir de laquelle seront sélectionnées des combinaisons de minéraux de substitution. Après une phase d'essais en laboratoire, ces mélanges feront l'objet de tests de cuisson à l'échelle industrielle permettant à terme d'élaborer le procédé de fabrication des liants hydrauliques. Enfin, les produits finis (liants hydrauliques, matériaux inertes) seront qualifiés en fonction de leurs applications (sous-couches routières, remblais...).

1.3 – Les acteurs du projet

 <p>Bénéficiaire</p>	<p>Activités de Recyclage et de Formulation [59330 SAINT REMY DU NORD / 02800 VENDEUIL] : ARF est spécialisée dans le domaine de la valorisation des déchets industriels via la préparation de combustibles ou de minéraux de substitution à destination notamment des cimenteries.</p>
 <p>Partenaire</p>	<p>LMDC – INSA - UPS de TOULOUSE : Le Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC) est un laboratoire universitaire de recherche dans le domaine de la science des matériaux du génie civil, situé dans le campus universitaire de Rangueil à Toulouse.</p>

2 – Techniques, méthode employée & résultats

La mise au point du procédé s'articule autour de 3 grandes phases :

- Construction d'une base de données des gisements des déchets et sélection en laboratoire de combinaisons de minéraux de substitution à tester en cuisson ;
- Réalisation de tests de cuisson à l'échelle industrielle (four rotatif) ; analyses des produits finis ; choix restreint des combinaisons efficaces en vue de la validation du procédé ;
- Validation du procédé de fabrication des matériaux inertes et des liants hydrauliques : test d'innocuité ; test mécanique et qualification des produits finis en fonction de leurs applications (technique routière, remblais).

2.1 – Construction de la base de données

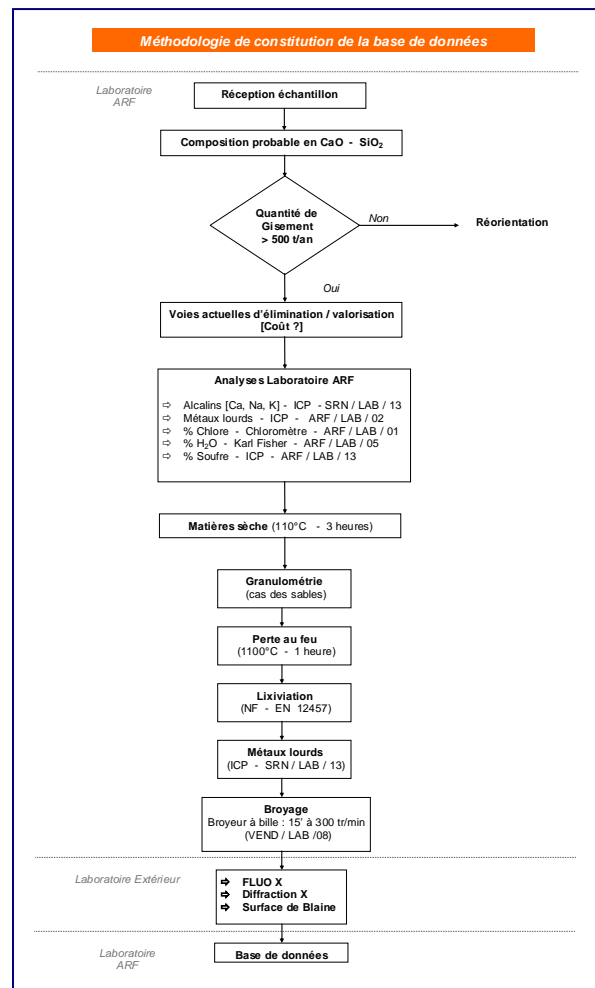
☑ Méthodologie

Un premier travail d'identification des gisements avait été mené par ARF entre 2003 et 2005. A cette occasion, ARF avait élaboré une méthodologie pour constituer une base de données des déchets.

A partir de la refonte de cette procédure de sélection des gisements et sur la base d'une nouvelle architecture établie au démarrage du programme LILFE en octobre 2006, il a été procédé à une réactualisation complète et à l'enrichissement de la base de données des gisements des déchets

Chaque gisement a été étudié suivant ce protocole qui comprend notamment :

- Des analyses effectuées par le Laboratoire ARF :
 - Analyses physico-chimique : % Cl (Chlore), % H₂O (Eau), % S (Soufre), % Matières sèches, % Perte au feu, Pouvoir calorifique ;
 - Teneur en métaux lourds ;
 - Lixiviation ;
 - Granulométrie ;
- Analyses effectuées en laboratoire externe :
 - Fluorescence X qui permet de définir la composition minéralogique du produit ;
 - Diffraction X qui permet de déterminer sous quelle forme sont présents les éléments minéralogiques afin de vérifier leur réactivité ;



- Surface de Blaine qui donne la surface spécifique du produit et de fait son potentiel de réactivité.

Chaque gisement a été intégré à la base de données sous la forme d'une fiche de caractérisation du produit [photo du déchet, coordonnées du producteur du déchet et activité, appellation du produit, référence de l'échantillon, tonnage annuel, aspect physique du produit, traitement actuel du déchet et coût, résultats des analyses physico-chimiques, résultats des analyses par fluorescence X et diffraction X].

☑ Résultats

Au 30/06/2009, date de fin de programme, la base de données comptait **50 gisements** complètement identifiés dont :

- 13 gisements classés comme intéressants [151 500 tonnes]
- 9 gisements classés comme potentiellement intéressants [155 644 tonnes]



A013 : Boue de papeterie



A041 : Sable de fonderie

Une veille technique permanente est assurée afin d'actualiser et d'enrichir la base de données, garantie de la pérennité du projet.

2.2 – Formulation des mélanges et essais de cuisson en laboratoire

☑ Méthodologie

A partir des gisements de la base de données, ARF a procédé en coopération avec le LMDC à des formulations de mélanges en fonction de la stoechiométrie de la réaction chimique du C₂S et du CaO. Elle s'est appuyée sur la *procédure d'essais de mélange de gisement en phase laboratoire qui figure ci-contre*.

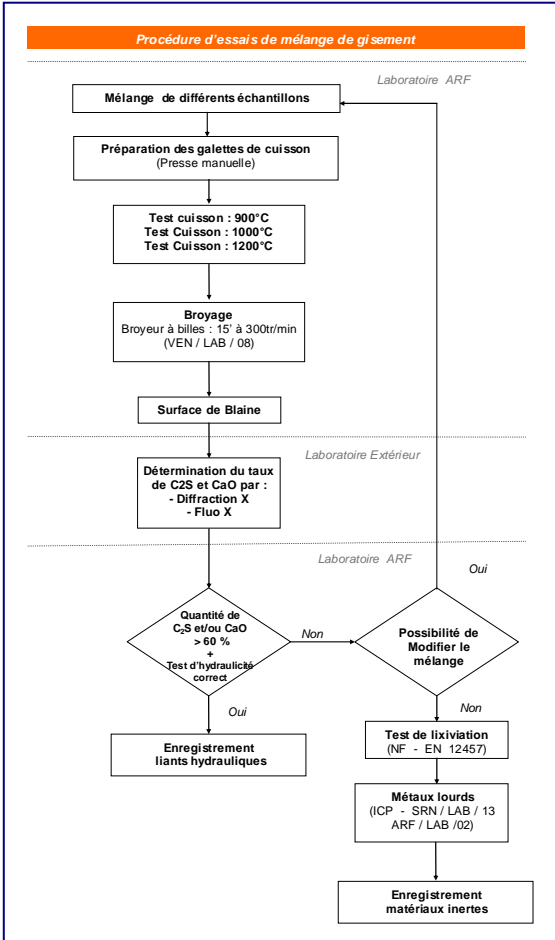
Chaque composant est pesé dans un bol. Il est ensuite ajouté de l'eau afin que le mélange soit homogène et boueux. Il est ainsi obtenu le « cru » (la quantité d'eau apportée est reportée sur le cahier d'essais). Le cru est déposé sur les plaquettes et introduit dans un four à moufle statique à environ 500°C. La température du four est montée à 1100°C en 20 minutes environ et la cuisson se prolonge pendant une heure.



Pesée des composants



Homogénéisation du mélange [apport d'eau]





Préparation des gâteaux de cuisson



Gâteau après cuisson 1h à 1100°C



Produit après broyage et tamisage

☑ Résultats

21 mélanges ont été testés en laboratoire dont 6 ont été affinées via des tests complémentaires. 5 mélanges ont été retenus pour les essais industriels.

Exemple de formulation testé : EA.008.02

- A001 : Boue de station [Industrie]
- A032 : Résidus agroalimentaires
- A039 : Cendres humides
- A042 : Boue argileuse
- A047 : Fumées de silice
- Poussier de calcaire ou calcaire

A001	A032	A039	A042	A047	POUSSIER
20.0%	20.0%	10.0%	39.0%	1.0%	10.0%



2.3 – Tests de cuisson à l'échelle industrielle

☑ Méthodologie

Deux types de préparation et d'introduction des mélanges dans le four rotatif ont été utilisés au cours des essais.



Introduction par voie semi humide :

- Préparation des mélanges sous forme de boue dans un malaxeur [apport d'eau pour homogénéisation]
- Introduction dans le four via une pompe à boue



Introduction par voie sèche :







- Préparation du mélange à la pelle mécanique sur le site de Saint Rémy du Nord et transfert vers Vendeuil
- Introduction via des bandes transporteuses et la trémie d'alimentation du four rotatif



Formulations testées





Essai n°1 [Voie semi humide] : E.A009-3

- A001 : Boue de station [Industrie]
- A018 : Cendres sous chaudière
- A019 : Cendres filtre
- A032 : Résidus agroalimentaires
- A042 : Boue argileuse
- Ajout de calcaire

A001	A018	A019	A032	A042	Calcaire
9.0%	4.0%	9.0%	18.0%	36.0%	24.0%
					




Essai n°2 [Voie semi humide] : E.A013

- A001 : Boue de station [Industrie]
- A032 : Résidus agroalimentaires
- A042 : Boue argileuse
- A049 : Résidus réfractaires

A001	A032	A042	A049
37.0%	37.0%	18.0%	8.0%
			

Essai n°3 [Voie semi humide] : E.A010

- A001 : Boue de station [Industrie]
- A032 : Résidus agroalimentaires
- A013 : Boue de papeterie





A001	A013	A032
33.3%	33.3%	33.3%
		



E.A010 après cuisson & broyage

Essai n°4 [Voie semi humide] : E.A003

- A001 : Boue de station [Industrie]
- A016 : Sciure calcaire
- A032 : Résidus agroalimentaires
- A031 : Cendres humides




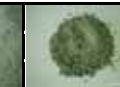
A001	A016	A031	A032
33.0%	33.0%	17.0%	17.0%
			



E.A003 brut après cuisson

Essai n°5 & 6 [Voie sèche] : E.A021

- A001 : Boue de station [Industrie]
- A032 : Résidus agroalimentaires
- A049 : Résidus réfractaires
- Ajout de calcaire

A001	A032	A049	calcaire
22.0%	22.0%	11.0%	45.0%
			

Résultats

ARF a réalisé :

- 4 essais d'introduction matière en voie sèche ;
- 4 tests de cuisson à l'échelle industrielle ;
- 2 essais de cuisson pour validation du process.

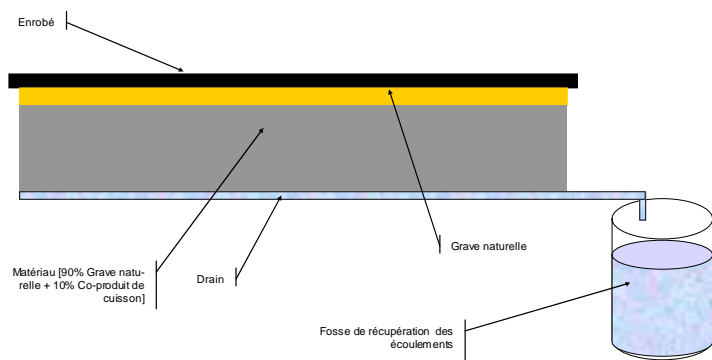
L'essai n°6 a permis de mettre au point un co-produit de cuisson offrant des propriétés hydrauliques intéressantes susceptibles de convenir pour une utilisation en sous-couches routières. Cet essai se différencie du test n°5 par un apport énergétique supplémentaire et un débit matière plus faible (2T/h).

2.4 – Classification des produits / chantier expérimental

☑ Méthodologie

Il est apparu sur avis du Tiers-expert associé au projet [Pierre SILVESTRE], que les analyses prévues initialement pour la classification des co-produits de cuisson, n'étaient pas suffisantes. En complément des analyses visant à déterminer les propriétés hydrauliques des co-produits de cuisson (temps de prise et stabilité, essai de pouzzolanité, résistance mécanique) et des tests de lixiviation simples (innocuité environnementale), il a préconisé d'ajouter **une étape supplémentaire** visant à observer la conduite du co-produit dans le temps dans une utilisation en technique routière.

Une expérimentation vraie grandeur a donc été mise en œuvre sur la base du protocole « Lysimètres et plots expérimentaux » de l'ADEME. Un scénario de mise en œuvre et de suivi (type d'analyse physicochimiques et géotechniques, périodicité...) spécifique pour notre projet a été élaboré par Pierre SILVESTRE.



Le plot test doit reproduire correctement le type d'utilisation proposée (épaisseur, mise en œuvre, autres couches de chaussée...) afin d'obtenir un résultat le plus représentatif possible.

La durée recommandée pour le suivi doit correspondre à une année hydrologique incluant les 4 saisons.

☑ Caractéristique du plot expérimental

Le chantier expérimental a été mis en œuvre sur le site ARF de Saint Rémy du Nord avec la mise en place des suivis et des contrôles à compter du 04/11/2008 :

- **Coproduit de cuisson testé** : E.A021 [55 % de déchets – essai n°6]
- **Quantité utilisée** : 6 à 8 tonnes (10% de la structure du matériau de sous-couche)
- **Taille du plot** : 48 m² sur 0,60 m de profondeur
- **Durée de l'expérimentation** : 12 mois [14/11/2009]



Un plot annexe de 8 m² réalisé sans enrobé vient compléter ce dispositif. Les eaux de percolation sont isolées de la même manière dans une seconde cuve pour suivi et contrôle.

Nature du suivi et des contrôles :

L'expérimentation doit permettre de répondre sur la faisabilité géotechnique et environnementale. Les observations, mesures et contrôles, portent donc sur ces deux aspects :

- Suivi géotechnique du matériau après mélange [granulométrie...];
- Contrôle environnemental du matériau après mélange [lixiviation, percolation ascendante...];
- Relevés & analyses d'eau récupéré dans le plot [Ph, COT, métaux, majeurs, sels, PCDD/PCDF...]: / 8 à 10 campagnes de mesures;
- Contrôle extérieur de l'ensemble de la réalisation du plot;
- Synthèse des résultats avec expression du terme-source en flux.



Les résultats doivent ensuite être comparés à un référentiel de flux naturels.

 Résultats partiels

Au 30/04/2009, 4 séries de mesure ont été obtenues.

Ces premiers résultats montrent :

- une entrée d'eau bien maîtrisée pour le plot revêtu en enrobé (pluie efficace de moins de 10%);
- pour tous les paramètres chimiques, on est encore en phase de mise à l'équilibre physico-chimique. Toutes les valeurs obtenues respectent les valeurs cibles provisoires du MEEDDAT. (guide provisoire v12 –mai 2009). Les deux paramètres qui s'en rapprochent le plus sont le chrome total et le molybdène,
- un relargage correspondant à un flux unitaire qui est du même ordre de grandeur que les flux naturels rencontrés en France métropolitaine.

Un rapport final sera réalisé par Pierre SILVESTRE, Tiers Expert. Les résultats complets seront exprimés en relargage chimique vers l'environnement [flux / m² / an d'emprise au sol], en concentrations en sortie de la structure testée, en relargage ramené au poids de matériau testé [mg/kg], en temps et en L/S [liquide / solide]. Cette expérimentation a pour objet à terme de disposer de données de nature à nous aider à obtenir la fin de statut de déchet pour ce type de co-produit de cuisson.

3 – Impact environnemental du projet

Le projet ARFVALORMAT a permis de mettre au point un procédé de fabrication d'un liant hydraulique susceptible d'être utilisé en technique routière et élaboré à partir de 55% de déchets. Les études concernant l'innocuité de ce produit sur l'environnement ne sont pas achevées à ce jour mais les premiers résultats liés au plot expérimental sont favorables et devraient permettre à terme de disposer d'éléments probants de nature à obtenir la fin de statut de déchets à cette production.

La réalisation de ce projet permettra **de donner une nouvelle vie sous la forme d'un produit fini et commercialisable** à des déchets qui jusqu'à présent faisaient l'objet d'une mise en décharge, d'un épandage agricole (boues), d'une valorisation énergétique en cimenterie ou d'une élimination en incinérateur spécialisé.

Par ailleurs, ce projet novateur offre un véritable bénéfice environnemental :

- En préservant les ressources naturelles (utilisations de déchets à la place d'argile pure) ;
- En diminuant en offrant une alternative à la mise en décharge (limitée à terme aux déchets ultimes) ;
- En apportant une réponse respectueuse de l'environnement au traitement des déchets industriels spéciaux au sens où elle donne une nouvelle vie à des produits ou des matières qui n'avaient plus d'utilité directe.

Nous pouvons donc affirmer que le programme ARFVALORMAT qui a été soutenu par l'Union Européenne, est de nature à apporter, à terme, un réel bénéfice sur le plan environnemental, cela en contribuant à l'amélioration de la gestion des déchets de ces territoires et aux grandes orientations de la Directive 2008/98/CE du Parlement Européen et du Conseil du 19/11/2008 relative aux déchets dont l'un des objectifs est de s'engager vers une société européenne axée sur le recyclage.

4 – Transférabilité

Le procédé de fabrication de liants hydrauliques mis au point par ARF, offre un fort potentiel de reproductibilité tant au niveau national qu'au niveau européen. Il peut être dupliqué de manière simple à partir d'installations industrielles similaires à celles de VENDEUIL : four rotatif de cimenterie ou four à chaux de taille modeste qui ont une capacité de production inférieure à 20 tonnes par heure. Il repose sur des acquis matérialisés au cours et à la fin du programme de démonstration par une base de données des gisements de déchets, par un protocole et un synoptique de production.

En France, il reste néanmoins constant aujourd'hui la problématique de la fin du statut de déchet pour les co-produits de cuisson [liants hydrauliques] pour lequel il n'existe pas de procédure établie permettant la déclassification du produit en « matière première secondaire ».



D'autres pays de l'Union Européenne semblent bien plus avancés en ce domaine. La transposition en droit français de la Directive 2008/98/CE du Parlement Européen et du Conseil adopté le 19/11/2008 devraient permettre de faire avancer les choses.

5 – Perspectives

Sur la base des résultats obtenus dans le cadre du programme ARFVALORMAT, il apparaît donc nécessaire, en partenariat avec le LMDC INSA de Toulouse, de prolonger et d'approfondir nos travaux de recherche et cela principalement pour :

- améliorer le taux de substitution des ressources minérales naturelles par des déchets (55% de déchets sur la formulation testée en plot expérimental] : poursuite de la veille technique sur la base de données, essais de nouvelles formulations (laboratoire et grandeur nature)
- valider l'innocuité des produits obtenus au regard de l'environnement et obtenir un statut de matière première secondaire,
- diversifier les catégories d'application pour nos co-produits de cuisson.

6 – Contacts

	<p>BP 40137 – Saint Rémy du Nord 59618 MAUBEUGE CEDEX</p> <p>☎ 33 (0) 3 27 63 60 60 ☎ 33 (0) 3 27 66 30 54</p> <p>www.arf.fr</p> <p>Chef de Projet :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Emmanuel MEYZA - emeyza@arf.fr <p>Technicien en Recherche et Application Industrielle :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jean-Marc BALANDIER – jmbalandier@arf.fr
	<p>135 Avenue de Rangueil 31077 TOULOUSE</p> <p>☎ 33 (0) 5 61 55 99 16 ☎ 33 (0) 5 61 55 99 49</p> <p>http://www-lmdc.insa-toulouse.fr</p> <p>Professeurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pierre CLASTRES - Martin CYR