

GROUPE DE TRAVAIL N°5
« AMELIORER LA VALORISATION DES DECHETS INDUSTRIELS EN BTP »



GUIDES TECHNIQUES REGIONAUX
RELATIFS A LA VALORISATION DES
DECHETS ET CO-PRODUITS INDUSTRIELS





GRUPE DE TRAVAIL N°5
« AMELIORER LA VALORISATION DES DECHETS INDUSTRIELS EN BTP »

**GUIDES TECHNIQUES REGIONAUX
RELATIFS A LA VALORISATION
DES DECHETS ET CO-PRODUITS INDUSTRIELS**

INTRODUCTION - JUSTIFICATION - ORIENTATION

GUIDES TECHNIQUES REGIONAUX RELATIFS A LA VALORISATION DES DECHETS ET CO-PRODUITS INDUSTRIELS

INTRODUCTION - JUSTIFICATION - ORIENTATION

p UN RAPPEL

.....

Encore associées à l'image de la Région NORD PAS de CALAIS, l'extraction du charbon et son corollaire, la sidérurgie, ont marqué profondément à la fois son histoire et son cadre de vie.

Cette photographie est maintenant jaunie :

- L'extraction du charbon est arrêtée depuis plus de 10 ans et seuls les terrils témoignent de ce passé.
- La sidérurgie n'a pas, fort heureusement, subi le même destin.

Sous l'injonction " Européenne", elle s'est restructurée, regroupée, pour constituer aujourd'hui un pôle d'activités dynamiques.

Novatrice, elle propose maintenant, pour l'essentiel de sa production, des produits à haute valeur ajoutée pour utilisations dédiées. C'est le savoir faire du sidérurgiste que de fabriquer des aciers

inox, des aciers à haute limite élastique, des aciers pré-traités par galvanisation à chaud, Cela vaut notamment pour les aciéries de conversion qui utilisent pour l'essentiel, en tant que matière première, la fonte produite par le haut-fourneau à partir du minerai de fer.

La sidérurgie c'est aussi l'aciérie électrique qui permet de recycler, moyennant une préparation appropriée,

- * les carcasses métalliques des voitures automobiles et des appareils électroménagers,
- * les démolitions de bâtiments à ossature métallique,
- * les chutes de fabrication de la métallurgie et de la sidérurgie,
- * les ferrailles de récupération suite à l'incinération et/ou du tri sélectif des ordures ménagères.

p TROIS MATERIAUX EMBLEMATIQUES

Ces activités, passées et actuelles, n'ont pas été ou ne vont pas sans générer des sous-produits :

- * Les Schistes (1),
- * Les Cendres volantes (2),
- * Les Laitiers de Haut-Fourneau (2).
 - (1) : Matériau naturel
 - (2) : Matériau artificiel

Dans une région offrant peu de matériaux rocheux, ceux-ci peuvent être considérés comme un véritable gisement et, en définitive, une véritable chance.

Ø Les SCHISTES

Ils témoignent à la fois du creusement des galeries de mines et de la séparation entre stériles et charbon. Stockés le plus souvent en tas coniques, ils constituent les fameux "Terrils", emblématiques de la région et mis en musique, récemment, par quelques chanteurs célèbres.

Certains, riches d'Histoire (avec un grand H) sont même aménagés au titre du témoignage de cette période maintenant révolue.

Ø Les CENDRES VOLANTES

Elles résultent de la combustion du charbon dans des centrales de production de vapeur (essentiellement des centrales thermoélectriques). Captées à la base des cheminées, avant rejet des fumées dans l'atmosphère, les cendres volantes, pour la majorité d'entre elles, ont été également stockées en "Terrils".

Ø Les LAITIERS DE HAUT-FOURNEAU

A la base de la filière sidérurgique, le haut-fourneau réduit le minerai de fer pour aboutir à la fonte "primaire". Cette transformation ne se fait pas là également sans qu'un sous-produit n'apparaisse : Le laitier de Haut-Fourneau.

Très apprécié pour ses caractéristiques physico-chimiques, il est utilisé dans différentes filières du BTP. Sa mise en stocks peut être considérée comme nulle.

p DEUX AUTRES MATERIAUX

- Le premier, "Les sables de fonderie" découle directement des activités précédemment citées. La "Fonderie" a pu en effet s'implanter dans la région en raison de l'existence, sous forme de coke et de charbon, de l'énergie nécessaire à son fonctionnement.
- Le second, "Les M.I.O.M.",
Mâchefers d'Incinération des
Ordures Ménagères,

plus contemporain, découle de l'obligation pour les collectivités locales de gérer les déchets ménagers.

Ø LES SABLES DE FONDERIE

La fonderie permet de fabriquer des pièces aux formes complexes ne pouvant pas être obtenues par emboutissage. La technique consiste à emplir, avec un métal en fusion, une empreinte formée dans un sable spécialement préparé à cet effet (le moule et le noyau).

Le sable, au contact du métal liquide, s'échauffe et se dégrade partiellement (sable brûlé). Impropre à la régénération, il est mis au "dépôt", généralement à proximité de la fonderie.

Les quantités en stock ou disponibles sont ici sans commune mesure avec celles des sous-produits évoqués précédemment.

Cela s'explique par :

- * Des utilisations de type VRD, installées depuis toujours, bien souvent locales et qui ont permis de limiter les quantités stockées à titre définitif.
- * De l'évolution des techniques de soudage (mécano-soudé) et de l'émergence de l'industrie des plastiques qui ont conduit à un fléchissement sensible de cette activité,

réduisant ainsi les quantités de sable rejeté.

Ø LES M.I.O.M.

Fruit de l'incinération des ordures ménagères, les MIOM peuvent être considérés comme relativement "récents". Actuellement, ils représentent des quantités pouvant être considérées comme importantes.

Il faut toutefois noter que dans l'avenir leur volume pourrait diminuer en raison :

- des efforts liés à la mise en place des collectes sélectives (variation de la nature et de la masse à incinérer),
- d'une réorientation ou d'un rééquilibrage de la politique du tout incinéré au profit de Centres d'Enfouissement Technique - CET - spécialisés.

m DES GUIDES GENERIQUES.....

Les cinq «MATERIAUX», évoqués ci-dessus.

- Ä LES SCHISTES,
- Ä LES CENDRES VOLANTES,
- Ä LES LAITIERS DE HAUT-FOURNEAU,
- Ä LES M.I.O.M.,
- Ä LES SABLES DE FONDERIE.

sont connus de la "Communauté technique", et, pour certains d'entre eux, utilisés depuis plusieurs décennies dans la région.

Alors pourquoi des guides les concernant ?.

... UNE PREMIERE REPONSE

Etablir des « GUIDES » peut se justifier par le fait qu'aucun document récent de cette nature, hormis peut être pour les MIOM, n'existe actuellement pour ces matériaux.

Elaborés d'une manière collégiale par les différents intervenants dans l'acte de construire, du Prescripteur à l'Entrepreneur, en passant par le Fournisseur et les Laboratoires d'essais, de

tels guides ambitionnent de regrouper « Tout ce qui est connu jusqu'à présent » sur la nature physico-chimique, les caractéristiques intrinsèques, les domaines et limites d'emploi de ces matériaux compte tenu du contexte environnemental. Des synthèses en quelque sorte.

... UNE DEUXIEME REPONSE

Quel que soit le domaine concerné, vient un moment où une transmission des connaissances doit être mise en place.

Ce document est une des réponses possibles. Véritable « Porter à connaissance » auprès des Prescripteurs et

Entrepreneurs débutant dans le métier, il devrait aider de la sorte au transfert des connaissances et, c'est le but recherché, permettre une utilisation pleine et entière des matériaux faisant l'objet des différents guides.

mDES GUIDES SPECIFIQUES.....

Pour les sous-produits peu à pas connus ou pour lesquels l'utilisation s'est faite pour le moment sans véritable retour d'expériences.

... QUATRE FAMILLES ...

1. Les laitiers d'aciéries avec une distinction quant à leur origine entre l'aciérie de conversion et l'aciérie électrique.
2. Les scories issues de procédés thermiques particuliers qui ont pour vocation de recycler, pour en enrichir le titre, des poussières ou résidus plus ou moins riches en divers métaux, tels le zinc et le plomb par exemple.
3. Les "boues" résultant de la combinaison de procédés chimiques et thermiques appliqués sur des minerais spécifiques pour en extraire des oxydes entrant dans la fabrication d'un certain nombre de produits manufacturés.
4. Les scories résultant de l'incinération sous haute température de déchets divers et référencés D.I.S. (Déchets Industriels Spéciaux)

* La liste des matériaux présentés par les industriels ayant adhéré à la démarche proposée par le PREDIS figure à la fin de cette note de présentation.

... IDENTIFIER, CARACTERISER

Avant d'envisager la moindre potentialité d'utilisation de ces matériaux, il était donc nécessaire de cerner leurs :

1. Composition chimique,
2. Composition minéralogique,
3. Caractéristiques intrinsèques,
4. Stabilité dimensionnelle.

Ü Les tests permettant d'approcher les divers matériaux ont été réalisés par "ARMINES Douai"

Le principe des méthodes d'essais utilisées pour les points 1 et 3 sont brièvement rappelées en partie IV consacrée aux textes réglementaires et normes susceptibles d'encadrer l'utilisation de ces divers matériaux.

Ü Les résultats obtenus ont permis ensuite au "CETE Nord Picardie -

Lrpc LILLE", en association avec les services administratifs ayant compétence en matière d'environnement et chacun des industriels concernés:

- * d'établir une toute première fiche signalétique de chacun des matériaux,
- * de lister un certain nombre d'utilisations potentielles pour chacun des matériaux concernés.

* INCITATION A L'UTILISATION DES MATERIAUX.....

C'est un truisme de dire que l'utilisation des déchets :

- "Préserve" le cadre de vie par le biais d'une diminution des décharges/stockages,
- "Epargne", au prorata, les gisements de matériaux naturels.
-

....UNE NECESSITE ECONOMIQUE....

Dans une région très urbanisée, et pauvre en matériaux rocheux de qualité (hormis à ses deux extrémités Est et Ouest), l'utilisation des sous-produits industriels s'est faite naturellement, notamment pour ceux faisant l'objet des cinq premiers guides.

Il est en effet vite apparu nécessaire de les utiliser pour construire, économiquement, les remblais, les ouvrages en terre, les structures de chaussées nécessitées par le développement du réseau routier et autoroutier de la région. Sans eux, comment aurait on pu construire dans des conditions économiques aussi avantageuses les nombreuses autoroutes convergeant vers LILLE (A1, A25, A27, A22 „A23..), les « Rocades minières » du Bassin minier, ?.

....UNE EXPORTATION DU SAVOIR FAIRE....

Les qualités spécifiques des laitiers de Haut-Fourneau et des cendres volantes ont permis à la fois la mise au point de ciments aux laitiers et aux cendres et de produits routiers performants : Grave laitier, Grave cendres volantes,....

Le Nord Pas de Calais a véritablement fait figure de pionnier en la matière.

Ces techniques sont maintenant pérennisées et reprises dans d'autres régions françaises voire dans d'autres pays de la Communauté Européenne.

De plus, il n'échappera à personne qu'une multiplicité en matière d'offre de matériaux, conjuguée avec une utilisation au plus près de lieux de production ou de dépôt contribue à une stabilisation des coûts du BTP et principalement de ceux de la "Construction routière".

....DES PROPOSITIONS PLUS RECENTES A ENTERINER....

Les matériaux groupés dans le sixième guide procèdent d'une proposition plus récente. Pour certains d'entre eux, le recul quant à leur emploi est faible et leurs références restent à établir pour l'essentiel.

L'un n'ira pas cependant sans l'autre :

Pas de prescriptions,

- è Pas de constats quant au comportement du granulat dans l'ouvrage,
- è Pas de retour d'expériences et, au final,
- è Pas de références d'utilisation.

Il devient urgent que les donneurs d'ordres prennent conscience de cet état de fait.

Qu'ils prescrivent ces matériaux là où ils peuvent être utilisés, qu'ils les mentionnent dans les appels d'offre, qu'ils les acceptent dans les solutions variantes proposées par les entreprises,

.... BIEN CONNAITRE LES LIMITES....

Des utilisations bien ciblées cependant. Il est en effet indispensable de toujours avoir en point de mire la limite d'utilisation des matériaux figurant dans le présent document, c'est à dire trouver le meilleur ajustement entre la qualité du granulat, l'importance "stratégique" et le niveau de sollicitation de l'ouvrage.

Il faut donc investir des niches pour lesquelles ces matériaux sont tout à fait adaptés :

- * Est il judicieux et économique de construire des assises de trottoir, des structures de chaussées peu sollicitées,... avec les mêmes Graves laitier que celles utilisées pour l'établissement de chaussées d'autoroute ?
- * Est il possible d'élaborer des enrobés bitumineux ou des enduits superficiels avec des laitiers d'aciéries présentant des caractéristiques intrinsèques intéressantes, en lieu et place de granulats naturels en provenance d'autres régions françaises ou plus couramment, pour le moment, d'autres pays de la communauté européenne.

.... L'ABONDANCE DES SOUS PRODUITS A RECYCLER.... SUITE A DE NOUVELLES DISPOSITIONS REGLEMENTAIRES....

La dynamique du "PREDIS" qui a pour objet d'inciter à la valorisation des sous produits industriels devra se conjuguer, à terme rapproché, avec celle des futurs

"Plans départementaux d'élimination des déchets de BTP".

Elimination, dans ces futurs plans, est synonyme de recyclage, bien souvent vers les TP.

Viendra donc toute une panoplie de matériaux pouvant être considérés comme « Non conventionnels » et qu'il faudra bien pour la plupart d'entre eux réinsérer dans le champ de la construction.

.... UNE AUTRE CULTURE.... ECHAPPER A LA PENSEE UNIQUE....

Pour que cette finalité du "Recyclage" passe dans le quotidien, il devient patent qu'elle doit se trouver au centre des préoccupations de chacun dès qu'il est envisagé de construire un ouvrage.

Un réflexe mais aussi une culture à mettre en place.

Ainsi, les habitudes en matière de construction routière, qui ont fait la part belle à des assises rigidifiées par des liants hydrauliques, devront être révisées. Si cette technique s'avère irremplaçable pour les structures les plus sollicitées, elle ne semble pas indispensable pour des réalisations plus modestes. Ne peut on pas construire autrement et s'orienter vers des structures de chaussées établies à partir de "Graves non traitées" par exemple ?

Se profile là tout un champ d'innovations et d'expérimentations

pour les « Services » et les « Entreprises les plus novatrices ».

....ACCEPTER LE RISQUE....

Le recyclage de matériaux "sub-normaux" suppose cependant que l'on se fasse à l'idée que, sur le plan de la sûreté technique, le risque zéro n'existe pas.

A l'évidence, en terme d'assurance qualité, existe une probabilité un peu plus élevée de dysfonctionnement des ouvrages construits à partir de matériaux recyclés.

Il ne serait en effet pas étonnant qu'en termes de régularité, ces matériaux n'égalent pas tout à fait les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des granulats naturels qu'ils remplacent.

Par rapport au "Granulat naturel".

..... Il n'est donc pas à exclure qu'il faille pour le "Produit recyclé" admettre un décalage, léger, de niveau dans la régularité de la qualité, quelle que soit la procédure de contrôle mise en œuvre.

..... Ce différentiel dans la régularité de la qualité, s'il existe véritablement, doit être pris en considération par les diverses parties.....qui, pour minimiser le risque ou réduire la portée d'une éventuelle pathologie, devront procéder à une démarche de type "Analyse de la valeur", avant

toute prescription ou décision d'utilisation de produits recyclés.

....UN AUTRE FONCTIONNEMENT....

DES RESPONSABILITES PARTAGEES....

Cette notion du risque économiquement acceptable, devrait conduire les Maîtres d'ouvrages à mettre en place un suivi plus "serré".

Le risque accepté par la "Maitrise d'ouvrage" ne doit cependant pas dispenser le Producteur de matériaux recyclés de tout contrôle de qualité.

Bien au contraire, il se doit d'intégrer cette obligation.

A ce stade, il est considéré comme un "Carrier" et à ce titre, il se doit, comme ses homologues, de mettre en place un Plan d'Assurance Qualité (PAQ) de sa fourniture, ceci par le biais de procédures écrites visant, notamment pour certains matériaux spécifiques, à démontrer leur stabilité volumique.

Les tests :

"Essai vapeur et Essai au bain-marie" utilisés au travers de ce document et illustrés dans la partie consacrée aux textes réglementaires et normes sont bien adaptés et pourront servir de support dans ce cadre .

.../...

m IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT.....

...SITUATION ACTUELLE...

Des matériaux groupés dans ce document, **trois d'entre eux** font, pour le moment, l'objet de textes réglementaires concernant la codification de leur utilisation :

- Les Sables de fonderie,
- Les Mâchefers d'Incinération d'Ordures Ménagères - MIOM - ,
- Les Cendres volantes.

L'exploitation des autres matériaux est subordonnée, au cas par cas et selon leur statut, à l'avis des services administratifs ayant compétence en la matière.

....EVOLUTION ATTENDUE....

Cette situation est cependant en passe d'évoluer tout prochainement. Le Ministère chargé de l'Environnement devrait proposer une réglementation concernant l'utilisation de tout matériau pouvant s'inscrire ou être considéré comme :

"RESIDUS DE PROCÉDES THERMIQUES"
(RÉGLEMENTATION RPT)

Le référentiel servant de base pour l'établissement des seuils réglementaires sera mis au point en plusieurs phases successives :

Etape 1 : mise au point d'essais de lixiviation sur les résidus de process et élaboration d'une base de données. Ces résultats, couplés à un travail de modélisation hydraulique et physico-chimique, permettront d'évaluer l'émission de polluants par les structures contenant ces matériaux.

Etape 2 : modélisation afin d'évaluer les flux et les quantités de polluants atteignant le milieu récepteur.

Etape 3 : confrontation entre ces caractéristiques et des valeurs de références relatives aux teneurs en polluants dans les eaux superficielles, les nappes phréatiques et les sols.

L'objectif est de fixer des seuils relatifs aux résultats des essais permettant de garantir l'écocompatibilité des ouvrages par le biais d'une stricte limitation :

- * des concentrations des polluants dans le milieu aqueux environnant,
- * de la contribution à la teneur globale en polluants de l'environnement (eau et sol) pour une durée d'exposition donnée.

Les essais de lixiviation retenus pour un scénario percolant (valorisation en géotechnique et en techniques routières) sont les suivants :

- * l'essai d'influence du pH en conditions stationnaires (essais ANC) qui a pour objectif d'évaluer la résistance du matériau face à des agressions acido-basiques,
- * l'essai de fraction mobilisable (essai FMM) qui a pour objectif d'estimer la quantité de polluants extractibles dans différents contextes chimiques,
- * l'essai de percolation ascendante en colonne qui a pour objectif d'approcher la dynamique de relargage des polluants pour un matériau granulaire.

Un programme expérimental en cours de réalisation consiste à appliquer les essais définis précédemment aux matériaux du Guide n°6 "Déchets Industriels Spéciaux". Il devrait être terminé au deuxième semestre 2002 et

permettra de disposer d'une base de données régionales qui abondera la base de données nationale "RPT".

En toute logique, à terme rapproché, les autres matériaux, et tout particulièrement les Cendres volantes qui

font partie des résidus des procédés thermiques, devront également être analysés selon ces nouveaux protocoles. Cette démarche pourrait devenir, dans les prochaines années, un préalable à toute valorisation.



ETABLISSEMENT DU DOCUMENT

Le présent document a été établi sous la conduite du groupe de travail n°5 du PREDIS intitulé

« AMELIORER LA VALORISATION DES DECHETS INDUSTRIELS EN BTP »

Groupe animé par Marcel CARLIER, Directeur de "Recyclage de Matériaux du Nord (RMN)" en tant que représentant de la Fédération Régionale des Travaux Publics (FRTTP).

◇ Secrétariat :

Stéphane CARLIER ACORE (Association Interprofessionnelle de Conseil et Relations pour l'Environnement)

◇ Soutien technique :

Patrice MAUREL Conseil Régional NORD PAS DE CALAIS

Yannick VAN ES ADEME

avec la participation financière du Conseil Régional du NORD PAS DE CALAIS et du FEDER

◇ Organisation - Rédaction du document :

Gabriel DE BRANDERE CETE Nord Picardie - Lrpc LILLE

Jean Michel SIWAK ARMINES Douai

◇ Exécution du programme d'essais :

Patrick DEGRUGILLIERS ARMINES Douai

Guillaume POTIER ARMINES Douai

Annabella TASSART ARMINES Douai

◇ Ont apporté leur collaboration à la rédaction du document :

Stéphane BAKOWSKI Entreprise Jean LEFEFVRE

Félix BARTOSZACK TERRILS SA

Jean Yves BOUDONNET CTPL

Bruno BROCAIL TERRILS SA

Hervé CAPELLE Entreprise Jean LEFEFVRE

Marcel CARLIER PREFERNORD

Serge CARLIER SCREG Nord

Bernard CHAVATTE Sté VALLOUREC&MANNESMANN

Hubert CHOMBART CETE Nord Picardie - Lrpc LILLE

Michel COLIN DRIRE Nord Pas de Calais - Douai

Alain COMBES CETE Nord Picardie - Lrpc LILLE

Jacques COSYNS Conseil Général du Nord

Jean COULON HUNTSMANN-TIOXYDE

Noël DECRETON BUS VALERA

Philippe DEROUET METALEUROP Nord

François DUFOUR Ets DUFOUR

Jean Marc DUMORTIER Conseil Général du Pas de Calais

Pascal FASSEU CETE Nord Picardie - Lrpc LILLE

Maurice	GALLI CET	DDE 62
Patrice	GARNIER	CETE Nord Picardie - Lrpc LILLE
Maurice	GOSSELI N	GETRAP
Jamal	HELWANI	SOTRENOR
Frédéric	HEYMANS	RECYTECH
Arnould	JACQUART	HECKETT-MULTISERV
Gérard	KITTEL	CETE Nord Picardie - Lrpc LILLE
Jean Luc	LANDSHEERE	Lille Métropole Communauté Urbaine - LMCU -
Christian	LEBRUN	Laminés Marchands Européens - LME -
Didier	LEFEBVRE	UGINE SA
Edouard	LEFEBVRE	ASCOMETAL
Ronald	MAES	RECYDEM
Pascal	MARIE	APPIA
François	MI ERSMAN	SURSCHI STE SA
Claude	PERDON	COMI LOG
Roger	PETI T	Entreprise RCFC
Nelly	PRIOLET	CETE Nord Picardie - Lrpc LILLE
Jean Raymond	QUOI LIN	VALNOR
Jean Pierre	RODOZ	Entreprise STR
Laurent	SCHACHERER	GAGNERAUD Industries
Pierre	VAMBELLE	DDE 59
Serge	VANPEPERSTRAETE	STR
Jacques	VECOVEN	Ciments d'ORIGNY
Jean-Luc	VIENNE	PREFERNORD

CREDITS PHOTOGRAPHIQUES

CTPL

LMCU

DUFOUR (Etablissements)

JEAN LEFEBVRE (Entreprise)

Lrpc LILLE

RCFC

STR

SURSCHI STE SA

TERRILS SA

FINANCEMENT

Le présent document a été établi sur la base d'un financement réparti de la sorte :

1. Fonds européens - FEDER - Objectifs 1 et 2.
2. Industriels ayant proposé des matériaux dans le cadre de cette démarche et participé financièrement à l'établissement de ce document :

ASCOMETAL USINES DES DUNES	LEFFRINCKOUKE	1
B. U. S VALERA	GRAVELINES	1
COMILOG FRANCE	BOULOGNE SUR MER	2
HUNTSMAN-TIOXIDE	CALAIS	4
LAMINES MARCHANDS EUROPEENS - LME -	TRITH SAINT LEGER	1
METALEUROP NORD	NOYELLES GODAULT	5
RECYTECH	FOUQUIERES-LES-LENS	6
SOLLAC ATLANTIQUE	DUNKERQUE	1
SOTRENOR	COURRIERES	3
UGINE SA	ISBERGUES	1
VALLOUREC & MANNESMANN	SAINT SAULVE	1

1 : Laitier sidérurgique d'aciérie électrique

2 : Laitier sidérurgique de haut fourneau

3 : Mâchefer lié à l'incinération de D.I.S

4 : Granulat résultant du traitement de minerai en vue d'en extraire des oxydes de titane

5 : Scorie métallurgique résultant du traitement de minerais (Filières plomb-zinc)

6 : Scorie métallurgique résultant du recyclage des poussières d'aciéries

3. Industriels intéressés par la démarche et ayant participé financièrement à l'établissement de ce document :

- CEMENTS D'ORIGNY : Producteur de ciments et de liants routiers
- EDF : Producteur de cendres volantes
- GAGNERAUD INDUSTRIES : Prestataire de services auprès de la sidérurgie
- GODEFROOD : Négociant de matériaux, Transporteur
- HECKETT-MULTISERV : Valorisation des sables de fonderie
- SURSCHISTE SA : Producteur de cendres volantes
- TERRILS SA : Exploitation des schistes houillers





LES GUIDES GÉNÉRIQUES

à Les Cendres Volantes

à Les Laitiers de Haut-Fourneau

à Les Mâchefers d'Incinération
d'Ordures Ménagères - M.I.O.M.

à Les Sables de Fonderie

à Les Schistes houillers

Guide technique régional relatif à la valorisation des

CENDRES VOLANTES DE CHARBON



Guide technique régional relatif à la valorisation des

CENDRES VOLANTES DE CHARBON

PREAMBULE

Bien que le présent Guide Technique sorte du strict domaine de compétence du PREDIS Nord Pas-de-Calais, celui-ci a souhaité qu'il soit rédigé dans le cadre de ses travaux.

Il est important de signaler que les "CENDRES VOLANTES" silico-alumineuses provenant des centrales thermoélectriques ne sont pas classées en D.I.S - Déchets Industriels Spéciaux.

Utilisées depuis plusieurs décennies dans le cadre du Génie civil, des Techniques routières et de l'Industrie cimentière, les "CENDRES VOLANTES" font l'objet d'un certain nombre de normes de spécifications et d'usages, tant françaises qu'européennes. Ces normes sont rappelées en tant que de besoin dans le présent document et sont mentionnées, ainsi qu'un certain nombre de textes réglementaires, dans la partie "Bibliographie".

Le présent Guide Technique a donc pour objet, dans le cadre strict des normes actuellement en vigueur, de faciliter l'emploi régional des "CENDRES VOLANTES".

SOMMAIRE

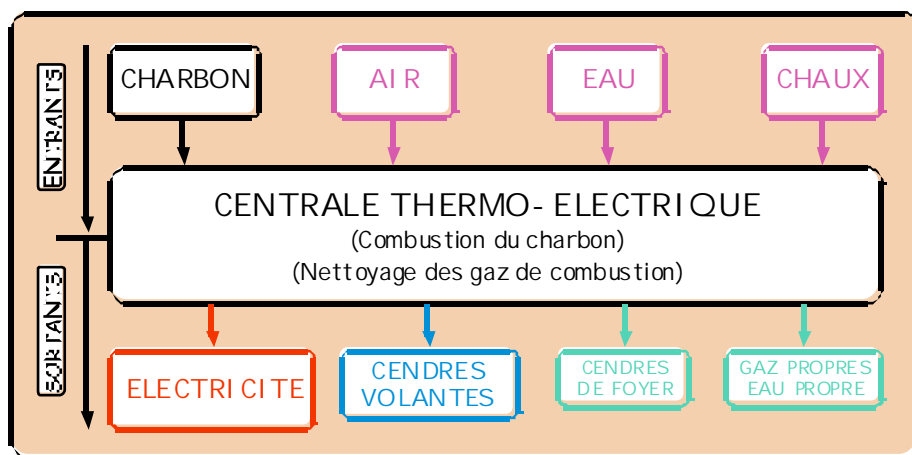
1. GENERALITES	4
1.1 ORIGINE DES CENDRES	4
1.2 GESTION / STOCKAGE DES CENDRES	5
1.3 ASPECT	5
2. CENDRES DE FOYER	6
2.1 GRANULOMETRIE	6
3. LES CENDRES VOLANTES DE CHARBON	7
3.1 REPARTITION GEOGRAPHIQUE / QUANTITES DISPONIBLES	7
3.2 COMMERCIALISATION DES CENDRES VOLANTES	9
3.3 STATUT REGLEMENTAIRE DES CENDRES VOLANTES SUR LE PLAN ENVIRONNEMENTAL	9
3.4 CARACTERISATION DES CENDRES VOLANTES DE CHARBON	11
3.4.1 Caractéristiques physiques	11
3.4.2 Caractéristiques chimiques	11
3.4.3 Minéralogie des cendres volantes	12
3.4.4 Pouvoir pouzzolanique des cendres volantes	12
4. UTILISATION DES CENDRES VOLANTES EN TERRASSEMENTS	13
4.1 UTILISATION EN REMBLAI	13
4.1.1 Classification géotechnique	13
4.1.2 Caractéristiques / Comportement sous compactage	14
4.1.3 Mise en œuvre / Précautions	15
4.2 UTILISATION DES CENDRES EN COUCHE DE FORME	18

5. UTILISATION DES CENDRES VOLANTES EN STRUCTURES DE CHAUSSEES	18
5.1 CENDRES VOLANTES TRAITEES A LA CHAUX ET AU GYPSE (CVC6)	19
5.1.1 COMPOSITION	19
5.2 LA GRAVE CENDRES VOLANTES (GCV)	21
5.2.1 COMPOSITION	21
5.3 LA GRAVE LAITIER-CENDRES VOLANTES (GLCV)	21
5.3.1 COMPOSITION	21
5.4 PERFORMANCES MECANIQUES	22
5.5 FABRICATION / MISES EN OEUVRE SUR CHANTIER	23
6. UTILISATION DES CENDRES DANS LES LIANTS HYDRAULIQUES ROUTIERS .	23
7. UTILISATION DES CENDRES DANS LA FABRICATION DES CIMENTS	23
8. UTILISATION DES CENDRES DANS LA FABRICATION DES BETONS.....	24
9. AUTRES EMPLOIS DES CENDRES VOLANTES.....	26
10. DEMARCHE QUALITE	27
10.1 FICHES TECHNIQUES PRODUITS - FTP -	27
10.1.1 Assises de chaussées	28
10.1.2 Cendres volantes pour les bétons	28
10.2 PLAN D'ASSURANCE DE LA QUALITE	30
10.3 LES CENDRES VOLANTES EN TERRASSEMENT	30
10.4 LES CENDRES EN STRUCTURES DE CHAUSSEES	30
10.5 LES CENDRES DANS LA FABRICATION DES BETONS	31

LES CENDRES VOLANTES DE CHARBON

1. GENERALITES

1.1 ORIGINE DES CENDRES



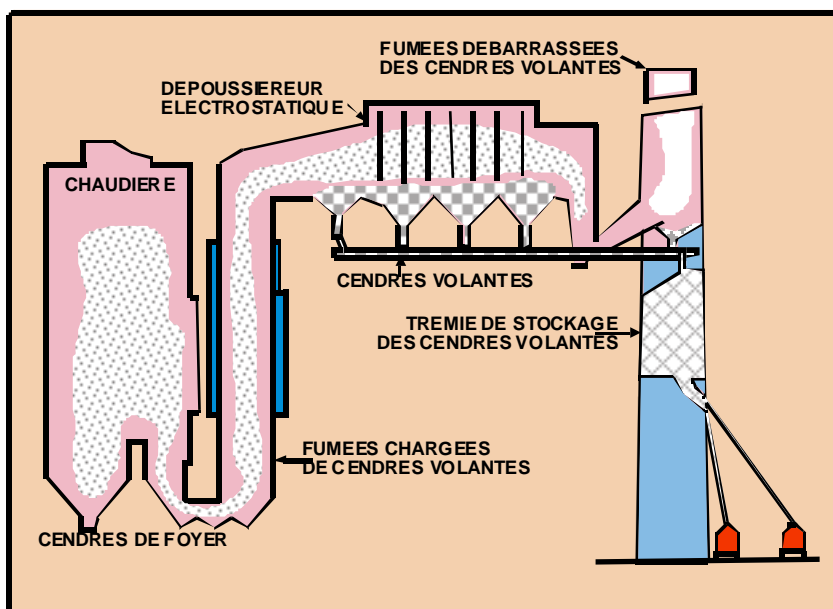
La combustion, dans des centrales thermiques (voir schéma de principe ci-contre), d'un combustible fossile solide, préalablement pulvérisé en vue de produire de la vapeur, conduit à deux sous-produits :

- Les cendres de foyer

Elles sont récupérées dans le « cendrier » de la chaudière.

- Les cendres volantes

Entraînées dans les fumées résultant de la combustion du charbon, d'où leur nom, elles sont captées à la base de la cheminée au moyen de dépoussiéreurs électrostatiques, avant rejet des gaz dans l'atmosphère.



Par rapport à la quantité totale produite, la répartition cendres de foyer, cendres volantes s'établit dans la proportion 15-85% environ.

1.2 GESTION / STOCKAGE DES CENDRES

Les cendres sont gérées selon quatre modes, les quantités afférentes à chacun d'eux étant très différentes.

Elles sont soit :

- 1) Captées immédiatement à la base de la cheminée, et par conséquent totalement exemptes d'eau, elles requièrent les moyens de transport spécifiques aux pulvérulents secs (air comprimé, camions-citernes et silos)
- 2) Humidifiées pour les rendre aptes au stockage puis au transport par camions-bennes ou par wagon. Soumises aux aléas climatiques, elles s'humidifieront jusqu'à une teneur en eau d'équilibre, très variable selon la finesse du matériau, du degré de confinement au sein du stock et de la durée du stockage.
- 3) Transportées par voie hydraulique vers des bassins de décantation, les cendres volantes qui se drainent peu ou pas, présenteront des teneurs en eau très élevées, pouvant avoisiner les 50%, voire plus selon leur finesse.

- 4) Séchées dans des installations spécifiques pour pallier les variations saisonnières de production de cendres sèches (Pour la région, un seul sécheur, à HORNAING (59), opérationnel depuis 1989)

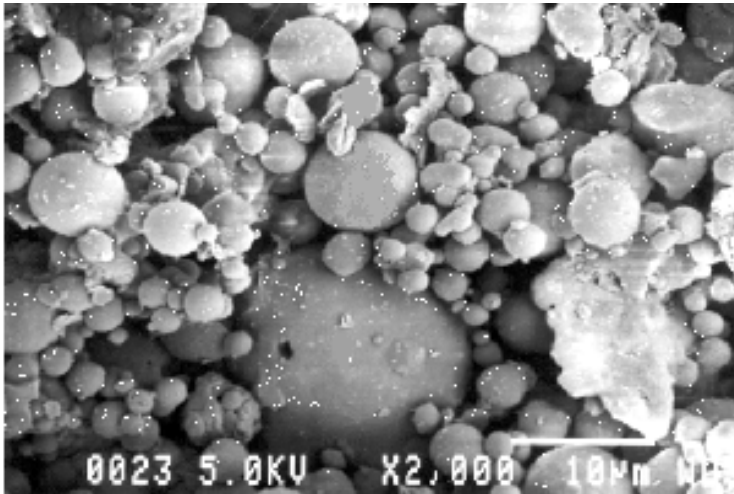


1.3 ASPECT

- Les cendres de foyer :
Désignées généralement « mâchefers⁽¹⁾ », elles se présentent sous la forme d'un sable plus ou moins scoriacé de dimension comprise entre 30 µm et 30 mm, avec parfois quelques rares éléments pouvant aller jusque 100 mm.

(1) A ne pas confondre avec les Mâchefers résultant de l'incinération des ordures ménagères (MIOM).

- Les cendres volantes



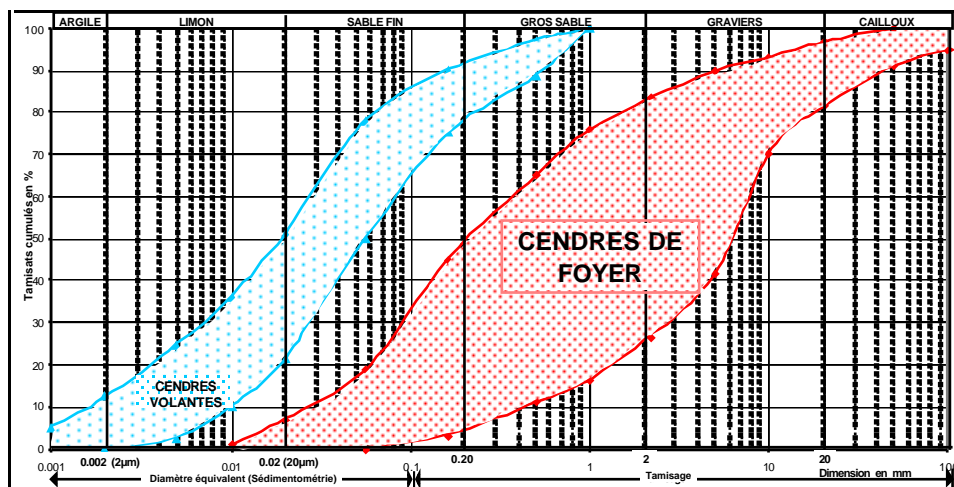
Elles prennent, à l'image d'un ciment, l'aspect d'une poudre de teinte généralement grisâtre. Les éléments constitutifs se présentent sous forme de billes plus ou moins creuses, vitrifiées, aux surfaces brillantes et lisses.

(Voir ci-dessus grossissement au MEB).

2. CENDRES DE FOYER

Pour mémoire, l'objet du présent guide est essentiellement axé sur l'utilisation des cendres volantes de charbon.

2.1 GRANULOMETRIE



NOTA :

La nature des cendres de foyer (absence de particules argileuses) et leur taux de passants à la maille de 80 µm généralement modéré, permettent de les assimiler dans la plupart des cas à

la classe « D1 » telle qu'elle est définie dans la norme P11-300 de septembre 1992. C'est à dire un matériau pouvant être considéré insensible à l'eau (au sens du terrassement).

Cette qualité, très appréciée, est exploitée notamment en tant que :

- * Matériau de remblai de tranchées ou de chape pour pistes ou aires d'évolution diverses.
- * Sable dans les industries de préfabrication d'éléments en béton ou de mortiers prêts à l'emploi.
- * Dans le cadre d'une utilisation en remblai, le matériau devra satisfaire les spécifications définies dans la norme A 05-252 juillet 1990 « Corrosion par les sols - Aciers galvanisés ou non mis au contact de matériaux naturels de remblai (sols) » et notamment celles du § 7 « Critères chimiques et électrochimiques d'acceptation d'un matériau de remblai » (Résistivité, pH, teneurs en sels solubles).

± ±
±

Ces généralités concernant les cendres de foyer doivent cependant être vérifiées avant chaque usage par le biais d'une FTP récente (Fiche Technique Produit).

3. LES CENDRES VOLANTES DE CHARBON

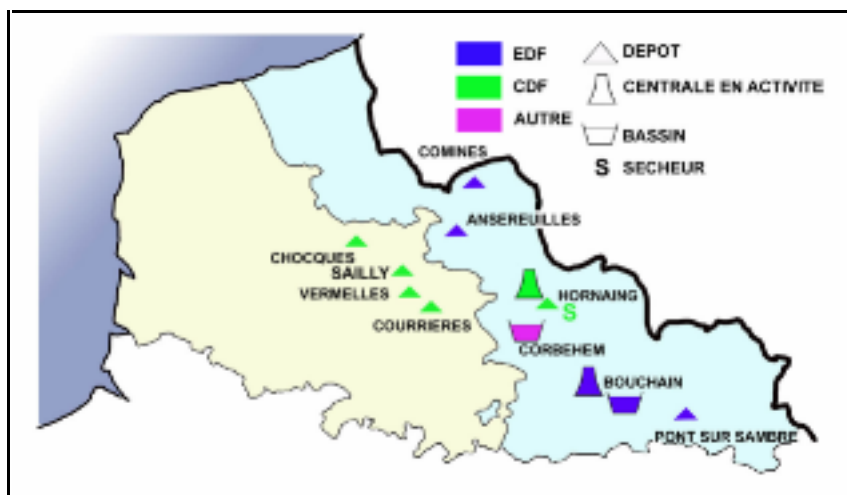
Deux grandes familles de cendres volantes sont disponibles sur le marché, elles diffèrent essentiellement par leur composition chimique :

- Les cendres Sulfo-calciques. Pour mémoire, elles ne sont plus produites en France. Elles résultent de la combustion du lignite.
- Les cendres Silico-alumineuses. Elles proviennent de la combustion du charbon.

Ce sont ces dernières que l'on rencontrera dans la Région Nord-Pas de Calais

3.1 REPARTITION GEOGRAPHIQUE / QUANTITES DISPONIBLES

Les stocks de cendres silico - alumineuses, les seules présentes dans la région Nord-Pas de Calais, sont attachés, pour la plupart, à la présence de centrales thermoélectriques, dont la plupart sont maintenant arrêtées voire démolies.



Deux centrales thermoélectriques sont encore en activité dans la région Nord-Pas de Calais. (Voir carte ci-dessus).

En début 2000, environ 12 millions de tonnes de cendres volantes silico-alumineuses sont disponibles, elles se répartissent comme suit, en tonnes :

Source EDF⁽¹⁾, CDF⁽²⁾ et RCFC⁽³⁾

Centrales EDF		Centrales CDF		STORA ⁽⁴⁾
ANSEREUILLES	1 800 000	HORNAING	4 500 000	CORBEHEM 50 000
BOUCHAIN	1 600 000	COURRIERES	1 500 000	
PONT-SUR-SAMBRE	1 000 000	VERMELLES	600 000	
COMINES	200 000	SAILLY (Cendres de foyer)	300 000	

(1) Electricité de France

(2) Charbonnages de France

(3) RCFC Route

(4) Usine STORA à CORBEHEM (Papeterie). Bassin de cendres volantes associé à l'ancienne centrale thermoélectrique. Il n'y a plus actuellement de production de cendre volantes en raison d'un changement de combustible.

Dans les toutes dernières années 1900, le flux moyen annuel des cendres s'établissait comme suit :

» 140 000 tonnes produites à partir des centrales thermoélectriques en activité

» 500 000 tonnes consommées, selon la répartition suivante :

≈ 65 % : En techniques routières (mélanges routiers, construction de remblais,...)

≈ 25 % : Dans la fabrication des :

- ◇ bétons de chantiers et de préfabrication,
- ◇ bétons prêts à l'emploi - BPE,
- ◇ coulis d'injection,
- ◇ matériaux autocompactants.

≈ 10 % : Pour la fabrication des liants hydrauliques (ciments, liants routiers, ...).

* En découle un « déstockage » annuel de l'ordre de 360 000 tonnes qui conduit, toutes choses étant égales par ailleurs, à une résorption totale des dépôts de cendres volantes au terme d'une trentaine d'années.

Il est raisonnable cependant d'estimer que cette échéance sera raccourcie en raison d'une probable progression de l'activité du BTP et, surtout, d'un arrêt prévisible, dans un horizon d'une dizaine d'années, des dernières centrales thermoélectriques encore en service dans la région Nord Pas de Calais.

.../...

3.2 COMMERCIALISATION DES CENDRES VOLANTES

* LA DISTRIBUTION DES CENDRES VOLANTES SE FAIT PAR VENTES DIRECTES AUPRES :

p Cendres volantes humides en vrac :

- * Des maîtres d'ouvrages pour des travaux neufs routiers impliquant des volumes importants de matériau, généralement pour une utilisation en remblai ou en assises de chaussée,
- * Des fabricants de mélanges routiers à destinations diverses et/ou des entreprises de travaux publics, installées en fixe ou d'une manière occasionnelle à la faveur d'un chantier particulier, sur le site du dépôt de cendres,
- * Des producteurs de granulats disposant dans leur carrière d'une « centrale » spécifique,
- * Des producteurs de ciments.

• Cendres volantes sèches

- * Des fabricants de liants hydrauliques : Ciments et liants routiers,
- * Des fabricants de bétons : BPE¹, Bétons de chantiers, Préfabrication,...

3.3 STATUT REGLEMENTAIRE DES CENDRES VOLANTES SUR LE PLAN ENVIRONNEMENTAL

Actuellement, les cendres volantes produites dans des installations classées pour la protection de l'environnement au titre de la loi du 19 juillet 1976² sont régies par la circulaire du Ministère de l'Environnement n°96-85 en date du 11 octobre 1996 relative aux cendres volantes issues de la filtration des gaz de combustion d'origine fossile dans des installations classées pour la protection de l'environnement.

La valorisation est organisée de la façon suivante :

* IL EST CONSIDERE QUE L'UTILISATION DES CENDRES VOLANTES DE CHARBON :

- ◆ EST AUTORISEE si celles-ci entrent dans la composition de produits qui, au final, par leur pouvoir d'hydraulicité, provoqueront ou participeront à des prises pérennes des mélanges dans lesquels ils sont introduits.

Deux grands axes se dessinent en la matière :

1. Introduction de cendres volantes, en quantité plus ou moins importante en fonction de la caractéristique recherchée, lors de la fabrication, en cimenterie, de liants normalisés.
 - * Il est entendu que pour ces usages, les cendres volantes doivent respecter les critères de qualité spécifiés dans la norme NF P15-301 Juin 1994 :

¹ BPE : Bétons Prêts à l'Emploi

² loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement (JO du 20 juillet 1976).

« Liants hydrauliques - Ciments courants : Composition, spécifications et critères de conformité »

2. Introduction de cendres volantes lors de la fabrication des mélanges routiers et des bétons.

* Il est entendu que celles-ci doivent respecter les critères de qualité spécifiés dans les normes :

NF EN 450 Octobre 1995

« Cendres volantes pour béton : Définitions, exigences et contrôle de qualité ».

NF 98-110 novembre 1991

Assises de chaussées - Cendres volantes silico-alumineuses - Spécifications

◆ EST SUBORDONNÉE, pour toute autre destination, à une étude, au cas par cas, de la composition des cendres et de leurs lixiviats³ :

* dans le cas de cendres prélevées sur des stockages, les analyses portent sur des échantillons prélevés selon des règles permettant une représentativité suffisante,

* dans le cas d'une production régulière, les analyses sont renouvelées périodiquement compte tenu de la variabilité des charbons brûlés et d'autres paramètres de la combustion.

Cette disposition concerne tout ouvrage au sein duquel il est établi que les cendres volantes ne développeront pas de prises hydrauliques (remblais routiers, plates-formes, ...).

F A ce jour et moyennant l'observation de ces dispositions, l'utilisation des cendres volantes de charbon est autorisée pour la construction de remblais ou, plus largement, pour la construction de tout « ouvrage en terre ».

Conformément à l'esprit de la loi du 15/07/1975⁴, cette utilisation se fait cependant sous la responsabilité du producteur de déchets, en vertu du principe qui veut que ce dernier doit, sous sa responsabilité juridique et financière, porter remède à toute situation déclarée critique vis à vis de l'environnement du fait de l'utilisation de ses matériaux.

Cette situation devrait cependant évoluer et se normaliser prochainement au niveau national dans la mesure où les producteurs de matériaux issus de procédés thermiques sont engagés⁵ avec le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement

³ Selon NF P31-210

⁴ Loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux (JO du 16 juillet 1975).

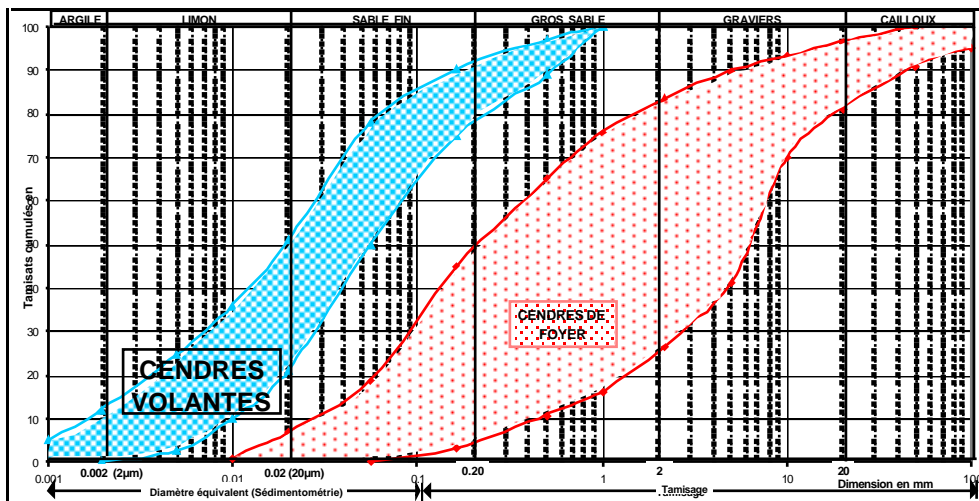
⁵ Avec le concours de l'INSA POLDEN et le réseau technique du Ministère de l'Équipement

(MATE) dans une démarche visant à une « Réglementation des déchets issus des Procédés Thermiques - "RPT" ».

3.4 CARACTERISATION DES CENDRES VOLANTES DE CHARBON

3.4.1 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

- Leurs dimensions s'échelonnent entre 0,5 et 315 µm avec une finesse blaine se situant entre 2200 et 4000 cm²/g. Celle d'un ciment classique se situe vers les 4000 cm²/g.



3.4.2 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Les éléments essentiels sont au nombre de trois :

F la silice, F l'alumine, F les oxydes de fer

avec en plus une présence de chaux libre plus ou moins importante selon la famille de la cendre :

Les Sulfo-calciques présentent, au détriment de SiO₂, un taux de CaO beaucoup plus important que les Silico-alumineuses.

On notera par ailleurs que les cendres silico-alumineuses, quasi insolubles dans l'eau, contiennent une certaine quantité d'imbrûlés provenant d'une combustion incomplète du charbon. Cet aspect est traité dans le § 5.3.1 - Teneur en carbone - de la norme P98-110 Novembre 1991 par une perte au feu à 1000°C et, si besoin est, par une teneur en carbone de la cendre. On se reportera à la norme P98-110 pour plus de précisions.

Par ailleurs, NF EN 450 : "Cendres volantes pour béton - Définition, exigences et contrôle de qualité", limite, en masse, la perte au feu à 5% ; Ce paramètre étant déterminé selon les principes de la méthode décrite dans EN 196-2 mais pour un temps de combustion d'une heure.

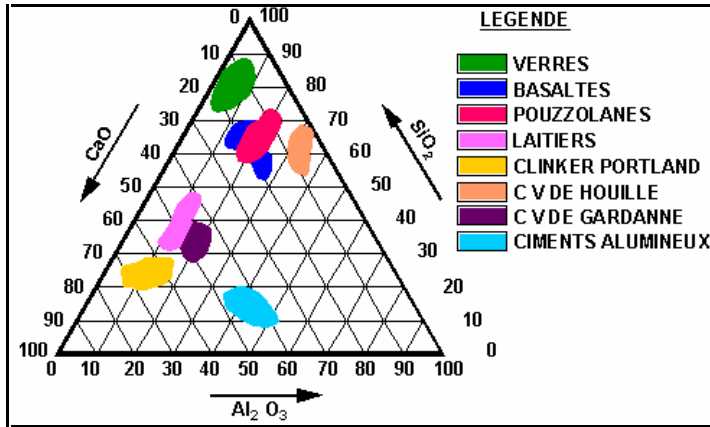
Analyse chimique moyenne en % :

CENDRES SILICO-ALUMINEUSES									
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CaO libre	Alcalins disponibles

40 à 60	25 à 35	1 à 5	7 à 10	» 2	» 5	< 1	< 1	» 0.15	» 0.30
---------	---------	-------	--------	-----	-----	-----	-----	--------	--------

F Le pH des cendres silico-alumineuses se situe autour de 10.

Les cendres volantes de lignite et de charbon ne se placent pas dans la même zone du diagramme triangulaire $SiO_2 / Al_2O_3 / CaO$.



Les cendres Sulfo-calciques (lignite) sont proches des clinkers et des laitiers. A ce titre, elles peuvent être considérées comme de véritables ciments. Elles feront prises en la seule présence d'eau.

Les cendres Silico-alumineuses (charbon) proches des pouzzolanes ne pourront présenter des qualités d'hydraulicité que dans

un milieu basique, généralement assuré par un ajout de chaux.

3.4.3 MINERALOGIE DES CENDRES VOLANTES

Les stériles du charbon sont essentiellement constitués de silice et d'alumine sous forme de minéraux phylliteux (schistes) de composition analogue à celle des argiles et comportant un peu de quartz.

La finesse du broyage du charbon et les températures atteintes dans la flamme modifient la structure minéralogique de ces stériles. La silice libre se retrouve sous la forme de quartz (tridymite ou cristobalite).

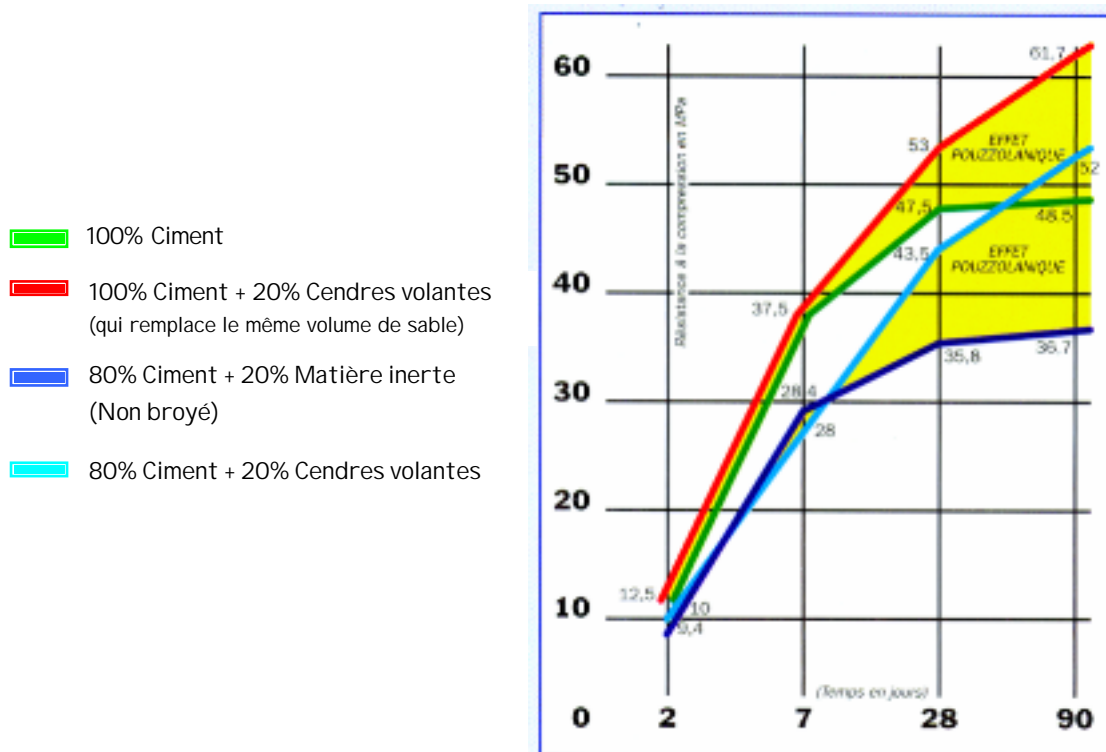
Les autres minéraux donnent naissance à une phase vitreuse renfermant une faible partie cristallisée essentiellement sous forme de mullite (Silicate d'alumine).

3.4.4 POUVOIR POUZZOLANIQUE DES CENDRES VOLANTES

"La propriété pouzzolanique est connue depuis la plus haute antiquité. Vitruve rapporte dans ses écrits que, si on mélange avec de la chaux des matériaux d'origine volcanique extraits aux environs de Pouzzoles au pied du Vésuve, on constate que le mélange obtenu durcit aussi bien sous l'eau qu'à l'air. C'est ainsi que sont construits notamment le Panthéon romain, le Colisée, la Basilique de Constantin, le Pont du Gard".

.../...

* MANIFESTATION DE L'EFFET POUZZOLANIQUE DES CENDRES VOLANTES



4. UTILISATION DES CENDRES VOLANTES EN TERRASSEMENTS

On se reportera également au Guide technique - GTR - « Réalisation des remblais et couches de forme » de Septembre 1992, édité par le SETRA et le LCPC

4.1 UTILISATION EN REMBLAI

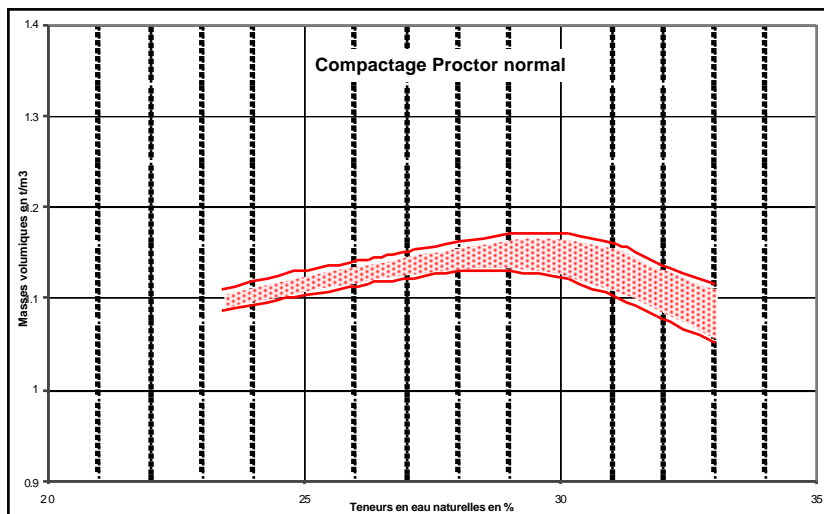
4.1.1 CLASSIFICATION GEOTECHNIQUE

Dans la gamme des sous-produits industriels, la norme NF P11-300 classe les cendres en F2. Il est d'usage cependant de les assimiler à la classe des sols fins de type « A1 » compte tenu de leur comportement en tant que matériau de remblai.

Cette assimilation présente l'intérêt de permettre l'utilisation des grilles de compactage figurant, pour cette catégorie de sols, dans le guide technique SETRA / LCPC de 1992 relatif à la « Réalisation des remblais et des couches de forme ».

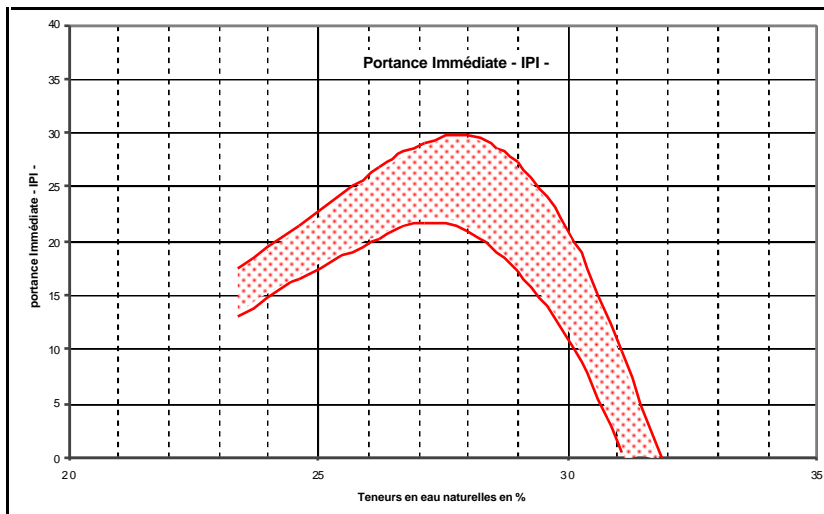
* En vrac et humides, les cendres volantes présentent une masse volumique (foisonnée) de l'ordre de 1 t/m³ (Pour le transport : 1 m³ ≈ 1 tonne).

4.1.2 CARACTERISTIQUES / COMPORTEMENT SOUS COMPACTAGE



Après densification, sous l'énergie du Proctor normal, la masse volumique sèche se cantonne entre 1,0 et 1,3⁽¹⁾ t/m³ pour une plage de teneurs en eau optimales, au plus large, de 20 à 35%⁽¹⁾.

(1) : Avec, parfois, quelques légers dépassements de cette fourchette, tant par le haut que par le bas.



Pour les cendres les plus courantes, il faut surtout noter une courbe de compactage Proctor normal, plutôt plate, permettant de mettre en oeuvre le matériau sous une gamme de teneurs en eau relativement large, tout en conservant une portance (IPI) compatible avec le bon fonctionnement des engins de chantier.

Une vigilance accrue devra cependant être exercée vis à vis de l'excès d'eau qui conduira à une perte importante et soudaine de la portance immédiate.

Compte tenu de leur possible variabilité par rapport au standard défini ci-dessus, chaque utilisation de cendres volantes pour constitution de remblais et couches de forme de chaussées devra être considérée comme un cas d'espèce.

* Il convient donc à chaque fois de définir les courbes Proctor/IPI en début de chaque chantier (à défaut de FTP récente) et de « caler » précisément la teneur en eau naturelle aux fins de bien apprécier, en fonction de l'état hydrique du moment des cendres volantes, « la marge de portance disponible lors du compactage ».

Comme indiqué ci-après, l'état hydrique des cendres est apprécié comme suit :

Classe F (Extrait de NF P11-300 de septembre 1992)

Famille de matériaux	Caractères principaux	Paramètres retenus		
		Valeurs seuils	Sous-classe	
F2 Cendres volantes silico-alumineuses de centrales thermiques	Voir ci-après (1)	Voir ci-après (2)	$IPI^{(3)} \in 4$ ou $Wn^{(4)} \geq 1,3 W_{OPN}^{(5)}$	F ₂ th Cendres volantes très humides
			$4 < IPI \in 10$ $1,2 W_{OPN} \in Wn < 1,3 W_{OPN}$	F ₂ h Cendres volantes humides
			$0,85 W_{OPN} \in Wn < 1,2 W_{OPN}$	F ₂ m Cendres volantes à teneur en eau moyenne
			$0,75 W_{OPN} \in Wn < 0,85 W_{OPN}$	F ₂ s cendres volantes sèches
			$Wn < 0,75 W_{OPN}$	F ₂ ts Cendres volantes très sèches

(1) Caractères principaux : Ces matériaux constituent le résidu de la combustion du charbon dans des centrales thermiques. Ce sont des matériaux constitués d'éléments fins ($60\% < 80\mu m$), relativement homométriques, sphériques, poreux, mais ne présentant aucune plasticité. De ce fait, ils sont sensiblement moins denses que les sols, relativement drainants, et présentent une portance satisfaisante jusqu'à des teneurs en eau dépassant largement la W_{OPN} . Toutefois, au delà d'une teneur en eau limite, leur portance chute de manière extrêmement brutale

(2) paramètres retenus : Le paramètre caractéristique de ces matériaux est le rapport entre leur teneur en eau naturelle et leur teneur en eau optimum Proctor normal

(3) IPI Indice Portant Immédiat (Cf NF P94-078 de Mai 1997)

(4) Wn : Teneur en eau naturelle (Cf NF P 94-049 de Septembre 1996 et Nf P94-050 de Septembre 1996)

(5) W_{OPN} : Teneur en eau optimale de compactage sous énergie Proctor normal (Cf NF P94-093 de Septembre 1997)

4.1.3 MISE EN ŒUVRE / PRECAUTIONS

En préliminaire, il est bon de rappeler que les cendres, comparées aux autres matériaux classiques destinés aux mêmes usages, s'avèrent beaucoup plus légères après compactage (de 30 à 50 %). Les tassements en zone compressible étant une fonction directe de la pression apportée par le remblai sur le sol support, il est indiscutable que l'emploi de tels matériaux trouve ici une pleine justification.

Dans le cadre de cette utilisation et, plus largement, pour toute utilisation en terrassement, il est impératif de se soucier constamment de la sensibilité des cendres vis à vis de l'eau.

* Tout devra donc concourir à les protéger de toute imbibition accidentelle.

On trouvera ci-après quelques principes qu'il sera bon d'observer pour pérenniser les ouvrages construits :

4.1.3.1 CONSTITUTIONS DES REMBLAIS

- Les remblais en cendres ne devront en aucune manière avoir la possibilité d'être au contact immédiat de l'eau comme cela peut se produire en zone inondable.

* Dans cette configuration, il est nécessaire de s'opposer à toute absorption d'eau par la base de l'ouvrage.

Aux fins de le soustraire au contact direct de l'eau mais également des remontées capillaires, le massif de cendres devra être établi sur un soubassement perméable constitué de matériaux de type D2 ou D3 selon P11-300. Ceux-ci devront présenter toute garantie de résistance vis à vis de la fragmentabilité⁽¹⁾ et, surtout, de la dégradabilité⁽²⁾. Cette assurance est acquise s'il est employé des matériaux de classes D21 ou D31 qui, selon P11-300, présentent des coefficients MDE⁽³⁾ et LA⁽⁴⁾ ≤ 45.

Pour plus de précision, on se reportera au guide technique SETRA/LCPC de septembre 1992 « Réalisation des remblais et ds couches de forme »

(1) Selon NF P94-066 Décembre 1992 - Sols : Reconnaissance et essais - Coefficient de fragmentabilité des matériaux rocheux

(2) Selon NF P94-067 Décembre 1992 - Sols : Reconnaissance et essais - Coefficient de dégradabilité des matériaux rocheux

(3) Selon XP P18-572 Décembre 1990 - Granulats - Essai d'usure MI CRO-DEVAL

(4) Selon XP P18-573 Décembre 1990 - Granulats - Essai de LOS-ANGELES

- Malgré les précautions prises, des infiltrations, par le haut et les flancs du remblai, peuvent se produire. En découle que l'assise précédemment citée devra être dressée sous des pentes transversales de l'ordre de 4% afin de permettre, autant que faire se peut, une évacuation de l'excès d'eau qui pourrait s'établir à la base du remblai en cendres. Il est rappelé que ces dernières sont particulièrement hydrophiles et se drainent difficilement.
- L'expérience a montré que les cendres pouvaient présenter quelques problèmes de stabilité et de portance dans le cadre d'ouvrages de faible hauteur (imbibition plus aisée de la totalité du volume mis en œuvre, plus grande sensibilité vis à vis du gel en raison même de cette saturation potentielle, ...). Pour s'affranchir de ces éventuelles difficultés, il est recommandé de privilégier leur emploi pour la construction de remblais de grande masse pour lesquels existe un retour d'expérience positif.

4.1.3.2 PENTE DES TALUS

- Eu égard à leurs caractéristiques intrinsèques de cisaillement à long terme, les pentes de talus des remblais peuvent être dressées sous une pente de 2/3 (2 de haut pour 3 de base)

4.1.3.3 MISE EN OEUVRE - COMPACTAGE DES CENDRES

- Comme indiqué précédemment, on adoptera les grilles de compactage relatives au sols de classe « A1 » définies dans le GTR, avec, en première action, un pré-compactage aux fins de « pré-serrer » la couche qui vient d'être régalée (pousseur, engin à chenilles), ... Ceci pour que le compacteur ne s'enfonce pas dans le matériau foisonné.

- Les engins à pneus, notamment pour les cendres présentant des teneurs en eau élevées, sont à privilégier dans le cadre du compactage, la vibration pouvant conduire, en cas de teneur en eau excessive, à des phénomènes thixotropes qui peuvent se traduire par une brusque perte de portance.



Les cendres étant extrêmement sensibles au ravinement, il est impératif de veiller

- au bon compactage des flancs du remblai. La seule méthode efficace en la matière est d'opérer par surlargeurs de l'ordre du mètre, ... puis dès achèvement de la montée de l'ouvrage de retirer l'excédent latéral, ... puis de protéger immédiatement les flancs ainsi dressés par une couverture

de terre végétale, ... qui sera ensemencée au plus vite.

Pour les remblais de grande hauteur, il sera prudent de prévoir, à fréquence régulière, des redents sur les pentes de talus pour éviter tout glissement du placage de terre végétale.

- La mise en œuvre des cendres volantes devra être stoppée durant les périodes de pluie intense ou prolongée, le matériau devenant très rapidement incompactable en raison d'un excès d'eau.



- Par ailleurs, si pour une raison quelconque,
 - * la montée du remblai doit être momentanément arrêtée, il est impératif, toujours pour contrarier le ravinement des flancs par des ruissellements incontrôlés, de conférer à l'arase terrassement un profil spécifique permettant une canalisation des eaux météoriques vers un exutoire approprié, tout en veillant à ne favoriser aucune rétention en surface.
 - * l'organisation du chantier conduit à un délai important entre la fin de la montée du remblai et la mise en place de la couche de forme, il devient indispensable de prévoir une protection de l'arase terrassement par le biais d'une émulsion gravillonnée (ou de tout autre moyen adéquat) qui ralentira la dessiccation, en été, ou l'imbibition, en hiver.

4.2 UTILISATION DES CENDRES EN COUCHE DE FORME

Cette couche qui constitue la future plate-forme sur laquelle s'appuiera le corps de chaussée proprement dit, doit :

- * Assurer la traficabilité, quasi tout temps, des engins approvisionnant les matériaux de la première couche de chaussée,
- * Permettre le compactage efficace de cette même première couche de chaussée,
- * Satisfaire les exigences de nivellement de la plate-forme support de chaussée,
- * Assurer la protection de l'arase terrassement vis à vis des agents climatiques dans l'attente de la réalisation de la chaussée, la couche de forme devant elle même résister vis à vis du gel.

Ces impératifs conduisent à n'envisager l'utilisation de cendres volantes qu'après leur traitement avec un liant hydraulique ou après une simple activation calcique (voir le § concernant l'utilisation pour la construction des couches de chaussées).

Sur le plan du principe, ce mode d'utilisation semble tout à fait possible. Il faut cependant admettre que dans les faits il a été peu exploité, en raison probablement de son coût, des habitudes régionales et, durant sa mise en œuvre et son jeune âge, de la sensibilité vis à vis des eaux météoriques du produit résultant.

- * La plupart des remblais en cendres volantes construits dans la région ont été recouverts par une couche de forme constituée de schistes houillers rouges, ou, d'une manière plus large, par un matériau de classe D21 ou D31, tels qu'ils sont définis dans la norme NF P11-300 (ou le GTR).

5. UTILISATION DES CENDRES VOLANTES EN STRUCTURES DE CHAUSSEES

Pour les usages routiers, les cendres volantes silico-alumineuses doivent répondre aux spécifications définies dans la norme :

- * NF P98-110 Novembre 1991

« Assises de chaussées -Cendres volantes silico alumineuses - Spécifications ».

Le pouvoir pouzzolanique des cendres étant déterminé selon :

- * NF P98-111 Mars 1992

« Essai de réactivité des cendres volantes silico-alumineuses à la chaux ».

- * Sur le plan normatif, les diverses normes françaises traitant des structures de chaussées à base de cendres volantes seront, à terme rapproché, remplacées par des normes européennes.

En projet :

- ◇ Pr EN 227407

« Cendres volantes pour les mélanges liés pour la construction routière »

- ◇ Pr EN 227403E

« Mélanges liés aux cendres volantes pour la construction routière - Définition, composition, Classification »

± ±

±

La capacité de la cendre volante silico-alumineuse à engendrer des prises hydrauliques en milieu basique conduit à une proposition de mélanges routiers qui, après mise en œuvre et à terme plus ou moins éloigné, se présenteront sous une forme monolithique :

Citons les plus usités :

- * La cendre volante traitée à la chaux (activant) et au gypse (accélérateur de prise).
- * La Grave-Cendres volantes
- * La Grave mixte-Laitier granulé (ou pré-broyé) de haut-fourneaux/Cendres volantes

Dans une moindre mesure, les cendres volantes ont été (ou sont) également utilisées pour la confection des bétons routiers à destinations diverses :

- * Bétons secs compactés
- * Bétons pour dalles de chaussées épaisses, cloutées en surface de roulement
- * Bétons pour dalles de chaussées en béton armé continu (BAC)

5.1 CENDRES VOLANTES TRAITÉES A LA CHAUX ET AU GYPSE (CVCG)

Ce matériau fait l'objet de la norme NF P98-116 Février 2000 :
 "Assises de chaussées, Graves traitées aux liants hydrauliques.
 Définition - composition - Classification".

5.1.1 COMPOSITION



Dans ce mélange, la cendre volante joue à la fois le rôle de granulat et de liant. La composition moyenne s'établit comme suit (en poids secs des constituants):

F 91% de cendres volantes, F
 4% de chaux vive,

F 5% de gypse

ou

F 90% de cendres volantes, F
 5% de chaux éteinte,

F 5% de gypse

Il est important de noter les restrictions formulées par la norme concernant les dosages de la chaux et du gypse dans le mélange.

Un excès de l'un de ces composants, principalement le gypse, conduirait inévitablement à des gonflements du mélange durant sa prise en raison de la formation d'ettringite (sel résultant de la combinaison de CaO, de SO₄Ca et de Al₂O₃ en présence d'eau).

- * P98-124 précise en la matière : Le dosage en chaux vive doit être inférieur à 5%, celui en chaux éteinte à 6%. Le dosage en gypse doit être inférieur à 7%.
- * La chaux utilisée devra par ailleurs satisfaire aux spécifications proposées par la norme NF P98-101 Juillet 1991 « Assises de chaussées - Chaux aérienne calciques pour sols et routes - Spécifications »

NOTA :

Les documents officiels de portée nationale :

« Conception et dimensionnement des structures de chaussée » de 1994

« Catalogue des structures de type de chaussées neuves » de 1998

s'ils ne mentionnent plus d'une manière explicite l'utilisation des cendres volantes traitées chaux et gypse (CVCG) en tant que matériau de chaussée, laissent entendre que des produits spécifiquement régionaux peuvent cependant être utilisés.

Les CVCG entrent dans ce champ. Elles ont été abondamment utilisées dans les années 70 et 80 dans le Nord-Pas de Calais, dans le cadre de la mise à niveau du réseau routier. Elles ont donné toute satisfaction en terme de pérennité des ouvrages construits.

L'utilisation moins soutenue actuelle est liée essentiellement :

- * A l'intérêt technique présenté par les structures mixtes GTLH-GTLHc
- * A la diminution (conjoncturelle) du coût du bitume
- * Au mode de mise en œuvre de la CVCG qui implique une organisation de chantier parfois difficile à maintenir durant la totalité de son déroulement. La CVCG, après mise en place, doit obligatoirement être recouverte, à l'avancement, dans un délai maximum de 4 heures par la couche d'assise supérieure, en raison, si cette règle n'était pas observée, de phénomènes de feuilletage qui s'installeraient inmanquablement dans l'horizon supérieur de la couche de fondation (défaut de collage, multicouches)

A noter cependant que dans le cadre de grands chantiers, il est tout à fait possible, après l'avoir étanchée au moyen d'une couche de cure gravillonnée, de neutraliser, durant son temps de début de prise (au minimum 7 jours), la couche de CVCG. Ce délai passé, la couche de base, quelle qu'en soit la nature, peut être mise en œuvre dans de très bonnes conditions en raison d'une raideur importante de son support.

5.2 LA GRAVE CENDRES VOLANTES (GCV)

Ce matériau fait l'objet de la norme NF P98-116 Février 2000 :
 "Assises de chaussées, Graves traitées aux liants hydrauliques.
 Définition - composition - Classification".

5.2.1 COMPOSITION



Dans la région, pour la majorité des cas, la fraction granulat est représentée par une grave 0/20 mm de calcaire dur. Il est toutefois possible, dans le bassin minier, de rencontrer une proposition de granulats fabriqués à partir de schistes houillers rouges. Le liant hydraulique est constitué par la présence simultanée des cendres volantes silico-alumineuses et de la chaux.

La composition du mélange le plus souvent proposé dans la région s'établit de la sorte :

- Ø Grave 0/20 mm : 85%,
- Ø Cendres volantes : Ø13%,
- Ø Chaux vive : 2%

5.3 LA GRAVE LAITIER-CENDRES VOLANTES (GLCV)

Dans la Région, elle est souvent désignée « Grave mixte »

Ce matériau fait l'objet de la norme NF P98-116 Février 2000 :
 "Assises de chaussées, Graves traitées aux liants hydrauliques.
 Définition - composition - Classification".

5.3.1 COMPOSITION

le principe de composition est identique à celui de la GCV. La part liant est assurée ici par une combinaison de cendres volantes silico-alumineuse et de laitier granulé de haut fourneau de fonte hématite.

Les mélanges les plus souvent proposés dans la région s'organisent autour des compositions suivantes :

Grave 0/20 mm	Cendres volantes	Laitier granulé	Chaux vive
83,5 à 84%	7,5%	7,5%	1 à 1,5%
83,5 à 84%	9%	6%	1 à 1,5%

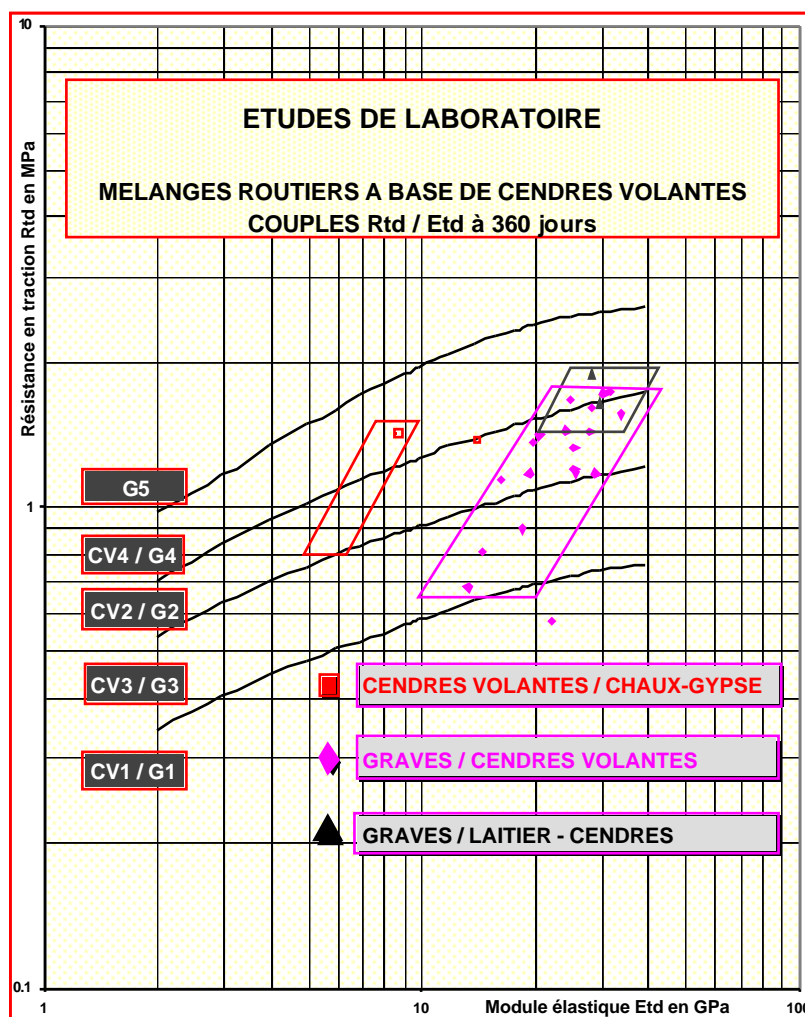
5.4 PERFORMANCES MECANIQUES

Les normes relatives à ces mélanges proposent leur classement en quatre catégories en fonction du couple

« Résistance à la traction directe - Module d'élasticité en traction directe ».

Ces paramètres sont mesurés après un délai de prises de 360 jours des éprouvettes, selon des conditions normalisées de conservation..

Les diverses formulations réalisées en laboratoire ont abouti aux résultats ci-après, sur matériau 0/20 mm.



On peut observer une dispersion certaine, encore accentuée au moment de la fabrication en grand dans des centrales spécialisées et lors de la mise en œuvre.

Cette difficulté est prise en considération par le guide technique SETRA/LCPC de décembre 1994

« Conception et dimensionnement des structures de chaussée » .

Pour le calcul de la structure, il spécifie, pour approcher, les valeurs qui seront effectivement installées à terme dans la chaussée, de minorer les résultats de laboratoire⁽¹⁾ de :

Û 30% pour la résistance en traction directe à 360 jours (Rtd_{360 j})

Û 10% pour le module en traction directe à 360 jours (Etd_{360 j})

(1) Résultats portés dans les FTP - Fiche technique Produit.

5.5 FABRICATION / MISES EN OEUVRE SUR CHANTIER



Ces trois produits sont fabriqués dans des centrales spécialisées dans lesquelles est assuré, dans les proportions requises, le mélange des divers granulats entrant dans leur composition.

Régulées, ces unités de production peuvent être considérées fiables et produire un mélange relativement peu dispersé,... à la condition cependant de s'assurer en amont, en terme de qualité, de la régularité des divers matériaux (sables, gravillons, cen-

dres, laitier, gypse, chaux, eau d'apport).

La mise en œuvre sur site est probablement la source la plus importante de dispersion. L'organisation du chantier, la technicité de l'entreprise et les conditions météorologiques auront une incidence directe sur la qualité finale,et les résistances au terme des 360 jours.

6. UTILISATION DES CENDRES DANS LES LIANTS HYDRAULIQUES ROUTIERS

Considérées comme un des constituants principaux entrants dans la fabrication de ces produits, elles doivent répondre aux spécifications définies dans le projet de norme NF P15108

« Liants hydrauliques routiers - Composition - Spécifications - critères de conformité »

7. UTILISATION DES CENDRES DANS LA FABRICATION DES CEMENTS

Les cendres sont utilisées selon plusieurs modes :

- Epaisseur de « résidus huileux », permettant de la sorte d'utiliser les combustibles pétroliers les plus divers.
- Matière première venant en substitution d'une partie de l'argile nécessaire à la fabrication du clinker.
- Ajout en tant que constituant actif du ciment et participant à sa prise

Selon les ciments, elles prennent le statut de :

- Constituant si le taux d'introduction dans le ciment se situe entre 6 et 55%.
- Constituant secondaire s'il se situe entre 0 et 5% dans tous les ciments.

E En fonction de leur composition, la norme NF P15-301 Juin 1994 « Liants hydrauliques - Ciments courants - Composition , spécifications et critères de conformité », désigne les ciments de la sorte (extrait) :

Catégories	Notation	Clinker - K -	Cendres	
			Siliceuses - V -	Calciques - W -
Ciment Portland composé	CPJ-CEM II/A	80 - 94	6 - 20	6 - 20
	CPJ-CEM II/B	65 - 79	21 - 35	21 - 35
Ciment au laitier et aux cendres	CLC - CEM V/A	40 - 64	18 - 30	----
	CLC - CEM V/B	20 - 39	31 - 50	----
Ciment pouzzolanique	CPZ -CEM IV/A	65 - 90	10 - 35	----
	CPZ -CEM IV/B	45 - 64	36 - 55	----

(Valeurs en % en masse)

Des laitiers de HF, des fumées de silice, des pouzzolanes naturelles, des cendres volantes siliceuses ou calciques, en tant que constituants, peuvent se trouver seuls ou associés dans la composition du ciment (La proportion de fumée de silice ne doit pas dépasser 10% dans tous les ciments)..

8. UTILISATION DES CENDRES DANS LA FABRICATION DES BETONS

Les cendres volantes peuvent être également intégrées en tant que granulats dans les bétons et mortiers et venir en substitution du ciment

Dans le cadre de cet usage, elles doivent répondre aux exigences de qualité proposées par la norme :

NF EN 450 Octobre 1995 - (Classement P18-050) et son annexe nationale NF EN 450 Octobre 1995.

« Cendres volantes pour béton - Définition, exigences et contrôle de qualité »

Elles peuvent entrer :

- * sous un taux de l'ordre de 80 à 100 Kg/m³ de béton, dans la composition des :
 - * Bétons fabriqués sur chantier,
 - * BPE (Béton Prêt à l'Emploi)
 - * Bétons pour préfabrication
 - * Bétons de chaussée
 - * Bétons autoplaçants

.../...

Les cendres volantes contribueront :

○ Sur le béton frais à :

- * améliorer l'ouvrabilité,
- * augmenter la compacité,
- * améliorer l'aspect de surface après décoffrage,
- * alléger les produits préfabriqués pour un taux de cendres supérieur à 7%,
- *



○ Sur le béton durci à :

- * augmenter la résistance mécanique finale, en raison de leur pouvoir pouzzolanique,
- * diminuer la fissurabilité, en relation avec la diminution de la chaleur d'hydratation,
- * accroître la résistance aux eaux pures et aux eaux sulfatées,
- * assurer une meilleure résistance au feu et aux chocs thermiques,
- * minorer la réaction alcali-silice, réaction qui se concrétise par la formation d'un gel expansif qui concourt, à terme, à la ruine de la structure,
- *

· Vis-à-vis de l'alcali-réaction

L'alcali-réaction est une réaction de dégradation interne du béton survenant par formation d'un gel expansif à partir de silice amorphe et d'alcalins (sodium et potassium), en présence d'eau.

Parmi les solutions proposées pour limiter cette réaction dans le cadre de l'emploi de granulats potentiellement réactifs (PR)¹, l'incorporation de fines inhibitrices de la réaction est retenue. Les cendres volantes silico-alumineuses sont au nombre de ces dernières.

Des essais doivent cependant être effectués au cas par cas pour vérifier l'efficacité des cendres selon la nature du granulat.

(1) Selon P18-542, P18-585, P18-587, P18-588, P18-589 et P18-590

9. AUTRES EMPLOIS DES CENDRES VOLANTES

Les coulis représentent les autres emplois significatifs des cendres volantes dans la région Nord Pas de Calais. Mélangées avec du ciment et quasi saturées en eau pour atteindre une viscosité permettant leur mise en place sans autre moyen que la gravité, elles sont essentiellement utilisées pour :

- Le remblayage des galeries, ou plus largement de toutes cavités souterraines résultant de l'activité humaine. Dans la région Lilloise, citons les « Catiches » issues de l'exploitation de la craie.

Le dosage en ciment de tels produits est généralement très faible : 50 kg de ciment et 400 litres d'eau approximativement par tonne de cendres

- Le remblayage des tranchées, plus particulièrement celles liées aux travaux d'assainissement qui, bien souvent dans la région, compte tenu de son peu de relief, s'avèrent relativement profondes. Cette caractéristique oblige à soutenir les parois (blindage) rendant ensuite difficile le comblement par couches successives, ... compactées en principe dans les règles de l'art.

Les matériaux autocompactants, c'est leur désignation, se justifient pleinement ici.

Leur dosage en ciment est faible, sensiblement du même ordre que celui des coulis évoqués précédemment. Ils doivent en effet présenter à terme des niveaux de prise modestes pour être réexcavables sans nécessiter des moyens lourds qui pourraient blesser la canalisation.

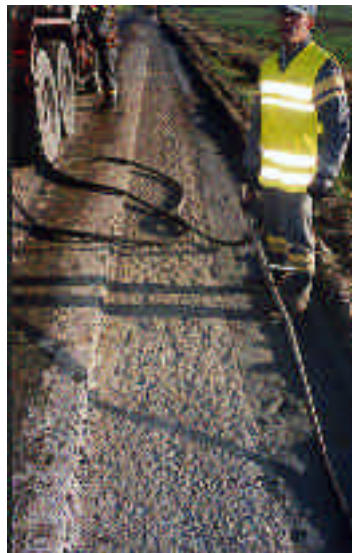


Comme par ailleurs il est recherché une prise relativement rapide pour des raisons de remise en circulation de la voirie, le dosage en eau est obligatoirement réduit, conduisant, pour maintenir une ouvrabilité satisfaisante lors du remplissage, à l'ajout d'un entraîneur d'air et/ou d'un plastifiant. Ce matériau, maintenant proposé par plusieurs entreprises de TP, se traite sur le même mode de filière que le BPE ou le MPE (Bétons et Mortiers prêts à l'emploi). Il conduit par ailleurs à une réorganisation des travaux sur site.

- A noter que ces produits autocompactants servent de plus en plus au remplissage de canalisations hors services, rendant ainsi inutile leur démontage imposé par la législation. Le matériau est ici mis en place au moyen de pompes (type béton).

Pour plus de détails, on se reportera à la brochure éditée par le CERTU en avril 1998 « REMBLAYAGE DES TRANCHEES - Utilisation des matériaux autocompactants - Etat des connaissances au 31 décembre 1997 ».

- A signaler également un début d'utilisation dans le cadre de l'élargissement de voies étroites, très peu fréquentées. Le revêtement bitumineux venant s'appuyer directement sur le massif ainsi constitué.



10. DEMARCHE QUALITE

L'objectif n'est pas ici de redéfinir toutes les démarches liées à la qualité et notamment de s'appesantir sur la définition des différentes étapes permettant d'y aboutir.

Il est plutôt proposé, en fonction de la spécificité du matériau « Cendres », de mettre l'accent sur les points jugés les plus importants et ayant, a priori, une incidence directe sur la qualité des ouvrages dans lesquels il participe en totalité ou en partie.

10.1 FICHES TECHNIQUES PRODUITS - FTP -

Indispensables, elles doivent être récentes pour permettre une relation directe entre les éléments portés sur ces dernières et la fourniture proposée. Leur actualisation régulière est donc indispensable.

Les FTP devront reprendre les spécifications, normalisées, liées aux qualités intrinsèques des cendres volantes. Elles figurent dans les normes :

10.1.1 ASSISES DE CHAUSSEES

ρ NF P98-110 NOVEMBRE 1991 : ASSISES DE CHAUSSEES CENDRES VOLANTES SILICO-ALUMINEUSES

- Propriétés physiques :

© Granularité

« La granularité (P18-560 et X 11-640) des cendres est effectuée sur des matériaux secs ou séchés.

Les valeurs des passants en pourcentage doivent être :

- * au tamis de 0.040 mm, supérieures à 40%,
- * au tamis de 0.080 mm, supérieures à 70%. ».

© Teneur en eau (Cf P18-555)

Classement des cendres selon les teneurs en eau (P18-555)

Catégorie	Teneur en eau W%
1	< 1
2	1 < W ≤ 20
3	> 20

- Composition chimique (exprimée en pourcentage pondéral du poids sec)

© Teneur en carbone

« La teneur en carbone est acceptable si la perte au feu à 1000°C est inférieure ou égale à 8%. Pour le cas où la perte au feu dépasse cette limite, la teneur en carbone de la cendre (NF EN 10036) ne doit pas dépasser 8 %. ».

© Teneur en sulfates (exprimée en SO₃)

« Les cendres volantes peuvent contenir de faibles quantités de sulfates, sous réserve que leur teneur en soufre total, exprimée en anhydride sulfurique SO₃ (norme NF EN 196, partie 2), ne dépasse pas 2.5 %. ».

© Pouvoir pouzzolanique

« Le pouvoir pouzzolanique des cendres est déterminé par l'essai de réactivité des cendres volantes silico-alumineuses à la chaux ((NF P 98-111).

Les résistances à 360 jours (R_{C360}) doivent être supérieures à 10 Mpa.

Les résistances à 360 jours peuvent être estimées à partir des résistances à 60 jours (R_{C60}) par la relation R_{C360} = 3R_{C60}».

10.1.2 CENDRES VOLANTES POUR LES BETONS

ρ NF EN 450 OCTOBRE 1995 : CENDRES VOLANTES POUR BETON DEFINITIONS, EXIGENCES ET CONTROLE DE QUALITE

- Exigences chimiques :

© Perte au feu

« La perte au feu, déterminée selon les principes de la méthode décrite dans l'EN 196-2 mais pour un temps de combustion d'une heure, ne doit pas dépasser 5,0 % en masse.

Note 1 : Les cendres volantes ayant une perte au feu allant jusqu'à 7,0 % en masse peuvent aussi être acceptées à l'échelon national.

Note 2 : le but de la présente exigence est de limiter la quantité de carbone imbrûlé dans les cendres volantes. Il suffit de démontrer par mesure directe que la quantité de résidus de carbone imbrûlés est inférieure à la valeur indiquée ci-dessus».

© Chlorures

« La teneur en chlorures exprimée en ions Cl^- et déterminée selon les principes de la méthode décrite dans l'EN 196-21, ne doit pas excéder 0,10 % en masse».

© Anhydride sulfurique

« La teneur en anhydride sulfurique SO_3 , déterminée par la méthode décrite dans la norme européenne EN 196-2, ne doit pas excéder 3,0 % en masse».

© Oxyde de calcium libre. »

« La teneur en oxyde de calcium libre, déterminée par la méthode décrite dans l'EN 451-1, ne doit pas excéder 1,0 % en masse. Les cendres volantes ayant une teneur en oxyde de calcium libre supérieure à 1,0 % mais inférieure à 2,5 % en masse sont également acceptable si elles sont conformes aux exigences de stabilité».

• Exigences physiques :

© Finesse

« La finesse des cendres volantes doit être exprimée en pourcentage massique des cendres retenues sur un tamis à mailles de 0,045 mm et doit être déterminée par la méthode décrite dans l'EN 451-2.

La valeur maximale de la finesse ne doit pas dépasser 40 %. La finesse ne doit pas varier de ± 10 % par rapport à la valeur moyenne. (On se reportera au § 6.2 de l'EN 450, pour le calcul de cette moyenne, en fonction de la période de référence et de l'échantillonnage)».

© Indice d'activité

La préparation des éprouvettes de mortier de référence et la détermination de leur résistance à la compression doivent se faire selon la méthode décrite dans l'EN 196-1.

L'indice d'activité à 28 jours et 90 jours doit être supérieur à 75 % et 85 % respectivement.

NOTE : Le résultat des essais d'indice d'activité ne donne pas d'indication directe sur la contribution des cendres volantes à la résistance du béton ; l'utilisation des cendres volantes n'est donc plus limitée par le taux de mélange utilisé dans ces essais.

© Stabilité

« L'expansion, déterminée sur un ciment préparé avec 50 % en masse de cendres volantes et 50 % en masse de ciment de référence par la méthode Le Chatelier décrite dans l'EN 196-3, ne doit pas excéder 10 mm.

NOTE : Cet essai n'est exigé que si la teneur en oxyde de calcium libre des cendres volantes dépasse 1,0 % en masse».

© Masse volumique

« La masse volumique, déterminée selon la méthode décrite dans l'EN 196-6, ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 150 \text{ kg/m}^3$ de la valeur moyenne déclarée par le producteur ou son représentant».

NOTA : La norme NF EN 450 définit, en son § 6.2.3, la fréquence de réalisation des essais mentionnés ci-dessus (voir § 10.5 du présent guide), qui permettent de renseigner la FTP.

10.2 PLAN D'ASSURANCE DE LA QUALITE

Pour assurer une bonne utilisation des cendres volantes, il devra comporter les informations minimales suivantes, dans l'hypothèse d'une FTP récente :

	OUVRAGES EN TERRE REMBLAI	COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEES		
		COUCHES DE FORME		
		CV + Liant	G-CV	G-L.CV
Plage des teneurs en eau au stock ou à la livraison sur chantier	X	X	X	X
Courbe Proctor (normal et/ou modifié) en 5 points minimum	X (En début de chantier)	X (En début de chantier)	X (En début de chantier)	X (En début de chantier)
Courbe de portance immédiate, en 5 points	X (En début de chantier)			
Rc à 28 jours (si risque de gel peu après la mise en œuvre de la CdF)		X En tant que de besoin (Résistance vis-à-vis du gel pour un usage en CdF)		
Rtb / Etd à 360 jours		X	X	X

Au minimum une fois par an

10.3 LES CENDRES VOLANTES EN TERRASSEMENT

o Principe p Les cendres sont :

- sensibles à l'imbibition au point de perdre toute portance et, aux limites, de se liquéfier.
- facilement érodables.

Ü Toute disposition constructive devra être donc prise pour soustraire les cendres à de telles situations.

10.4 LES CENDRES EN STRUCTURES DE CHAUSSEES

Comme pour tout mélange routier, il est nécessaire de s'assurer de la régularité dans le temps de la qualité des différents produits de base, de vérifier les dosages et de veiller au maintien des qualités initiales des mélanges durant tout le processus de leur mise en œuvre.

Le pouvoir pouzzolanique, notamment, devra être vérifié à fréquence régulière avec une mesure au moins une fois l'an.

L'accent devra être mis plus précisément sur le maintien de l'état hydrique du matériau, pendant et après sa mise en place, afin d'assurer de la sorte respectivement l'obtention de la densification et les caractéristiques mécaniques requises.

Ü Toute disposition devra donc être prise pour soustraire la couche de chaussée à l'imbibition et surtout à la dessiccation de surface par évapotranspiration.

Ce dernier aspect est bien souvent réglé par la mise en place d'une couche de cure imperméable, gravillonnée.

10.5 LES CENDRES DANS LA FABRICATION DES BETONS

Les cendres volantes incorporées dans les bétons demandent un suivi qualitatif régulier. Le tableau ci-après reprend les divers critères qu'il y a lieu de prendre en compte dans le cadre d'un plan d'assurance de la qualité du béton fabriqué. Sont indiquées pour repère les fréquences de vérification souhaitables

QUALITES REQUISES POUR L'UTILISATION DES CENDRES VOLANTES EN SUBSTITUTION DU CIMENT DANS LE BETON			
PROPRIETE	NORME D'ESSAI	PRESCRIPTION	FREQUENCE DES ESSAIS
Perte au feu	EN 196-2	Classe A $\leq 5,0$ % Classe B $\leq 7,0 \pm 2,0$ % Classe C $\leq 7,0 \pm 1,0$ %	Quotidienne Quotidienne Quotidienne
Finesse	EN 451-2	refus à $0,045 \mu\text{m} \leq 40$ %	Quotidienne
Oxyde de calcium libre	EN 451-1	$\text{CaO} \leq 1,0$ % [x]	1 fois par semaine
Chlorures	EN 196-21	$\text{Cl}^- \leq 0,10$ %	1 fois par mois
Anhydride sulfurique	EN 196-2	$\text{SO}_3 \leq 3,0$ %	1 fois par mois
Masse volumique	EN 196-6	valeur moyenne déclarée constante à $\pm 150 \text{ kg/m}^3$	1 fois par mois
Indice d'activité	EN 196-1	Indice d'activité à 28 jours > 75 % 90 jours > 85 %	2 fois par mois 2 fois par mois
Stabilité [x]	EN 196-3	Expansion mélange 50 % CV + 50 % CEM I < 10 mm	1 fois par mois [x]

[x] si $\text{CaO} > 1,0$ % mais $< 2,5$ %, il faut procéder à la détermination de la stabilité

Guide technique régional relatif à la valorisation des

LAITIERS DE HAUTS FOURNEAUX



Guide technique régional relatif à la valorisation des

LAI TIERS DE HAUT-FOURNEAU

PREAMBULE

Bien que le présent Guide Technique sorte du strict domaine de compétence du PREDIS Nord Pas de Calais, celui-ci a souhaité qu'il soit rédigé dans le cadre de ses travaux.

Il est important de signaler que les "Laitiers de Haut-Fourneau" ne sont pas classés en D.I.S - Déchets Industriels Spéciaux.

Utilisés depuis plusieurs décennies dans le cadre du Génie civil, des Techniques routières et de l'Industrie cimentière, les "Laitiers de Haut-Fourneau" font l'objet d'un certain nombre de normes de spécifications et d'usages, tant françaises qu'européennes. Ces normes sont rappelées en tant que de besoin dans le présent document et sont mentionnées, ainsi qu'un certain nombre de textes réglementaires, dans la partie "Bibliographie".

Le présent Guide Technique a donc pour objet, dans le cadre strict des normes actuellement en vigueur, de faciliter l'emploi régional des "Laitiers de Haut-Fourneau".

SOMMAIRE

1. DESCRIPTION DU MATERIAU.....	4
1.1 OBTENTION	4
1.1.1 Fonctionnement du haut fourneau :	4
1.2 TRAITEMENTS	5
1.2.1 Le refroidissement lent	5
1.2.2 Le refroidissement rapide	6
1.3 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES	7
1.3.1 Le laitier cristallisé	7
1.3.2 le laitier vitrifié	8
1.3.3 Classification	8
1.4 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES	9
1.4.1 Le laitier cristallisé	9
1.4.2 Le laitier vitrifié (granulé)	9
2. ENVIRONNEMENT - STATUT REGLEMENTAIRE.....	10
3. LOCALISATION ET QUANTITES	11
1.....DESCRIPTION DU MATERIAU	4
1.1 OBTENTION	4
1.1.1 Fonctionnement du haut fourneau	4
1.2 traitements	5
1.2.1 Le refroidissement lent	5
1.2.2 Le refroidissement rapide	6
1.3 Caracteristiques chimiques	7
1.3.1 Le laitier cristallisé	7
1.3.2 le laitier vitrifié	8
1.3.3 Classification	8
1.4 Caractéristiques physiques	9
1.4.1 Le laitier cristallisé	9
1.4.2 Le laitier vitrifié (granulé)	9
2..... ENVIRONNEMENT - STATUT REGLEMENTAIRE	10
3..... LOCALISATION ET QUANTITES	11

LES LAITIERS DE HAUT-FOURNEAU

Le présent guide se rapporte à deux types de laitier de Haut-fourneau, proches pour ce qui concerne leur mode d'obtention et leurs filières de valorisation :

Les laitiers provenant de la fabrication :

- ◇ de la fonte à partir du minerai de fer *.
- ◇ d'un alliage Ferromanganèse à partir d'oxydes de manganèse **.

* Laitier filière "FER" dans la suite du document.

** Laitier filière "FERRO-MANGANESE" dans la suite du document.

Le laitier "FERRO-MANGANESE" de la société COMILOG France a fait l'objet d'une étude spécifique à travers des essais de laboratoire. Les résultats sont portés dans un dossier particulier dans la dernière partie du document consacrée aux produits spécifiques.

1. DESCRIPTION DU MATERIAU

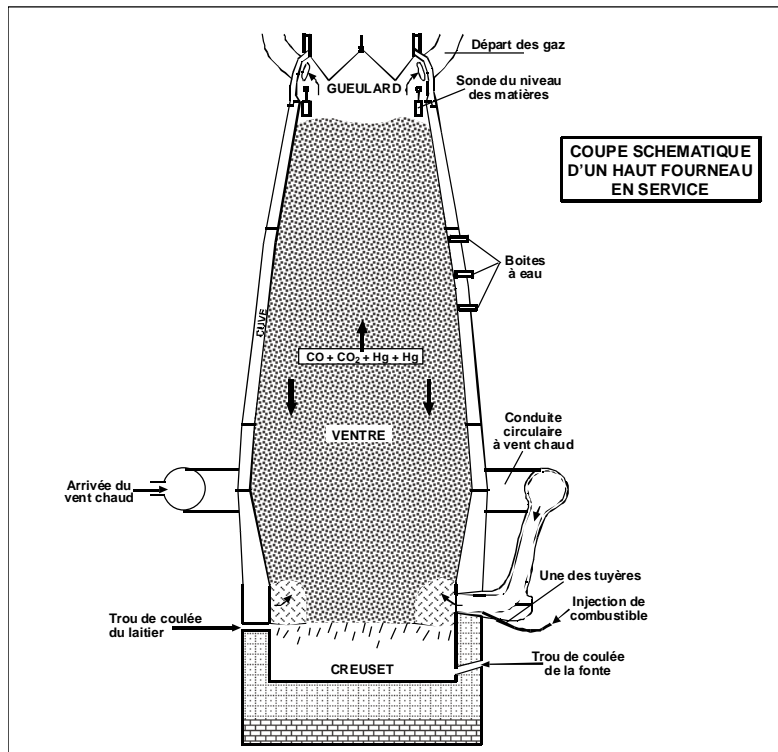
1.1 OBTENTION

Selon la filière considérée, le laitier de HF est un co-produit découlant de la transformation, dans le Haut-Fourneau, soit des oxydes de fer en "Fonte", soit des oxydes de manganèse en alliage "Ferro-manganèse".

1.1.1 FONCTIONNEMENT DU HAUT FOURNEAU

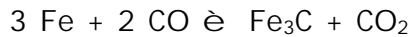
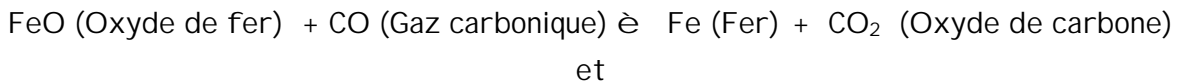
Du coke et du minerai (sous forme d'aggloméré) sont chargés en couches alternées dans le haut fourneau où règne une température pouvant atteindre 2000°C.

Le coke, en brûlant sous l'effet de l'air chauffé introduit par les tuyères, entraîne la fusion et la réduction du minerai.



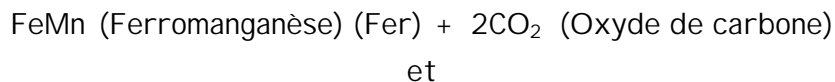
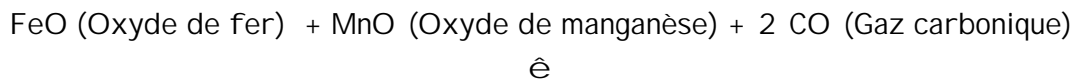
Les réactions sont :

Ü Pour le laitier filière "FER"

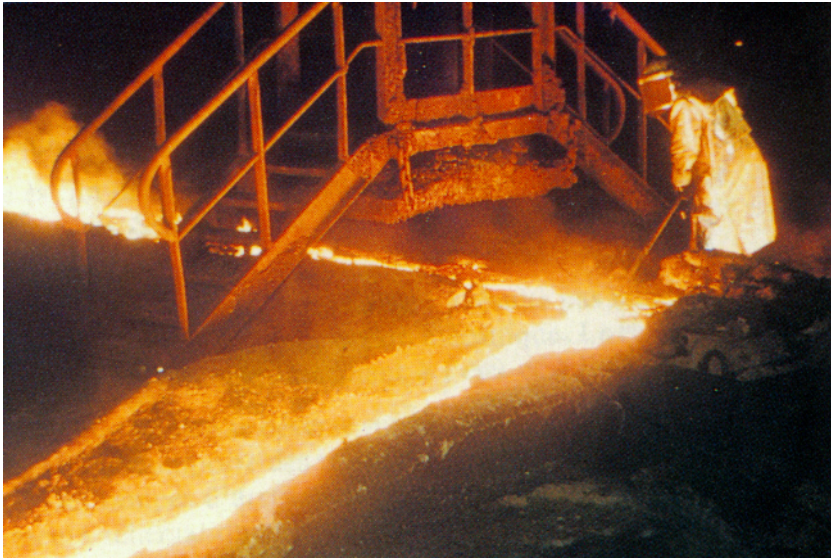


◆ C'est la solution de cémentite Fe_3C dans le fer qui donne la fonte.

Ü Pour le laitier filière "FERRO-MANGANESE"



C'est la solution de carbure de manganèse dans le ferromanganèse qui donne le ferromanganèse carburé (HCFeMn).



Tous les constituants non métalliques et non gazeux se liquéfient aux températures atteintes.

La densité de ce liquide étant d'environ 3, celle de la fonte aux alentours de 7 et celle du Ferromanganèse de l'ordre de 6,3, il y a séparation par gravité. Le laitier qui vient de prendre naissance surnage à la surface du bain de fonte.

Il est constitué des cendres du coke, de la gangue

des minerais et des fondants le cas échéant.

* Laitier filière "Fer" :

Le laitier et la fonte sont coulés par le même orifice et sont séparés par siphonnage.

* Laitier filière "Ferro-manganèse" :

Le laitier et le ferromanganèse sont coulés par deux orifices séparés : le trou à laitier et le trou à métal. Toutefois, une partie du laitier coulé avec l'alliage est séparée par siphon à la sortie du haut-fourneau.

La température des laitiers, de l'ordre de 1450 °C, est supérieure à celle de la fonte ou du ferromanganèse de quelques dizaines de degrés.

1.2 TRAITEMENTS

Les deux modes de traitement employés dans la région Nord-Pas-de-Calais sont :

- le refroidissement lent,
- le refroidissement rapide.

1.2.1 LE REFROIDISSEMENT LENT

Le laitier est épandu en couches d'épaisseurs relativement faibles afin d'augmenter sa surface d'échange avec l'air et qu'il puisse ainsi se refroidir dans les meilleurs délais (si besoin est, il est procédé à un arrosage à l'eau de mer). En se solidifiant naturellement, le laitier cristallise, d'où son nom générique de laitier cristallisé.

E A ce niveau, on rencontre deux modes d'évacuation du laitier

1.2.1.1 LE LAITIER DE FOSSE



Le laitier est versé dans des poches sur rails, transporté et déversé dans des fosses à laitier. Celles-ci font de 20 à 40 m de large, 80 à 200 m de long et 5m de profondeur. Chaque poche est basculée en un point différent. Le laitier s'étale en couche mince au fond de la fosse sur le laitier déjà refroidi.

Le laitier obtenu est compact, donc de densité et de caractéristiques mécaniques élevées.

1.2.1.2 LE LAITIER DE « SLAG-PIT »

Si les fosses sont situées près du haut fourneau, elles sont appelées « slag-pit ». Le laitier est déversé directement par des rigoles dans la fosse. Il constitue une couche épaisse recouverte par du laitier craquelé et solidifié. Chaque coulée pousse en avant la précédente. Le front de solidification ne progresse que lentement en piégeant à l'interface liquide-solide le gaz SO_2 né de l'oxydation à l'air du soufre du laitier.

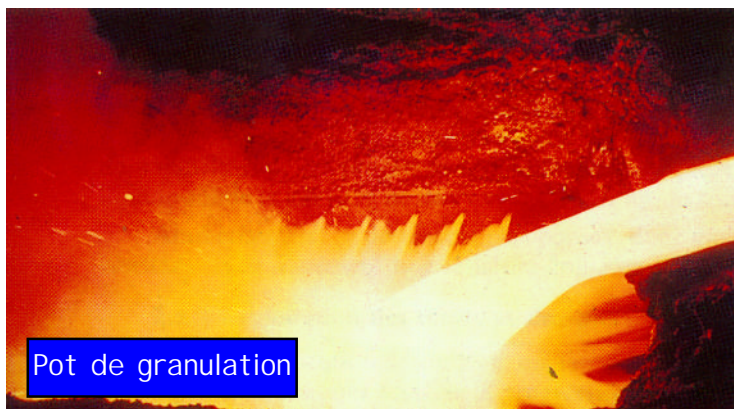
Ainsi cristallisé, ce dernier est plus poreux, donc moins dense et moins résistant mécaniquement que le laitier coulé en fosse.

1.2.2 LE REFROIDISSEMENT RAPIDE

Le procédé consiste à refroidir brutalement le laitier en fusion. Le produit obtenu se présente sous la forme d'un sable. Lors de cette trempe, le laitier acquiert une structure vitrifiée qui correspond à celle qu'il présentait à haute température, à l'état liquide. L'évolution normale du refroidissement ayant été stoppée, le laitier conserve une énergie latente qui constitue son potentiel de prise hydraulique.

Le refroidissement peut s'effectuer selon deux méthodes distinctes. Le laitier obtenu par cette technique est appelé laitier vitrifié.

1.2.2.1 LA GRANULATION



Elle consiste à refroidir brutalement le laitier en fusion avec de l'eau. Le produit obtenu se présente sous la forme d'un sable 0/4 mm.

Il est dénommé laitier granulé.

Il existe deux types de granulation, en rigole et en pot.

1.2.2.2 LE BOULETAGE

Cette technique, non employée dans la région Nord-Pas-de-Calais, consiste à refroidir le laitier simultanément à l'eau et à l'air.

1.3 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

1.3.1 LE LAITIER CRISTALLISE

1.3.1.1 LE LAITIER FILIERE "FER"

Il correspond à une forme minéralogique stable. Il est chimiquement stable et son pouvoir hydraulique, lorsqu'il existe, ne peut être que modeste.

Il est constitué pour 95 à 98 % de sa composition d'un mélange de quatre oxydes :

<u>Constituants</u>	<u>Laitier</u>
CaO	38 à 50*
SiO ₂	27 à 39
Al ₂ O ₃	8 à 20
MgO	<=10
Na ₂ O + K ₂ O	0.5 à 2

* %, Analyse sur sec

silice SiO₂, chaux CaO, alumine Al₂O₃ et magnésie MgO ; le complément est constitué par des oxydes secondaires (FeO, MnO) et des composés sulfurés.

D'un point de vue minéralogique, ses constituants cristallisés sont essentiellement des silicates ou des silico-aluminates de chaux, mais on rencontre aussi des oxydes, des sulfures et, exceptionnellement, des nitrures.

1.3.1.2 LE LAITIER FILIERE "FERRO-MANGANESE"

Le laitier de Ferromanganèse peut se présenter sous deux qualités chimiques différentes :

◆ Teneur élevée en manganèse, entre 25 et 35%

Cette qualité dite "Laitier riche" est obtenue par un réglage spécifique de la basicité du laitier (action du fondant). Le laitier relevant de cette qualité n'est pas pris en compte au titre du présent guide dans la mesure où il est commercialisé en tant que matière première dans le cadre de la fabrication, dans des fours électriques, d'alliages de silicium et de manganèse (dits silicomanganèse).

◆ Teneur faible en manganèse, entre 5 et 15%

Cette qualité, dite "Laitier épuisé" est obtenue en maintenant une basicité de laitier très élevée, en raison de la qualité de certains minerais ou de contraintes liées à la marche du Haut-fourneau.

Il est constitué pour 95 à 98% de sa composition d'un mélange de cinq oxydes :

Silice (SiO₂), Chaux (CaO), Alumine (Al₂O₃), Magnésie (MgO), Oxyde de manganèse (MnO), le complément est constitué par des oxydes secondaires (TiO₂, Na₂O, K₂O) et des composés sulfurés.

D'un point de vue minéralogique, ces constituants sont essentiellement des silicates ou des silico-aluminates de chaux, mais aussi des oxydes et des sulfures.

Constituants	Laitier
CaO	29 à 35*
SiO ₂	18 à 22
Al ₂ O ₃	19 à 22
MgO	5 à 7
Na ₂ O + K ₂ O	0.12

* %, Analyse sur sec

1.3.2 LE LAITIER VITRIFIÉ

Le laitier vitrifié, qui a subi une trempe, présente une structure vitreuse et désordonnée. Cette forme vitreuse est instable car le laitier (du fait de la trempe) a gardé une énergie de cristallisation non dissipée qui va lui permettre d'être hydraulique. Sous l'effet d'une activation basique, le laitier vitrifié va donc évoluer vers son plus bas niveau d'énergie en formant des produits d'hydratation solides. C'est la formation de ces hydrates qui constitue la prise et le durcissement du laitier et qui lui confère la caractéristique de liant hydraulique.

1.3.2.1 LE LAITIER FILIERE "FER"

Le laitier granulé est essentiellement composé des quatre oxydes suivants : CaO, MgO, SiO₂ et Al₂O₃ dont les proportions (composition pondérale exprimée en pourcentage sur matériau sec) varient dans les plages indiquées ci-contre

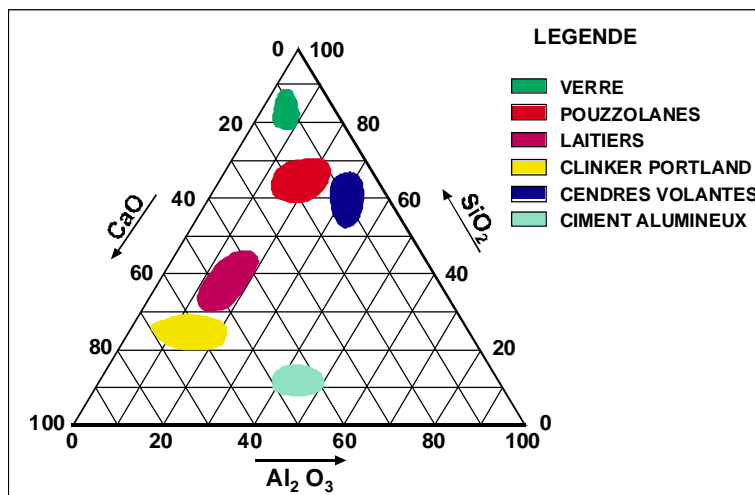
Constituants	Laitier
CaO	38 à 50*
SiO ₂	27 à 39
Al ₂ O ₃	8 à 20
MgO	<=10
Na ₂ O + K ₂ O	0.5 à 2

* %, Analyse sur sec

1.3.2.2 LE LAITIER FILIERE "FERRO-MANGANESE"

Il présente une composition équivalente à celle du laitier cristallisé (Cf § 1.3.1.2).

1.3.3 CLASSIFICATION



Le diagramme de Keil (diagramme triangulaire représentant le système ternaire chaux-silice-alumine) permet de situer le laitier de haut fourneau par rapport à d'autres liants utilisés en technique routière.

Ce diagramme montre que les laitiers ont une composition relativement proche de celle du clinker du ciment Portland,

même si celui-ci ne nécessite qu'un apport d'eau pour déclencher son hydraulité.

Les laitiers sont repérés par le produit C.A (dans lequel C symbolise la teneur en CaO et A la teneur en Al₂O₃).
Trois types de laitier sont ainsi définis (Voir ci-contre):

- * type H : $425 \leq C.A < 550$
- * type T : $C.A > 550$
- * type A : $C.A < 425$

1.4 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

1.4.1 LE LAITIER CRISTALLISE

Il se présente sous deux aspects :



Laitier cristallisé tout venant

* En l'état, après une période de vieillissement de trois mois, c'est un tout venant dont la granulométrie est de l'ordre de 0/300 mm, sans garantie de fuseau.

Après diverses opérations de concassage-criblage il peut, selon la demande, être proposé sous une large gamme de fractions granulométriques 0/D et d/D.

Ses propriétés physiques

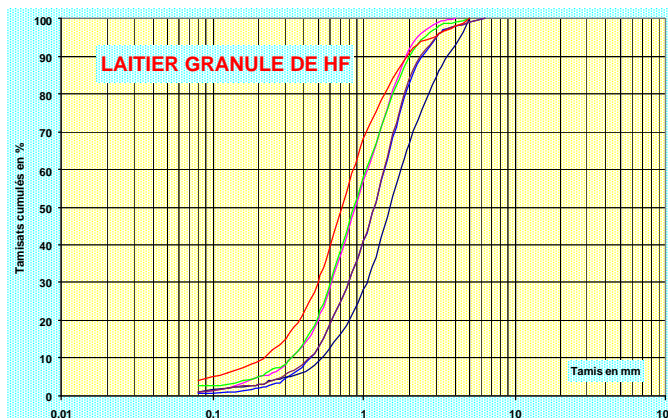
sont les suivantes (sur des fractions 8/20 mm) :

- ◊ Le laitier filière "FER"
 - Micro Deval : 25 à 30
 - Los Angelès : 34 à 44
- ◊ Le laitier filière "FERRO-MANGANESE"
 - Micro Deval : 25 à 30
 - Los Angelès : 25 à 30

1.4.2 LE LAITIER VITRIFIE (GRANULE)

1.4.2.1 GRANULOMETRIE

Le laitier vitrifié correspond à un sable 0/5 à 0/6 mm. Il peut être broyé pour augmenter sa teneur en fines (éléments inférieurs à 0.080 mm) donc sa réactivité. En résulte un sable 0/3 à 0/4 mm, appelé laitier prébroyé. La teneur en fines requise est de 10 à 12 % en moyenne.
(Valeurs enregistrées au Lrpc LILLE)



1.4.2.2 REACTIVITE

Le laitier va être caractérisé différemment, d'un point de vue réactivité, selon son utilisation.

1.4.2.2.1 Utilisation dans le domaine routier

La réactivité caractérise la faculté d'attrition du laitier, c'est à dire son aptitude à produire des fines sous l'effet des différentes manutentions allant du malaxage du matériau en centrale jusqu'au compactage en passant par le transport.

Elle est définie par le coefficient alpha (a) (XP P 98-108 de Septembre 1995).

$$a = (S.F)/1000$$

Il est le produit de la surface spécifique S (cm²/g) des fines (≤ 0,080 mm) naturellement présentes dans le laitier par le pourcentage de fines F produites par un broyage spécifique.

Les laitiers vitrifiés sont répartis en quatre classes d'activité selon leur coefficient d'activité a.
(NF P 98-106 Juillet 1991)

a < 20	Ø	Classe 1
20 ≤ a < 40	Ø	Classe 2
40 ≤ a < 60	Ø	Classe 2
a ≥ 60	Ø	Classe 4

Dans la région Nord-Pas-de-Calais, le laitier produit est couramment de classe 2.

Pour l'utilisation dans les graves hydrauliques, le laitier granulé doit être de classe 2 ou supérieure, pour le laitier prébroyé, les quatre classes peuvent être retenues.

1.4.2.2.2 Utilisation en cimenterie



L'hydraulicité du laitier utilisé après mouture dans la fabrication du ciment est essentiellement appréciée à partir de critères chimiques (indices de basicité), de critères minéralogiques (taux de vitrification) et par des essais de résistances mécaniques.

2. ENVIRONNEMENT - STATUT REGLEMENTAIRE

La valorisation des laitiers de hauts-fourneaux ne fait pas pour l'instant l'objet de réglementation nationale en matière de protection de l'environnement.

Cette situation découle en partie de la longue expérience concernant l'utilisation de ces laitiers en travaux routiers ; utilisation qui n'a pas à ce jour révélé d'impact préjudiciable sur les eaux souterraines.

Les laitiers de hauts-fourneaux peuvent toutefois différer selon leur site sidérurgique d'origine. Des précautions d'emploi, notamment l'interdiction de leur mise en œuvre en

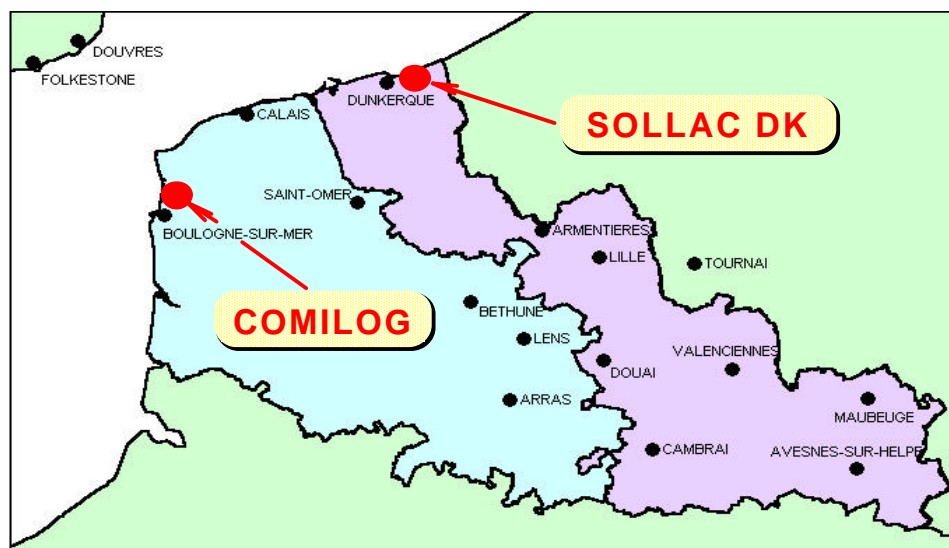
zone inondable, et un suivi dans le temps par la réalisation de tests de lixiviation, peuvent devoir s'imposer.

F La réglementation sur la valorisation des résidus des procédés thermiques, en préparation au ministère de l'environnement, devrait préciser les conditions de valorisation des laitiers de hauts-fourneaux.

3. LOCALISATION ET QUANTITES

Dans la région Nord-Pas-de-Calais, les laitiers de hauts fourneaux sont produits principalement par deux usines :

- n SOLLAC à Dunkerque
- n COMI LOG à Boulogne



Ces laitiers sont de deux types différents.

Pour l'entreprise SOLLAC, ils sont obtenus lors de la transformation du minerai de fer en fonte. Pour la société COMI-LOG, le minerai de fer est remplacé par du minerai de manganèse. Le produit

obtenu est un alliage dit « Ferro-manganèse ».

Pour l'année 2000, les quantités produites ont été de :

SOLLAC Dunkerque
 Laitier granulé : 1 068 000 tonnes
 Laitier cristallisé : 898 000 tonnes

COMI LOG France à Boulogne sur Mer
 Laitier granulé : 5 000 tonnes
 Laitier cristallisé : 35 800 tonnes

4. UTILISATIONS EN TECHNIQUES ROUTIERES

En 1999, sur les 1.972.000 tonnes de laitier (concassé et granulé) obtenus par Sollac Dunkerque, 62% ont été employés en technique routière.

4.1 LE LAITIER CRISTALLISE

4.1.1 UTILISATIONS EN REMBLAI OU EN COUCHE DE FORME

La norme NF P 11300 (Exécution des terrassements) et le guide technique LCPC/SETRA « Réalisation des remblais et des couches de forme » classe les laitiers de hauts fourneaux dans la catégorie des sous produits industriels F avec le symbole F8.

4.1.1.1 UTILISATIONS EN REMBLAI :

Ils peuvent être assimilés à la classe D2 ou D3 selon leur granulométrie.

4.1.1.2 UTILISATIONS EN COUCHE DE FORME :

D'après leurs caractéristiques de L.A. (≤ 45) et de M.D.E. (≤ 45) ; ils peuvent être classés D21 ou D31.

4.1.2 UTILISATIONS COMME GRANULAT

Le laitier cristallisé concassé est employé comme granulats dans les couches de chaussées en association avec des liants hydrauliques. La norme XP P 18-540 permet de déterminer sa catégorie d'appartenance. Du point de vue des caractéristiques intrinsèques, il se situe dans la catégorie E, ce qui permet son emploi :

- * en couche de fondation pour des trafics cumulés \leq TC4*.
- * en couche de base pour des trafics cumulés \leq TC3*.

*Selon " Catalogue des structures types de chaussées neuves - Réseau routier national - Edition 1998"

4.2 LE LAITIER GRANULE

Le laitier granulé, du fait de sa structure vitreuse, est employé comme liant dans les graves traitées aux liants hydrauliques (GTLH).

Il peut être utilisé en l'état ou prébroyé afin d'augmenter sa réactivité.

Les matériaux comprenant des laitiers granulés (ou prébroyés) sont :

- les graves-laitier (GL),
- les graves-laitier-cendres-volantes (GLCV),
- les sables-laitier (SL),
- les sables-laitier-cendres-volantes (SLCV).

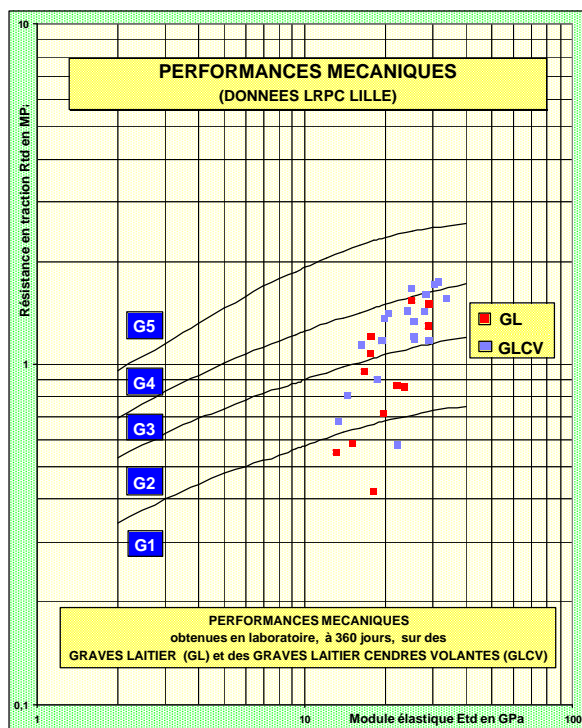
F Leurs définitions et compositions sont définies dans la norme :
NF P 98-116 Février 2000.

4.2.1 ACTIVATION DU LAITIER GRANULE (OU PREBROYE)

Le laitier vitrifié doit être activé pour pouvoir développer son hydraulicité par un agent basique. On peut utiliser une activation de type calcique ou de type sulfato-calcique (Gypsonat). Ces activants doivent respecter la norme NF P 98-107. Les teneurs en chaux sont de l'ordre de 1 à 1.3 % et en gypsonat de 0.5 à 1%.

4.2.2 CARACTERISATIONS DES GTLH ET DES STLH

4.2.2.1 PERFORMANCES MECANIQUES



Les performances mécaniques des matériaux traités aux liants hydrauliques sont déterminées par des essais sur des éprouvettes fabriquées en laboratoire.

Ceux-ci conduisent, après une maturation des éprouvettes de 360 jours, à l'obtention :

- * de la résistance en traction R_t
- * du module élastique E du matériau.

La méthodologie d'étude est décrite dans la norme NF P 98-114-1 pour les GTLH et dans la norme NF P 98-114-2 pour les STLH.

Selon la position du point représentatif sur le graphique (R_t, E) (voir ci-contre), le matériau est classé en :

F G1, G2, G3 ou G4 (NF P 98-116) pour les graves

F S0, S1, S2, S3, S4 ou S5 (NF P 98-113) pour les sables

La Direction des Routes recommande des spécifications concernant les performances mécaniques des matériaux pour leur utilisation sur le réseau national. Ces prescriptions sont reprises dans le tableau suivant :

Matériaux	Classe	Résistance minimale en traction directe en laboratoire à 360 jours : $R_{td_{360}}$ (MPa)	Module d'Young maximum en laboratoire à 360 jours : E_{360} (MPa)
GLCV(*)	G3	1.30	35000
GLp(**)	G2	0.9	25000
GLg ou GLp (***)	G1	0.6 (trafic <T0)	20000
SL, SLCV	S2, S3 (****)	pas de spécification	pas de spécification

(*) Ces valeurs ont été déterminées par le LRPC de Lille et validées par le LCPC

(**) activant sulfatique ou calcique autre que la chaux

(***) activant chaux

(****) selon l'utilisation :

F fondation en SH sous une GH avec le même traitement : S2 ou S3

F SH employé en base et fondation : S3

4.2.3 DIMENSIONNEMENT

Les performances mécaniques décrites ci-dessus sont obtenues sur des mélanges réalisés en laboratoire. Or, il est généralement observé, à âge égal, entre les résultats d'essais sur éprouvettes reconstituées en laboratoire et sur prélèvements dans la chaussée des dispersions dues aux variations inéluctables de compacité, de teneurs en eau et en liant sur chantier et aux conditions de conservation (20°C en laboratoire).

Le dimensionnement (détermination des épaisseurs des couches de chaussées) n'est donc pas réalisé à partir des valeurs obtenues en laboratoire, mais en minorant ceux-ci de :

F 30% pour la résistance à la traction R_{td360}

F 10% pour le module E_{360} .

Le dimensionnement est donc réalisé en tenant compte du trafic, de son taux d'accroissement, de la durée de service, du risque, du coefficient d'agressivité et de paramètres dépendant des matériaux hydrauliques employés. Les paramètres retenus comme référence pour les graves traitées aux liants hydrauliques dont la composition et la réalisation sont conformes aux normes sont :

Matériaux	E (MPa)	s_6 (MPa)	-1/b	SN	Sh (m)	kc	kd
Grave Laitier Cendres Volantes Chaux(*)	22000	0.80	13.3	1	0.03	1.5	1
Grave Laitier prébroyé (activant sulfatique ou calcique autre que la chaux) (classe G2)	20000	0.70	13.7	1	0.03	1.5	1
Grave Laitier granulé ou grave laitier prébroyé (activant chaux) (classe G1)	15000	0.5	12.5	1	0.03	1.5	1
Sable Laitier	Classe S2	8500	10	0.8	0.025	1.5	1
	Classe S3	12500					

(*) Ces valeurs ont été déterminées par le LRPC de Lille et validées par le LCPC

La technique SLCV, considérée comme locale par la Direction des Routes, n'a pas encore fait l'objet d'une étude complète. Elle est dimensionnée en prenant en compte les paramètres des SL.

4.2.4 MISE EN ŒUVRE DES GTLH ET DES STLH

La norme NF P 98-115 précise par le détail les méthodes et moyens à employer pour la fabrication et la mise en œuvre des matériaux d'assises de chaussées.

Une indication sur le choix du liant :

"Laitier" ou " Laitier + Cendres Volantes",

en fonction de la nature du chantier et des conditions climatiques prévisibles durant le déroulement des travaux de chantiers est apportée par le guide d'application des normes pour le réseau national :

Type de liant	Travaux sous circulation	Risques d'excès d'eau (précipitations)	Travaux en arrière saison (1)
Laitier + Activant	●●●	●●●	●
Laitier + Cendres Volantes + chaux	●●●	●●	●

●●● : bien adapté

●● : possible

● : possible avec précautions particulières lors de la réalisation du chantier

(1) : Il est prudent d'éviter les travaux en arrière saison pour les raisons suivantes :

- * le durcissement d'une grave traitée est très faible à basse température (pratiquement inexistant en dessous de 5°C) ;
- * on ne doit effectuer la mise en œuvre que si la grave traitée peut posséder une résistance suffisante avant la première période de gel. Le délai suffisant varie de un à deux mois pour les techniques grave-laitier et grave-laitier-cendres volantes.

4.3 UTILISATION DU LAITIER PREBROYE



Le laitier peut être prébroyé au départ de l'usine sidérurgique, dans des centres de broyage ou sur le site de fabrication de la grave laitier. La durée entre le prébroyage du laitier et son utilisation en centrale doit, dans tous les cas, ne pas excéder trois jours afin d'éviter tout risque de mottage ou de prise en masse. La mise en stock du laitier prébroyé et sa reprise doivent être étudiées pour éviter la ségrégation

et les pertes de fines.

4.3.1 CARACTERISTIQUES DES DIFFERENTS MTLH

4.3.1.1 GRAVE LAITIER (GL)

La GLg et GLp (activant chaux) ne peuvent pas être employées pour des trafics $>T_0$ (TC_6). Cette technique a un délai de compactage large (12 à 72 heures selon les conditions climatiques) et elle est caractérisée par une résistance et une portance peu sensibles à la teneur en eau, et une résistance moyennement sensible au compactage. La re-composition de cette grave est facile en centrale mais il faut toutefois faire attention au mottage du laitier. L'activation au gypsonat permet d'obtenir de meilleures performances. Les épaisseurs de mises en œuvre doivent être respectées pour éviter une diminution de la durée de service de la chaussée.

Si des granulats silex sont employés, il faut faire attention à leur coefficient de dilatation (trois fois celui des calcaires). De plus, l'adhésivité de ces granulats avec le liant est plus faible donc les résistances seront diminuées.

4.3.1.2 GRAVE LAITIER CENDRES VOLANTES (GLCV)

Les caractéristiques mécaniques peuvent être modifiées selon l'origine des cendres volantes et du laitier et selon le dosage en chaux.

Cette technique a un délai de compactage moins large que la GL et elle a une sensibilité à la teneur en eau intermédiaire entre une GL et une GCV (voir guide correspondant). Lors du mélange, il faudra éviter le mottage du laitier et des cendres volantes. Les épaisseurs de mise en œuvre doivent être respectées car la GLCV est sensible aux sous-épaisseurs.

Afin d'éviter la déshydratation superficielle et la carbonatation de la chaux, une couche de cure doit être mise en place le plus rapidement possible.

4.3.1.3 SABLE-LAITIER OU SABLE-LAITIER-CENDRES VOLANTES



L'utilisation d'un sable S1 n'est pas recommandée en assise.

Les sables traités aux liants hydrauliques (STLH) ne sont pas employés en couche de base pour des trafics $\geq T1$ ($\geq TC5$).

F La stabilité immédiate des sables comprenant du laitier est améliorée par celui-ci, car il corrige la granularité du sable à traiter en lui apportant des fines et surtout un caractère anguleux et frottant.

F Le manque d'ossature du sable traité par rapport à une grave complique l'accrochage des couches bitumineuses de surface. L'interface couche de base-couche de surface fragile, justifie une légère surépaisseur de la couche de surface et des modalités de mise en œuvre de la couche d'accrochage adaptées (liant de viscosité diminuée, dosage augmenté). Leur compactage s'effectue facilement, ce qui permet une mise en œuvre en couche épaisse. Les modules des sables traités étant plus faibles que ceux des graves à résistance égale, les SL(CV) sont moins rigides et donc les fissurations de retrait sont moins dommageables. La résistance de ces matériaux est cependant sensible à la teneur en eau. Les épaisseurs de mise en œuvre doivent être respectées car les SL(CV) sont sensibles aux sous-épaisseurs.

F Après la mise en œuvre, il faut protéger la couche et préparer rapidement la mise en œuvre de la couche suivante.

5. UTILISATIONS EN GENIE CIVIL

5.1 EMPLOI DU LAITIER GRANULE DANS LA FABRICATION DES CEMENTS

Cette utilisation a absorbé 38% des productions totales 1999 de laitier de SOLLAC.

L'obtention du ciment passe par plusieurs étapes :

- * mélange de calcaire (80%) et d'argile (20%) extraits en carrière pour obtenir le cru de cimenterie,
- * cuisson (1450°C) de ce cru qui donne le clinker de ciment.

Le ciment est ensuite obtenu par broyage du clinker, addition de gypse et d'autres constituants (laitiers de hauts fourneaux, cendres volantes de centrales thermiques, pouzzolanes, etc..).

Le laitier utilisé comme constituant principal (> 5% en masse) ou secondaire (< 5% en masse) dans le ciment doit présenter des caractéristiques hydrauliques. En découle que seul le laitier granulé est employé.

Au titre de constituant principal, il amène des propriétés particulières au ciment : faible chaleur d'hydratation, résistance élevée aux agressions chimiques (eaux de mer, eaux séléniteuses, eaux très pures, etc ...), faible retrait initial, teinte claire stable...

Si le laitier granulé de hauts fourneaux est additionné avec une quantité > 5% en masse, il doit (NF EN 197-1) :

- * contenir au moins deux tiers en masse de laitier vitreux,
- * être constitué d'au moins deux tiers, en masse, de la somme CaO, MgO et SiO₂,
- * avoir un rapport en masse (CaO + MgO)/(SiO₂) supérieur à 1.

La détermination de la teneur de chaque constituant est réalisée conformément à la norme NF EN 196-2. Les différents types de ciment comprenant du laitier sont indiqués dans le tableau suivant :

Désignation	Notation	Clinker - K -	Laitier de HF - S -
Ciment Portland composé	CPJ-CEM II /A	80-94	6 à 20
	CPJ-CEM II /B	65-79	21 à 35
Ciment de haut fourneau	CHF-CEM III /A	35-64	36-65
	CHF-CEM III /B	20-34	66-80
	CLK-CEM III /C	5-19	81-95
Ciment au laitier et aux cendres	CLC-CEM V/A	40-64	18-30
	CLK-CEM III /B	20-39	31-50
Ciment de laitier à la chaux (NF P 15-306)		≤ 30 de chaux	≥ 70

(Valeurs en % en masse)

Des laitiers de HF, des fumées de silice, des pouzzolanes naturelles, des cendres volantes siliceuses ou calciques, en tant que constituants, peuvent se trouver seuls ou associés dans la composition du ciment (La proportion de fumée de silice ne doit pas dépasser 10% dans tous les ciments)..

5.2 EMPLOI DU LAITIER VITRIFIÉ DANS LES LIANTS HYDRAULIQUES ROUTIERS

En complément des ciments normalisés, se sont développés, depuis maintenant de nombreuses années, des liants dénommés « liants hydrauliques routiers » mis au point spécialement pour une utilisation en traitement des sols en place ou en centrale et pour la confection de matériaux d'assises de chaussées.

Ce sont des liants composites obtenus par mélange et/ou broyage de clinker ou de co-produits de l'industrie (laitiers, cendres volantes, etc...).

Les principaux liants employés sont décrits dans des avis techniques délivrés par le Comité Français pour les Techniques Routières (CFTR). Leurs compositions sont :

Produit	Avis technique	Composition	
LSC	65	laitier anhydrite (CaSO ₄) catalyseur	88.5% 11% 0.5%
ARC DANNES	73	laitier de haut fourneau de ferromanganèse* laitier de haut fourneau de fonte somme des deux laitiers chaux aérienne vive sulfate de calcium	10% complément à 100 ≤ 83% 12% 7%
ROC CRAIE	74	laitier de haut fourneau gypse catalyseur	85% 13% 2%
ROLAC 124	75	laitier de haut fourneau cendres hydrauliques	76% 24%
PRV - Type A	78	laitier vitrifié de haut fourneau cendres volantes silico-alumineuses chaux vive sulfate de calcium	50 à 60% 20 à 30% 12 à 18 % 3 à 7%

(*) le pourcentage de laitier de ferromanganèse est fonction de la réactivité du laitier de fonte

F Leurs caractéristiques de mise en œuvre en assises de chaussées sont semblables aux graves-ciment.

5.3 EMPLOI DU LAITIER VITRIFIÉ DANS LE BETON

5.3.1 LE LAITIER GRANULE (NF P 18-306)

Le laitier granulé peut être employé dans les bétons classiques de granulats naturels comme sable actif (remplacement de tout ou partie du sable), soit sous sa forme brute, soit sous forme de laitier prébroyé.

Cette incorporation se traduit par une augmentation des résistances mécaniques. (à dosage en ciment constant), le malaxage et la mise en œuvre provoquant l'attrition de fines hydrauliques dont l'action vient se cumuler avec celles de la liaison pâte de ciment-sable de laitier. Par contre, le béton perd de sa maniabilité, d'autant plus que l'ajout de laitier est important. Cette maniabilité peut alors être améliorée par différents ajouts (cendres volantes, charge inerte).

Ce laitier, de masse volumique supérieure à 0.80 kg/dm³, doit avoir la composition chimique suivante :

Constituants	Pourcentage
SiO ₂	29 à 38
Al ₂ O ₃	13 à 24
CaO	38 à 48
MgO	≤ 6
FeO	≤ 4
MnO	≤ 2
soufre des sulfures exprimé en S	≤ 2
soufre des sulfates exprimé en SO ₃	≤ 0.5

Les laitiers provenant de fontes spéciales (ferro-manganèse) et les laitiers extraits de crassiers sont exclus des bétons.

De plus, ces derniers ne doivent pas être employés pour les bétons dans lesquels il entre du ciment alumineux.

5.3.2 LE LAITIER MOULU (NF P 18-506)

La norme XP P 18-305 « Béton prêt à l'emploi » autorise l'utilisation du laitier vitrifié moulu de classe B (au sens de la norme P 18-506) comme addition en substitution du ciment.

Le coefficient k de prise en compte est de 0,9 c'est à dire que 50 kg de laitier remplacent 45 kg de ciment. La quantité A d'addition est limitée en fonction du dosage C en ciment par la relation $A/(A+C) \leq 0.3$ pour les environnements habituels, $A/(A+C) \leq 0.15$ à partir de la classe 3 d'environnement.

Pour l'environnement le plus courant : humide avec gel modéré (2b1), la quantité minimale de liant équivalent $C+kA$ est de 280 kg/m³, la quantité de laitier peut ainsi s'élever à 86 kg/m³, celle de ciment étant de 203 kg/m³. Le ciment doit obligatoirement être de type CEM I, les autres (CEM II à CEM V) n'autorisent pas la prise en compte de l'addition du laitier en substitution du ciment.

F Le laitier moulu permet de modifier certaines propriétés du béton, principalement le comportement aux milieux agressifs et aux alcalis-réactions, la diminution de la chaleur d'hydratation et de la porosité. Ces modifications dépendront du taux d'addition et de la finesse de mouture du laitier.

Il doit répondre aux spécifications détaillées dans la norme NF P 18-506.

6. DEMARCHE QUALITE

Les fiches techniques produits fournies par le producteur doivent comprendre toutes les caractéristiques demandées par les normes (P 18-302 : laitier cristallisé ; NF P 18-306,NF P 18-506,NFP 98-106 : laitier vitrifié).

Guide technique régional relatif à la valorisation des

M.I.O.M.
MACHEFERS D'INCINERATION D'ORDURES MENAGERES



Guide technique régional relatif à la valorisation des

M.I.O.M. MACHEFERS D'INCINERATION D'ORDURES MENAGERES

PREAMBULE

Au sens large, le terme "Mâchefer" se rapporte aux résidus grossiers liés à l'incinération. Le mâchefer résultant de la combustion du charbon est probablement le plus connu.

Il est donc important, pour éviter toute confusion, d'associer ce qualificatif à la nature de la matière première concernée.

Le présent document traite des Mâchefers issus uniquement de l'Incinération des Ordures Ménagères (MIOM), dans des unités spécialisées.

Son but est d'aider à une meilleure connaissance de ce matériau pour, au final, inciter les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre et les entreprises à l'utiliser, là où ses caractéristiques physico-chimiques le permettent.

SOMMAIRE

1. GENERALITES	3
1.1. ELEMENTS DE BASE DE L'INCINERATION	3
1.2. COMPOSITION DES ORDURES MENAGÈRES	3
1.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN INCINERATEUR	4
1.4. CADRE REGLEMENTAIRE RÉGISSANT L'UTILISATION DES MIOM	5
2. LOCALISATION DES U.I.O.M.....	6
3. PREPARATION DES MIOM / IMPORTANCE DE LA MATURATION	7
4. COMPOSITION DES MIOM	8
5. CARACTERISATION DES MIOM.....	9
5.1. IDENTIFICATION GÉOTECHNIQUE DES MIOM	9
5.2. CARACTÉRISTIQUES INTRINSÈQUES	10
5.3. COMPACTAGE / PORTANCE	10
5.3.1. Définition de l'etat hydrique	10
5.3.2. Objectifs compactage-portance	10
6. UTILISATIONS DES M.I.O.M.NON TRAITES	11
6.1. REBLAIS	13
6.1.1. Epaisseurs de couche / Compactage	13
6.1.2. Pentes de talus	14
6.2. COUCHES DE FORME DE CHAUSSÉES	14
6.3. ASSISES DE CHAUSSÉES	15
6.3.1. M.I.O.M. non traités	15
6.3.2. M.I.O.M. traités	16
6.4. AUTRES UTILISATIONS DES M.I.O.M.	16
7. ASPECTS PARTICULIERS.....	17
7.1. OUVRAGES EN ACIER	17
7.2. OUVRAGES EN BÉTON	17
8. DEMARCHE QUALITE	18
8.1. ASPECT ENVIRONNEMENTAL	18
8.2. ASPECT TECHNIQUE	18
9. REFERENCES D'EMPLOI	19

Les M. I. O. M

MACHEFERS D'INCINERATION D'ORDURES MENAGERES

1. GENERALITES

1.1. ELEMENTS DE BASE DE L'INCINERATION

Le principe de base de la combustion consiste, au niveau du four de l'incinérateur, à combiner les matières combustibles avec l'oxygène de l'air et accroître la température jusqu'à leur point d'inflammation. La réaction chimique d'oxydation, fortement exothermique, doit ensuite être entretenue pour que l'incinération soit la plus complète possible : en clair, optimiser à tout moment le rapport "Air - Combustible".

La variabilité de la composition, de la compacité (perméabilité à l'air) et de l'humidité des déchets ménagers conduit à des conditions de combustion changeantes. La marche de l'usine d'incinération doit donc être ajustée autant que nécessaire pour aboutir à un "Mâchefer" brut, débarrassé au maximum des matières combustibles ou putrescibles susceptibles d'évolutions ultérieures.

Cela implique notamment une action sur :

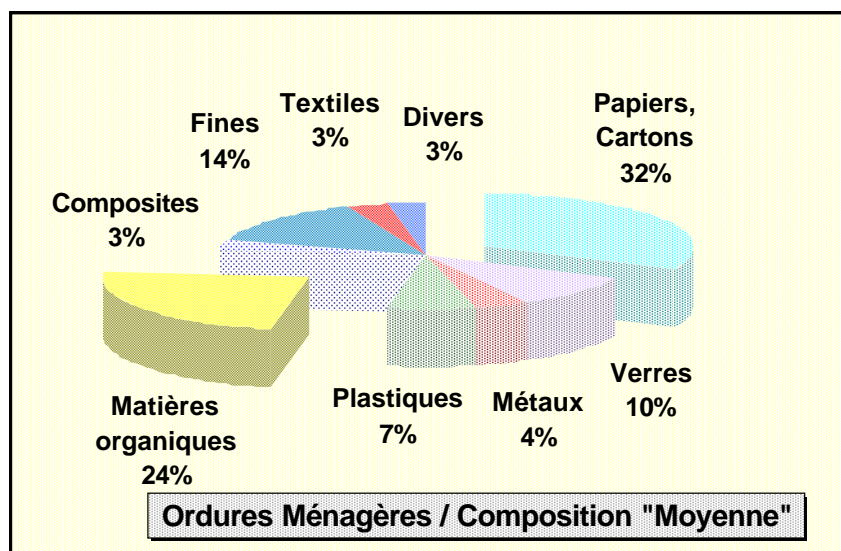
- * L'homogénéisation des déchets dans la fosse de réception,
- * La cadence d'introduction et le temps de passage dans le four,
- * La modulation du débit d'air nécessaire à la combustion des déchets et des gaz de postcombustion.

1.2. COMPOSITION DES ORDURES MENAGERES

Il n'y a pas véritablement de composition type concernant les ordures ménagères destinées à l'incinération.

Selon la saison, la politique de collecte des ordures, sélective ou non, le tissu urbain, plus ou moins dense, des variations notables peuvent apparaître.

Pour fixer les idées, on peut cependant admettre une composition "moyenne", illustrée par le schéma ci-contre.



1.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN INCINERATEUR

Un incinérateur se compose de trois parties principales :

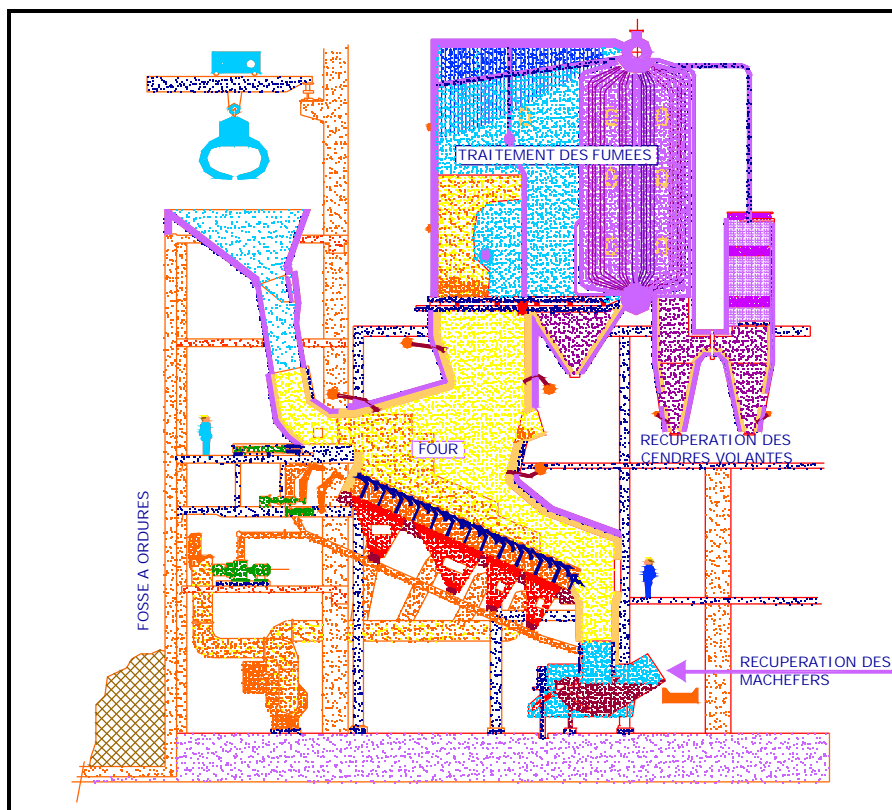
- * La fosse de réception des ordures ménagères,
- * L'unité d'incinération proprement dite (four),
- * La partie de traitement des gaz de combustion : Récupération des Résidus d'Épuration des Fumées de l'Incinération des Ordures Ménagères - REFIOM -.

Les incinérateurs les plus répandus sont pourvus de fours à grilles mobiles sur lesquelles circulent les ordures ménagères, l'air nécessaire à la combustion étant insufflé par le dessous. La température de combustion se situe aux alentours de 900° C.

Dans cette même gamme de procédé d'incinération pour lequel il est admis qu'une tonne incinérée conduit à 270 à 300 kg de mâchefers, il est possible de rencontrer des fours à sole, des fours rotatifs ou des fours oscillants.

De nouvelles technologies d'incinération sont par ailleurs en cours d'expérimentation. Elles reposent pour l'essentiel sur la combustion en lit fluidisé qui est ici plus complète que dans les fours classiques à grilles. Cette technique implique, avant incinération, un broyage des ordures ménagères ainsi que l'extraction des éléments incombustibles les plus grossiers.

Les gaz dégagés durant l'incinération sont traités par différentes méthodes pour les épurer des cendres volantes et des métaux lourds en suspension.



L'ensemble constitué par les :

1. cendres volantes,
 2. produits de réaction résultant du captage des métaux lourds,
 3. cendres sous chaudières (ou grilles),
- forme ce qu'il est convenu d'appeler :

"Les REFIOM"

Résidus d'Épuration des Fumées d'Incinération des Ordures Ménagères

1.4. CADRE REGLEMENTAIRE REGISSANT L'UTILISATION DES MIOM

Pour le moment, deux textes officiels régissent et encadrent l'utilisation des MIOM.

- * j L'ARRETE du Ministre de l'environnement du 25/01/1991 - JO du 08/03/1991 - relatif aux installations d'incinération des résidus urbains.

Cet arrêté :

- ◊ autorise la valorisation des MIOM lorsque leurs caractéristiques le permettent,
- ◊ oblige à l'enfouissement, après inertage, des REFIOM dans des "Centres d'Enfouissement Technique (C.E.T.)" de classe 1.

Il est donc interdit d'utiliser des MIOM dans lesquels auraient été "reversés" les REFIOM. En cas de mélange des deux matériaux, le produit résultant doit être obligatoirement enfoui en C.E.T. de Classe 1..

- * K : LA CIRCULAIRE DPPR/SEI/BPSIED n° 94-N-1 du 09/05/94 du Ministère de l'Environnement

Cette circulaire :

- ◊ précise les modalités de stockage des MIOM dans les Installations de Maturation et d'Elaboration "IME"

Ces installations doivent notamment être conçues pour satisfaire aux dispositions réglementaires de protection de l'environnement concernant :

- les eaux souterraines et superficielles (étanchéité des plates-formes, collecte des eaux de ruissellement, ...),
- le bruit.

- ◊ Traite

- des conditions de stockage (capacité maximale autorisée),
- du temps de séjour sur la plate-forme (limité à un an),
- de la traçabilité des lots de production de MIOM,

- ◊ Classe les MIOM en 3 catégories "V", "M" et "S" selon leur teneur en un certain nombre d'éléments polluants, déterminés conformément à la norme XP X31-210.

"V" : Valorisation - Mâchefers à faible fraction lixiviable,

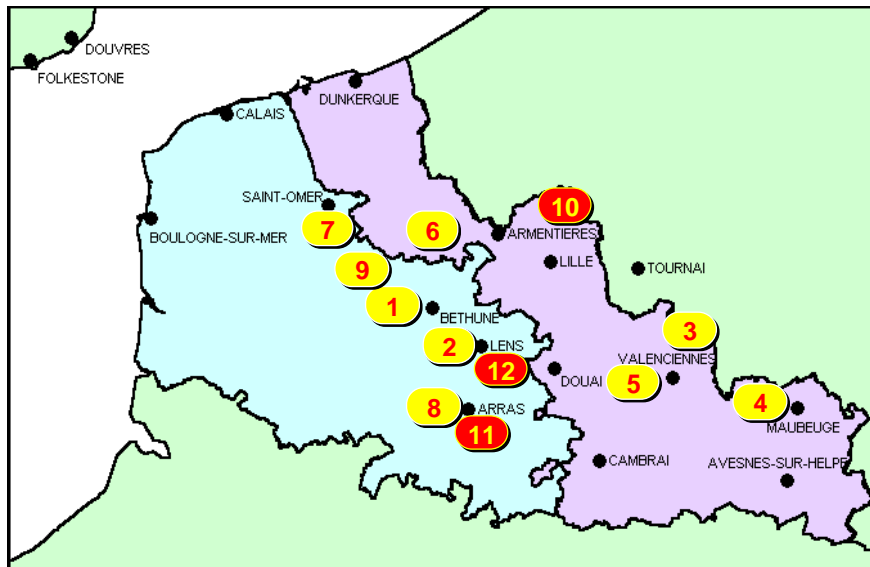
"M" : Maturation - Mâchefers intermédiaires,

"S" : Stockage permanent - Mâchefers à forte fraction lixiviable.

	Taux d'imbrûlés	Fraction soluble	Potentiel polluant par paramètre (mg/kg de matière sèche)						
			Hg	Pb	Cd	As	Cr ⁶	SO ₄ ²⁻	COT
"V"	< 5 %	< 5 %	< 0,2	< 10	< 1	< 2	< 1,5	< 10000	< 1500
"M"	< 5 %	< 10 %	< 0,4	< 50	< 2	< 4	< 3	< 15000	< 2000
"S"	> 5 %	> 10 %	> 0,4	> 50	> 2	> 4	> 3	> 15000	> 2000

- * La circulaire, tout en spécifiant des restrictions dictées par des soucis de préservation de l'environnement, définit, en fonction de leur catégorie, les emplois possibles des MIOM. Pour les mâchefers "V" et "M", tous les seuils ci-dessus doivent être respectés.

2. LOCALISATION DES U.I.O.M



Selon le document de la DRIRE Nord Pas de Calais, "

L'Industrie au Regard de l'Environnement (IRE)

(Edition de 1999),

les U.I.O.M. se répartissent comme suit sur le territoire de la Région.

En 1999, 9 unités étaient en ordre de marche.

Le tableau⁽¹⁾ ci-après renseigne sur les capacités d'incinération de ces usines

(1) : établi à partir de l'IRE 1999 de la DRIRE

REPÈRE	PROPRIÉTAIRE	EXPLOITANT	LIEU	TONNAGE INCINÉRÉ (EN T)	SEPARATION CENDRES / MACHEFER	PRODUCTION CENDRES (EN T)	MACHEFERS PRODUITS (EN T)	MACHEFERS VALORISÉS (EN T)
1	DISTRICT DE L'ARTOIS	SEMIORA	LA BEUVRIÈRE	114 652	OUI	2 665	31 120	31 120
2	DISTRICT DE LENS LIEVIN	VALNOR	NOYELLES SOUS LENS (*)	95 867	OUI	1 683	26 843	3 452
3	ECOVALOR	CIDEME	SAINT SAULVE	89 021	OUI	1 547	23 800	23 800
4	SMAIA	VALNOR	MAUBEUGE	68 978	OUI	1 418	18 649	?
5	SIRDHIM	PRO CYRDHIM	DOUCHY LES MINES (**)	65 988	OUI	2 347	19 574	?
6	SITCOM FLANDRES	VALNOR	STRAZEELE	31 376	OUI	169	8 868	12 789
USINE ARRÊTÉE FIN 2000								
7	DISTRICT DE ST OMER	VALNOR	LONGUENESSE	28 259	OUI	409	9 448	9 448
8	C.U. ARRAS	VALNOR	TILLOY LES MOFFLAINES	24 560	OUI	449	3 134	3 134
9	DISTRICT ISBERGUES	DISTRICT ISBERGUES	GUARBEQUE	6 400	NON	/	1 626	/
10	LILLE MCU	VALNOR	HALLUIN	NOUVELLE USINE : MISE EN SERVICE EN FIN 2001. CAPACITÉ ANNUELLE NOMINALE D'INCINÉRATION : ≈ 350 000 T PRODUCTION ANNUELLE DE MIOM : ≈ 95 000 T				
11	C.U. ARRAS	VALNOR	ST LAURENT BLANGY	USINE EN CONSTRUCTION - MISE EN SERVICE EN 2003 - REPLACERA L'USINE (REP 8) - INCINÉRATION PAR PYROLYSE				
12	COMMUNAUTE AGGLOMERATIONS HENIN-CARVIN	CIDEME	HENIN BEAUMONT	REDEMARRAGE DE L'USINE EN SEPTEMBRE 2000 PRODUCTION ANNUELLE PREVUE : ≈ 19 000 T				
DONT DECHETS HOSPITALIERS CONTAMINÉS : , *522 TONNES, **3 936 TONNES T								
N° 6 ET 8 : USINES ARRÊTÉES EN FIN DE L'ANNEE 2000								

3. PREPARATION DES MIOM / IMPORTANCE DE LA MATURATION



En sortie de four, les MIOM, très hétérogènes dans leur composition, sont dirigés vers une fosse remplie d'eau pour y être refroidis. Leur passage y est rapide. En résulte un matériau très humide (Voir ci-contre).
 Sitôt refroidis, les MIOM sont transportés vers une Installation de Maturation Elaboration - IME -

Dans un premier temps, le stockage sur une aire adaptée a pour but :

- de conduire à une diminution de la teneur en eau par essorage naturel,
- de permettre l'évolution chimique, par développement des réactions de carbonatation et de minéralisation, pour aboutir, en transformant les sels sous une forme moins soluble, à une diminution des quantités lixiviables. Ceci vaut notamment pour les MIOM de catégorie "M". Un temps de maturation suffisamment long peut leur permettre d'atteindre la catégorie "V".

En complément à cette maturation, les MIOM destinés à la vente subissent des opérations mécaniques visant à les homogénéiser sur le plan physique.

Ils font l'objet le plus souvent des traitements suivants :

- Elimination par barraudage à 100 ou 150 mm des gros éléments minéraux et organiques,
- Criblage sur tamis vibrants ou par trommels pour l'obtention d'un mâchefer 0/20, voire 0/40 mm,
- Déferrailage, en une ou plusieurs étapes, à l'aide d'overbands ou de poulies magnétiques placées en tête des convoyeurs. De ces métaux ferreux qui peuvent représenter jusqu'à 10% en poids du mâchefer, seuls les éléments centimétriques ou de dimensions



supérieures sont éliminés. Le taux de captation des ferrailles par cette méthode magnétique est estimé entre 50 et 70%. Selon les dires d'un certain nombre de gestionnaires d'IME, elle peut même atteindre 90%, pour des installations particulièrement performantes,

F Les éléments les plus fins, aux surfaces spécifiques importantes, restent disséminés dans la masse du matériau. Par oxydation et en fonction de la durée de stockage, ils disparaîtront partiellement.

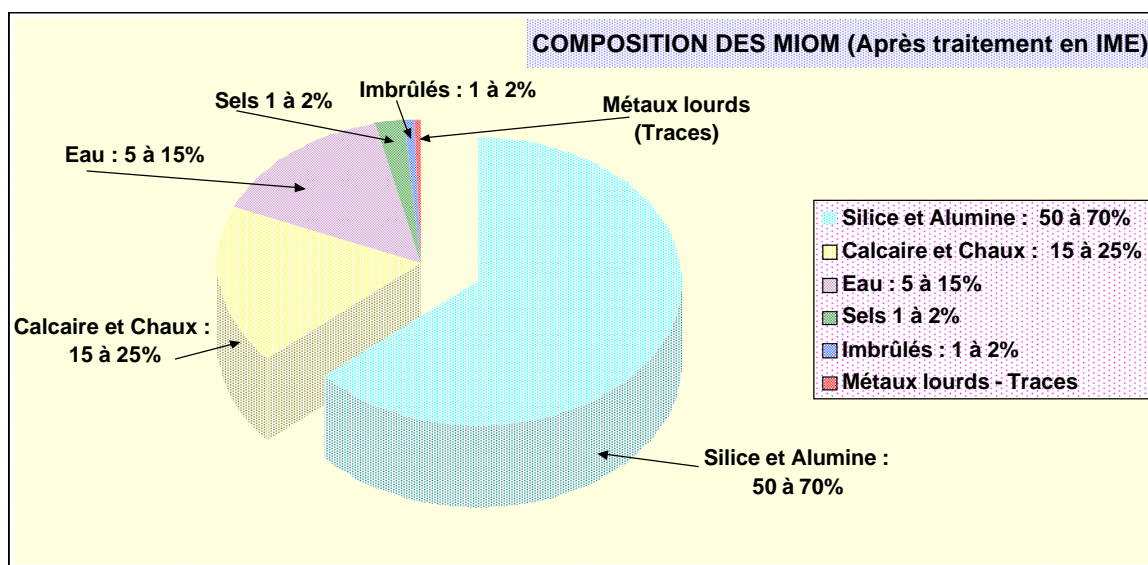
Ce phénomène d'oxydation contribue par ailleurs au maintien d'une température élevée au sein des MIOM (réaction exothermique) qui favorise ainsi toute autre réaction chimique visant à la passivation du matériau. En vertu de ce principe, il est recommandé de stocker les MIOM durant plusieurs mois après leur passage sur overband afin d'éliminer au maximum les parties ferriques inaccessibles à la séparation magnétique en raison de leur imbrication avec des éléments minéraux.

- Récupération par courant de Foucault des métaux non ferreux et en particulier de l'aluminium dont le rôle dans les gonflements observés sur les MIOM a été maintes fois mis en évidence,
- Séparation par soufflage et/ou par tri manuel des imbrûlés de la fraction 40/150 mm et réintroduction dans le mâchefer, après concassage de la partie minérale.

4. COMPOSITION DES MIOM

Les MIOM traités comme mentionné au paragraphe précédent présentent une composition située dans les intervalles matérialisés ci-dessous.

Les composants majoritaires (Silice et Alumine) correspondent pour l'essentiel à des débris de verre, de faïence et autres matières minérales. Ils sont surtout présents



dans les fractions supérieures à 5 mm.

Ce sont ces éléments qui constituent le squelette minéral des MIOM et les rendent intéressants dans le cadre d'une utilisation dans les TP.

La mise en place des collectes sélectives des ordures ménagères, notamment celle des verres, risque, à terme, là où elles seront installées, de modifier sensiblement la composition et, en corollaire, le comportement physique des MIOM.

5. CARACTERISATION DES MIOM

5.1. IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE DES MIOM

Si l'on assimile les MIOM à des matériaux naturels, deux normes s'appliquent :

- XP P18-540 Oct 97 : Granulats - Définitions, conformités, spécifications,
- NF P11-300 Sept 92 : Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

Les essais nécessaires à l'identification des M.I.O.M. sont groupés dans le tableau ci-après :

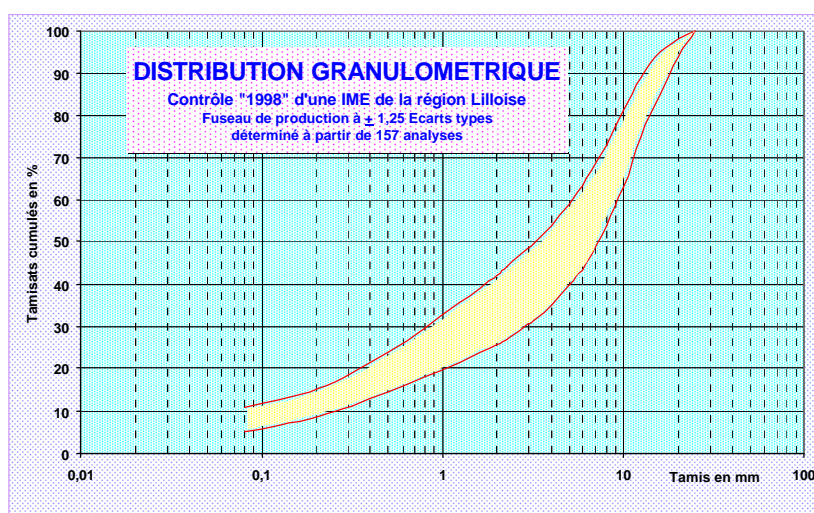
Paramètres	Norme
Teneur en eau naturelle*	NF P94-050
Analyse granulométrique	NF P94-056
Equivalent de sable - ES -	NF P18-598
Propreté - PS -	NF P18-597
Valeur de bleu Sol	NF P94-068
Los Angeles** - LA -	NF P18-573
Micro Deval en présence d'eau** - MDE -	NF P18-572
Friabilité des sables*** - FS -	NF P18-576
Détermination des caractéristiques de compactage d'un sol	NF P94-093
Indice portant I immédiat et après immersion	NF P94-078

* : Température limitée à 50 °C

** : Sur les fractions 4/6, 6/10 et 10/14 mm

*** : Sur les fractions 0,2/2 ou 0,2/4 mm

GRANULARITE



Après maturation et élaboration, les MIOM se présentent généralement sous la forme d'une grave 0/25 mm, bien graduée. Les éléments fins inférieurs à 80 µm, non argileux par définition, sont généralement inscrits dans une fourchette de 5 à 12%.

Le diagramme ci-dessus, illustre le suivi d'un mâchefer "V" traité dans une IME installée dans la région lilloise. La distribution granulométrique du matériau s'inscrit dans la moyenne de ce qu'il est habituel de rencontrer en la matière.

5.2. CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES

Les coefficients Micro Deval en présence d'eau - MDE - et Los Angeles - LA - tournent respectivement autour de 30 (± 3 environ) et 40 (± 3 environ).

Ces caractéristiques intrinsèques intéressantes s'expliquent en partie par la présence de nombreux débris de verre dans la fraction supérieure à 5 mm.

CLASSIFICATION

Au titre de la norme P11.300, Les M.I.O.M. mûrés et pour lesquels la plus grande partie de éléments métalliques (ferreux et non ferreux) a été extraite, relèvent de :

F la classe F61 : Mâchefers bien incinérés, criblés, déferraillés, peu chargés en éléments toxiques solubles et stockés durant plusieurs mois"

Sur le plan pratique, pour ce qui concerne leur comportement, notamment sous compactage, ils peuvent être apparentés aux classes D21 ou B31 (selon le taux d'éléments fins, non argileux par définition), et ce malgré une sensibilité vis à vis de l'eau un peu plus marquée que celle des matériaux naturels appartenant à ces mêmes classes.

5.3. COMPACTAGE / PORTANCE

5.3.1. DEFINITION DE L'ETAT HYDRIQUE

En l'absence pour le moment d'autres critères que ceux utilisés pour les matériaux naturels de classe A à D repris dans la norme P11-300, il est possible, pour ce qui concerne la définition de l'état hydrique des M.I.O.M., de s'appuyer sur la grille ci-après, établie suite à un certain nombre d'observations sur le comportement des M.I.O.M. sur site. Ce tableau n'a cependant qu'une valeur indicative.

M.I.O.M de catégorie "V" criblés mûrés	Très humide	th	$IPI < 10^*$ ou $W > 1,3 W_{OPN}$
	Humide	h	$1,2 W_{OPN} \leq W \leq 1,3 W_{OPN}$ ou $10 \leq IPI \leq 20$
	Moyennement humide	m	$0,8 W_{OPN} \leq W \leq 1,2 W_{OPN}$ ou $IPI > 20$
	Sec	s	$0,6 W_{OPN} \leq W \leq 0,8 W_{OPN}$
	Très sec	ts	$W < 0,6 W_{OPN}$

*en gras : Critères à privilégier

IPI : Indice portant Immédiat

W_{OPN} : Teneur en eau à l'optimum Proctor

W : teneur en eau du matériau au moment de sa mise en œuvre

5.3.2. OBJECTIFS COMPACTAGE-PORTANCE

La variabilité des courbes "Compactage Proctor - Portance Immédiate" peut susciter quelques difficultés dans le choix des valeurs de référence indispensables à l'exécution des contrôles sur chantier.

Pour les "situer" et apporter ainsi une réponse en la matière, certains gestionnaires d'IME incluent, dans le cadre du contrôle journalier de leur production de M.I.O.M., des essais de "Portance Immédiate (IPI)" sur des éprouvettes de M.I.O.M., compactés sous l'énergie du Proctor normal et à leur teneur en eau naturelle.

6. UTILISATIONS DES M.I.O.M. NON TRAITES

Il est rappelé que l'utilisation des M.I.O.M., dans le cadre des travaux publics est subordonnée au respect des critères d'usage spécifiés dans la circulaire du 9 mai 1994 du Ministère de l'Environnement.

Ils doivent obligatoirement être de catégorie "V" comme indiqué dans l'extrait ci-après

EXTRAIT DE LA CIRCULAIRE MINISTERIELLE

◆ Les mâchefers "V"

Après déferrailage et de préférence après criblage, ils peuvent être valorisés en techniques routières en :

- * structure routière ou de parking (couche de forme, couche de fondation ou couche de base) à l'exception des chaussées réservoir ou poreuses,
- * remblai compacté d'au plus 3 mètres de hauteur, sans aucun dispositif d'infiltration et à condition qu'il y ait en surface :
 - une structure routière ou de parking,
 - un bâtiment couvert,
 - un recouvrement végétal sur un substrat d'au moins 0,5 mètre.

Des conditions d'utilisation doivent être respectées afin de limiter les impacts avec les eaux météoriques, superficielles et souterraines.

Ils seront utilisés :

- * en dehors des zones inondables et des périmètres de protection rapprochés des captages d'alimentation en eau potable,
- * à une distance minimale de 30 mètres de tout cours d'eau,
- * à une distance suffisante du niveau des plus hautes eaux connues.

Ils ne peuvent servir au remblaiement de tranchées comportant des canalisations métalliques ou pour la réalisation de systèmes drainants.

Les mâchefers produits devront faire l'objet d'analyses périodiques tout au long de leur production afin de contrôler leur appartenance à la catégorie "V". La signature d'une convention et d'une procédure de suivi de la qualité des mâchefers entre producteur, distributeur et valorisateur est souhaitable afin de garantir de bonnes conditions de valorisation des déchets.

◆ Les mâchefers "M"

Les mâchefers intermédiaires peuvent suivre deux filières distinctes.

Ils peuvent être éliminés en centre de stockage de classe 2 autorisé au titre de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement.

- * Ils peuvent également être valorisés après pré-traitement ou maturation dans une installation autorisée. On observe en effet avec le temps une carbonatation naturelle des mâchefers qui conduit à limiter le potentiel polluant. Dès que les critères des mâchefers à faible fraction lixiviable sont respectés, les mâchefers sont valorisables en techniques routières.

- ◆ A l'issue d'une période maximale de 12 mois, le potentiel polluant des mâchefers est stable. Si les critères de la catégorie «V» ne sont pas respectés, l'élimination en centre de stockage de classe 2 s'impose.

◆ Les mâchefers "S"

Sans que cela ne soit expressément stipulé dans la circulaire, il est recommandé, avant toute utilisation, de mûrir les MIOM durant une durée minimale de trois mois afin de parfaire leur passivation chimique. La retombée de cette disposition sera patente sur chantier en termes de facilité de mise en œuvre

6.1. REMBLAIS

RAPPEL : La circulaire ministérielle de Mai 1994, précise pour ce qui concerne les remblais :

« Les utilisations possibles en techniques routières de mâchefers à faible fraction lixiviable sont les suivantes :

- * remblai compacté d'au plus 3 mètres de hauteur, sans aucun dispositif d'infiltration, et à condition qu'il y ait en surface :
 - * Une structure routière ou de parking,
 - * Un bâtiment couvert,
 - * Un substrat végétal d'au moins 50 cm d'épaisseur.

6.1.1. EPAISSEURS DE COUCHE / COMPACTAGE

Les épaisseurs de mise en œuvre seront fonction de l'état hydrique du matériau et de la capacité de l'engin de compactage. Elles sont généralement de l'ordre d'une trentaine de centimètres pour des M.I.O.M. d'humidité moyenne. Cet état hydrique permet une bonne conservation de la portance durant le serrage avec un compacteur vibrant et/ou à pneus. Pour plus de détail concernant les épaisseurs à mettre en œuvre en fonction de la teneur en eau du matériau et du compacteur utilisé, on peut se reporter au tableau ci-après. Ce dernier, établi selon le mode adopté dans le GTR*, ne doit être considéré que comme une simple proposition.

Les critères de fonctionnement retenus devront, autant que faire se peut, être validés sur chantier par planches d'essais ou toute autre méthode adaptée.

- GTR : Guide technique LCPC/SETRA de 1992 "Réalisation des remblais et des couches de forme".

Modalités		COMPACTEURS												
		à pneus			Vibrants à cylindres lisses								Plaques vibrantes	
		P1	P2	P3	V1	V2	V3		V4		V5		PQ3	PQ4
Energie de compactage faible	Q/S	0.090	0.130	0.200	0.060	0.095	0.145		0.195		0.235		0.065	0.100
	e	0.30	0.45	0.60	0.30	0.40	0.30	0.60	0.40	0.80	0.45	0.95	0.20	0.30
	V	5.0	5.0	5.0	2.0	2.5	5.0	2.5	5.0	2.5	5.0	2.5	1.0	1.0
	N	4	4	3	5	5	3	5	3	5	2	4	3	3
	Q/L	450	650	1000	120	240	725	365	975	490	1175	590	65	100
Energie de compactage moyenne	Q/S	0.050	0.080	0.120	0.030	0.050	0.075		0.100		0.120		/	0.050
	e	0.25	0.35	0.45	0.20	0.30	0.30	0.45	0.30	0.60	0.30	0.75	/	0.20
	V	5.0	5.0	5.0	2.0	2.0	3.0	2.0	4.0	2.0	5.0	2.0	/	1.0
	N	5	5	4	7	6	4	6	3	6	3	7	/	4
	Q/L	250	400	600	60	100	225	150	400	200	600	240	/	50
Energie de compactage intense	Q/S	/	0.040	0.060	/	0.030	0.040		0.055		0.065		/	/
	e	/	0.20	0.30	/	0.20	/	0.30	0.35	0.40	0.30	0.50	/	/
	V	/	5.0	5.0	/	2.0	/	2.0	2.5	2.0	3.5	2.0	/	/
	N	/	5	5	/	7	/	8	7	8	8	5	/	/
	Q/L	/	200	300	/	60	/	80	140	110	230	130	/	/

Q/S (m) Paramètre de définition du compactage -
 e (m) Epaisseur maximale de mise en œuvre (après compactage)
 V (km/h) Vitesse d'avancement du compacteur
 N / Nombre de passes du compacteur - Une passe équivaut à un seul passage du compacteur
 Q/L (m²/h.m) Débit théorique de compactage - pour un compactage de un mètre de large

On trouvera plus de détails quant à la définition de ces termes dans le Guide technique LCPC/SETRA de 1992 "Réalisation des remblais et des couches de forme".

6.1.2. PENTES DE TALUS

Les talus peuvent être dressés sous des pentes de 3 pour 2 (3 selon l'horizontale, 2 selon la verticale).

6.2. COUCHES DE FORME DE CHAUSSEES

RAPPEL : La circulaire ministérielle de Mai 1994, précise en la matière :

« Les utilisations possibles en techniques routières de mâchefers à faible fraction lixiviable sont les suivantes :

- * structure routière ou de parking (couche de forme, couche de fondation ou couche de base) à l'exception des chaussées réservoir ou poreuses.

EPAISSEURS DE COUCHE / COMPACTAGE

Les épaisseurs à mettre en œuvre seront déduites des propositions du GTR concernant les matériaux de classe D21 .

Elles sont rappelées ci-dessous :

CONTEXTE Couple PST / AR ⁽¹⁾	Epaisseur - e - de M.I.O.M. à mettre en oeuvre en m	Classe de plate- forme
PST n°1 / AR 1	e = 0.75 ⁽²⁾ - e = 0.60 ⁽³⁾	PF2 ⁽⁴⁾
PST n°2 / AR 1	e = 0.50 ⁽²⁾ - e = 0.40 ⁽³⁾	PF2 ⁽⁴⁾
PST n°3 / AR 1	e = 0.40 ⁽²⁾ - e = 0.30 ⁽³⁾	PF2 ⁽⁴⁾
PST n°3 / AR 2	e = 0.30 ⁽²⁾ - e = 0.20 ⁽³⁾	PF2 ⁽⁴⁾

1. PST : Partie Supérieure de Terrassement - AR : Arase terrassement. Voir le GTR pour la définition de ces paramètres. Ils dépendent du contexte hydrogéologique dans lequel s'inscrit le projet

1. Epaisseur sans géotextile

1. Epaisseur si intercalation d'un géotextile à l'interface PST-Couche de forme

1. PF2 : $50 \leq EV < 120$ Mpa - Rigidité mesurée à l'essai de plaque



Comme pour d'autres matériaux employés à la construction des couches de forme de chaussées, la chute de portance* des M.I.O.M. peut survenir brutalement en cas d'un excès d'humidité associé à un compactage intense qu'il est nécessaire de dispenser au niveau de ces couches.

*Il a été constaté sur de nombreux chantiers régionaux que les MIOM récupéraient rapidement leurs caractéristiques initiales de portance à l'issue d'intempéries.

L'intensité du compactage devra cependant être adaptée à la fragilité du matériau. Une énergie excessive peut engendrer une évolution granulométrique en surface de couche qui s'avérerait nuisible à la qualité de l'interface et en définitive à l'accrochage avec la première couche de structure de chaussée (feuilletage, farinage, ...).

Pour la mise en œuvre, il est possible de s'inspirer du tableau ci-après dont les valeurs ne doivent être considérées que comme de simples propositions.

Modalités		COMPACTEURS										
		à pneus			Vibrants à cylindres lisses							
		P1	P2	P3	V1	V2	V3	V4	V5			
Energie de compactage intense	Q/S	/	0.025	0.035	/	0.020	0.030	0.040		0.050		
	e	/	0.20	0.30	/	0.20	/	0.30	0.35	0.40	0.30	0.50
	V	/	5.0	5.0	/	2.0	/	2.0	2.5	2.0	3.5	2.0
	N	/	8	9	/	10	/	8	9	10	6	10
	Q/L	/	125	175	/	40	/	60	100	80	175	100

Q/S (m) Paramètre de définition du compactage -
 e (m) Epaisseur maximale de mise en oeuvre (après compactage)
 V (km/h) Vitesse d'avancement du compacteur
 N / Nombre de passes du compacteur - Une passe équivaut à un seul passage du compacteur
 Q/L (m³/h.m) Débit théorique de compactage - pour un compactage de un mètre de large
 On trouvera plus de détails quant à la définition de ces termes dans le Guide technique LCPC/SETRA de 1992 "Réalisation des remblais et des couches de forme"

6.3. ASSISES DE CHAUSSEES

6.3.1. M.I.O.M. NON TRAITES

Assimilables à des graves de type A (GNTA) selon les modalités de la norme NF P98-129 de novembre 1994 : "Assises de chaussées / Graves non traitées : Définition, Composition - Classification",



les M.I.O.M. sont utilisables pour la constitution des seules couches de fondation de chaussées dont le trafic est $\leq T4$ (≤ 25 PL/j sur la voie la plus chargée). Il importe en effet de ne pas recouvrir directement les mâche-

fers par une simple couche d'enrobé, souple par définition et s'opposant peu aux éventuelles déformations dont les MIOM pourraient être le siège.

Une couche de base d'une autre nature et d'une épaisseur d'une quinzaine de centimètres environ est nécessaire.

Ces structures doivent être dimensionnées selon les règles du "Guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussées".

A titre indicatif, le tableau ci-après donne quelques exemples de structures qu'il est possible de mettre en œuvre.

TRAFIC	PLATE-FORME	
	PF1	PF2
T4	BB : 5 cm	BB : 5 cm
	GNT : 15 cm	GNT : 12 cm
	M.I.O.M. : 50 cm	M.I.O.M. : 30 cm
T5	Enduit superficiel	Enduit superficiel
	GNT : 15 cm	GNT : 15 cm
	M.I.O.M. : 55 cm	M.I.O.M. : 30 cm

6.3.2. M.I.O.M. TRAITES

Le traitement des MIOM par des liants hydrauliques dans la perspective de construction d'assises de chaussées est, pour l'instant, très peu répandu dans la région Nord - Pas de calais*.

Cette situation résulte des études de laboratoire, généralement peu optimistes en terme de pérennité des prises induites par les liants hydrauliques. Des études sur le mode et la cinétique des prises sont actuellement engagées pour lever ces réserves. Notons qu'en date d'établissement du présent guide, l'usage des M.I.O.M. se développe cependant en région parisienne, avec satisfaction dans la mesure où il n'est pas signalé de désordres dans les chaussées construites à partir de M.I.O.M. traités.

*Des chantiers expérimentaux ont cependant été réalisés et font l'objet d'un suivi attentif.

Pour formuler de tels produits on s'appuiera sur la norme :

- * NF P98-114-1 Dec 1992 Assises de chaussées. Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques. Partie 1 : Graves traitées aux liants hydrauliques. Définition - Composition - Classification

Le traitement à froid des M.I.O.M par un liant hydrocarboné (émulsion, mousse de bitume) est une autre voie possible. Elle paraît plus intéressante dans la mesure où le liant incorporé participera à la liaison entre grains par le biais d'un simple collage (rigidification du bitume) et non pas par formation d'un réseau cristallin comme celui formé par l'hydratation d'un liant hydraulique.

Dans le cadre de cette orientation, le double traitement des MIOM par un liant hydraulique et un liant hydrocarboné est en cours d'expérimentation (Procédé FLEXOCIM). Cette démarche est organisée dans le cadre d'une charte innovation mise en place en 1998 par le SETRA.

6.4. AUTRES UTILISATIONS DES M.I.O.M.

Le remblayage des tranchées peut s'avérer un créneau intéressant en terme d'écoulement des MIOM. de catégorie »V«, mûrés et non traités. Des utilisations de ce type ont déjà eu lieu, cela sans problème particulier quant à la géométrie de la réfection de chaussée. La position de la nappe phréatique et en définitive la sensibilité environnementale seront des facteurs déterminants quant à l'utilisation.

7. ASPECTS PARTICULIERS

Les M.I.O.M., en raison de leur composition chimique, peuvent s'avérer agressifs vis à vis des ouvrages susceptibles d'être à leur contact.

7.1. OUVRAGES EN ACIER

On se reportera aux normes :

A 05-250, A 05-251 et A 05-252 : « Corrosion par les sols - Evaluation de la corrosivité »

- * A 05-250 : - Canalisations enterrées en matériaux ferreux non ou peu alliés,
- * A 05-251 : - Ouvrages en acier enterrés (palplanches et pieux),
- * A 05-252 : - Aciers galvanisés ou non mis en contact de matériaux naturels de remblai (sols).

On déterminera essentiellement, en appliquant les modes opératoires spécifiques :

- ◇ - la résistivité ($\Omega \cdot \text{cm}$),
- ◇ - l'activité en ions hydrogène (pH),
- ◇ - la teneur en sels solubles : (Chlorures et Sulfates),
- ◇ - la teneur en sulfures (Soufre total),
- ◇ - les matières organiques.

L'utilisation des M.I.O.M. au contact des aciers peut être gouvernée par les spécifications suivantes. Celles-ci ne concernent que les ouvrages « Hors d'eau » sachant qu'il est prohibé de mettre les M.I.O.M. en contact permanent avec la nappe phréatique

* - Résistivité	$\Rightarrow > 1000 \text{ ohm-centimètre } (\Omega \cdot \text{cm})$
* - pH	$\Rightarrow 5 < \text{pH} > 10$
* Teneur en sels solubles - Cl^- - SO_4^{2-}	$\Rightarrow \text{Cl}^- < 200 \text{ mg/kg}$ $\Rightarrow \text{SO}_4^{2-} < 1000 \text{ mg/kg}$
* - Teneur en sulfures (Soufre total)	$\Rightarrow < 300 \text{ mg/kg}$
* - Matières organiques * (Exprimées en carbone)	$\Rightarrow < 100 \text{ parties par million (p.p.m)}$

Nota : On retiendra que les M.I.O.M. s'avèrent particulièrement corrosifs vis à vis de l'acier, conduisant de fait à les soustraire de tout contact avec des canalisations d'adduction d'eau, des conduites de gaz, des buses métalliques, des armatures des remblais en terre armée...

7.2. OUVRAGES EN BETON

On se reportera à la norme :

P18-011 Juin 1992 « Bétons - Classification des environnements agressifs » qui définit, en fonction de sa teneur en sulfates, 4 degrés d'agressivité du milieu environnant vis à vis des bétons (de A1 à A4) comme indiqué ci-après :

.../...

Agressivité des sols en fonction de la teneur en SO_4^{2-}

Degré d'agressivité	A1	A2	A3	A4
*% SO ₄ ²⁻ dans le sol sec (extraction par Hcl à chaud)	0.24 - 0.6	0.6 - 1.2	1.2 - 2.4	> 2.4
*mg/l SO ₄ ²⁻ extrait du sol (Extraction par l'eau : rapport eau /sol = 2/1)	1200 à 2300	2300 à 3700	3700 à 6700	> 6700
*Niveau de protection du béton	1	2	2	3

Niveau de protection du béton / Définition des classes d'agressivité			
Environnement	Symbole	Mesures de protection	Niveau de protection
Faiblement agressif	A1	Pas de mesures particulières. Le béton fabriqué suivant les règles de l'art doit être compact pour ses qualités intrinsèques.	1
Moyennement agressif	A2	Adaptation de la composition et de la mise en oeuvre aux conditions du milieu (dosage en ciment, catégorie de ciment, E/C, cure, adjuvants).	2
Fortement agressif	A3	Adaptation de la composition et de la mise en oeuvre aux conditions du milieu avec action spécifique sur la nature et le dosage en ciment, le rapport E/C.	2
Très fortement agressif	A4	Nécessité d'une protection externe (enduits, peintures) ou interne (imprégnation) pouvant dans certains cas s'ajouter aux prescriptions du niveau 2.	3

Nota :

Les M.I.O.M. se situent généralement en catégorie A1, permettant ainsi de les utiliser en tant que matériau de remblai (hors nappe phréatique) dans le cadre de travaux d'assainissement avec pose de tuyaux en béton. Il est cependant nécessaire de vérifier régulièrement cet état de fait.

8. DEMARCHE QUALITE

8.1. ASPECT ENVIRONNEMENTAL

En préalable, il est rappelé que Le responsable de l'Installation de Maturation et d'Elaboration (IME) des MIOM ne peut proposer à l'emploi que des matériaux de catégorie "V" tels qu'ils sont définis dans la circulaire ministérielle du 9 mai 1994 et maturés au minimum durant 3 mois dans une IME.

Dans ce cadre, il doit, à tout moment, être en mesure de prouver cette qualité, par documents dûment renseignés et contrôlés par les services publics ayant droit de regard et légitimité pour autoriser l'usage des MIOM en terme de compatibilité vis à vis de l'environnement.

- Les informations inhérentes à cette obligation réglementaire devront figurer en tout premier chapitre sur la Fiche Technique Produit (FTP) du produit proposé.
- En terme de traçabilité, la date d'élaboration des MIOM (criblage, déferrailage, soufflage,) et le temps de maturation qu'ils auront subi après cette opération, devront également figurer sur la FTP .
- Un document définissant le mode de fonction de l'IME devra accompagner chaque FTP liée à une proposition de vente de MIOM.

8.2. ASPECT TECHNIQUE

Les normes ci-après définissent les essais nécessaires à la classification des MIOM :

- XP P18-540 Oct 97 : Granulats - Définitions, conformités, spécifications,
- NF P11-300 Sept 92 : Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

Le Plan d'Assurance Qualité du fournisseur devra reprendre l'ensemble des paramètres ci-après, tout en précisant les fréquences de leur obtention. Le tableau ci-dessous peut servir d'indicateur en la matière. Les valeurs obtenues permettront d'établir une Fiche Technique Produit - FTP - dont une proposition figure en page 21.

Paramètres	Norme	Fréquences d'essais	
		Minimale	maximale
Teneur en eau naturelle*	NF P94-050	1 par jour	1 par 50 t
Analyse granulométrique	NF P94-056	1 par jour	1 par 200 t
Equivalent de sable - ES -	NF P18-598	1 par mois	1 par semaine
Propreté - PS -	NF P18-597	1 par mois	1 par semaine
Valeur de bleu Sol	NF P94-068	1 par mois	1 par mois
Los Angeles** - LA -	NF P18-573	2 par an	1 par 2500 t
Micro Deval en présence d'eau** - MDE -	NF P18-572	2 par an	1 par 2500 t
Friabilité des sables*** - FS -	NF P18-576	2 par an	1 par 2500 t
Détermination des caractéristiques de compactage d'un sol	NF P94-093	1 par semaine	1 par 1500 t ^(****)
Indice portant I immédiat et après immersion	NF P94-078	1 par jour	1 par 1500 t ^(****)

* : Température limitée à 50 °C

** : Sur les fractions 4/6, 6/10 et 10/14 mm

*** : Sur les fractions 0,2/2 ou 0,2/4 mm

**** : Cette fréquence devrait permettre d'établir "une moyenne de fonctionnement" des MIOM en ce domaine et d'apprécier leur variabilité

9. REFERENCES D'EMPLOI

Maître d'Ouvrage	Maître d'Oeuvre	Localité	Année	Emploi	Tonnage
Conseil général du Nord	DDE du Nord	LILLE Rocade Nord-Ouest	1994	Couche de Forme	83 000
Ministère de l'Équipement	DDE du Nord	LILLE Bd Périphérique Est	1996	Couche de Forme	60 000
Communauté Urbaine de Lille	CUDL Grands Travaux	LEERS-WATTRELOS	1997 1998	Couche de Forme	82 000
Communauté Urbaine de Lille	DDE du Nord	Echangeur de FACHES-THUMESNIL	1997	Couche de Forme	15 000
Ministère de l'Équipement	DDE du Nord	LILLE Voie Rapide Urbaine 5 bis	1998	Couche de fondation traitée (Flexocim)	2 000
Chambre de Commerce	DDE du Nord	Parking Aéroport de LESQUIN	1999	Couche de Forme	2 000
Conseil général du Nord	DDE du Nord	SAINGHIN en MELANTOIS RD 19	1999	Couche de Forme	6 000
Conseil général du Nord	Conseil général du Nord	AVELIN RD 549	1999	Couche de Forme	10 000

Pour mémoire, de 1993 à 1998, année de fermeture des trois UIOM de la CUDL, 850 000 tonnes de mâchefer ont été utilisées en couche de forme sur différents chantiers de la Métropole lilloise, dont les plus significatifs sont repris dans le tableau ci-dessus.

MACHEFERS D'INCINERATION D'ORDURES MENAGERES - M.I.O.M.

FICHE TECHNIQUE PRODUIT n°

- ◇ PRODUCTEUR : Sté
- ◇ INSTALLATION DE MATURATION ET D'ELABORATION DE : (situation géographique)
- ◇ ELABORATION : Criblage, Elimination des ferreux, des non ferreux, des imbrûlés
- ◇ DUREE DE MATURATION : 3 mois minimum
- * CIRCULAIRE DU MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT DU 9 MAI 1994 : CATEGORIE «V»
- * NORME : XP P18540 :
- * NORME : NF P11-300 :CLASSE F61, ASSIMILABLE A LA CLASSE D21 - B31
- * NORME : NF P 98-129 : ASSIMILABLE A UNE GRAVE DE TYPE A (GNT A)

CIRCULAIRE DU MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT DU 9 MAI 1994									
	IMBRULES	FRACTION SOLUBLE	Hg	Pb	Cd	As	Cr ⁶	SULFATES	COT
	%		mg/kg						
VALEURS LIMITES ABSOLUES	< 5	< 5	< 0,2	< 10	< 1	< 2	< 1,5	< 10 000	< 1 500
MAXIMUM									
MINIMUM									
MOYENNE									
NOMBRE DE VALEURS									

RESULTATS FOURNISSEUR POUR LA PERIODE

DU

AU

PARTIE NORMATIVE XP P 18-540 & NF P 11-300														
UNITE		%	%	%	%	%	Wnat	PS	ES	VBS	LA	MDE	LA+MDE	FS
		2 D	1.58D	D		d	%	/	/	/	/	/	/	/
OUVERTURE TAMIS en mm														
VALEURS SPECIFIEES	Vss													
	Vsi													
VALEURS LIMITES ABSOLUES	Maxi													
XU	Min													

PARTIE INFORMATIVE														
		2D	1.58D	D		d	H ₂ O	PS	ES	VBS	LA	MDE	LA+MDE	FS
OUVERTURE TAMIS en cm		40	31.5	20		0.08								
MAXIMUM														
XF + 1.25 SF														
MOYENNE XF														
XF - 1.25 SF														
MINIMUM														
ECART TYPE SF														
NOMBRE DE VALEURS														

RESULTATS FOURNISSEUR POUR LA PERIODE

DU

AU

FUSEAU DES COURBES GRANULOMETRIQUES DES M.I.O.M

PROCTOR NORMAL à W%
Nat

rd	W%	rh	IPI
tm/3	(nat)	tm/3	(W% Nat)

MAXIMUM
XF + 1.25 SF
MOYENNE XF
XF - 1.25 SF
MINIMUM
ECART TYPE SF



NOMBRE DE VALEURS				
-------------------	--	--	--	--

LE

VISA DU RESPONSABLE QUALITE

Guide technique régional relatif à la valorisation des

SABLES DE FONDERIE





Guide technique régional relatif à la valorisation des

LES SABLES DE FONDERIE

SOMMAIRE

1. GENERALITES.....	3
2. NATURE DES SABLES DE FONDERIE.....	4
3. PREPARATION DES SABLES DE FONDERIE.....	4
3.1 LES LIANTS MINERAUX	4
3.2 LES LIANTS ORGANIQUES	5
3.3 LES ADJUVANTS	5
4. RECYCLAGE DES SABLES DE FONDERIE.....	5
4.1 LA RECUPERATION PAR VOIE HUMIDE	5
4.2 LA RECUPERATION PAR VOIE SECHE	5
4.3 LA RECUPERATION PAR VOIE THERMIQUE	5
4.4 QUANTITES RECYCLEES	6
5. STATUT REGLEMENTAIRE DES SABLES DE FONDERIE VIS A VIS DE L'ENVIRONNEMENT.....	8
6. IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE DES SABLES.....	9
6.1 DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE	9
6.2 ARGILOSITE	9
6.3 CLASSIFICATION GEOTECHNIQUE	10

7. LES SABLES DE FONDERIE EN TERRASSEMENTS.....	10
7.1 COMPACTAGE ET PORTANCE DES SABLES DE FONDERIE	10
7.2 CONSTRUCTION DE REMBLAIS	11
7.3 UTILISATION EN COUCHE DE FORME DE CHAUSSEES	12
7.4 UTILISATION EN VRD	12
8. UTILISATION DES SABLES DE FONDERIE EN CONSTRUCTION ROUTIERE	13
8.1 CLASSIFICATION DES SABLES	13
8.2 UTILISATION EN ASSISES DE CHAUSSEES	14
8.3 UTILISATION EN COUCHE DE ROULEMENT	14
9. LES SABLES DE FONDERIE DANS LES BETONS.....	14
10. PERSPECTIVES	15
11. ASSURANCE QUALITE.....	15
11.1 ASPECT ENVIRONNEMENTAL	15
11.2 ASPECT "QUALITE DU MATERIAU"	15
11.2.1 Orientation "terrassements"	15
11.2.2 Orientation "assises de chaussées" et "bétons"	16

LES SABLES DE FONDERIE

1. GENERALITES

Schématiquement, l'industrie de la fonderie comprend deux grandes voies :

- Le moulage sous pression dans des moules métalliques. Il s'adresse principalement aux fabrications de grandes séries de pièces, généralement en alliage d'aluminium.
- Le coulage en moule perdu. Il concerne tout type de métal (fontes, aciers alliés, alliages d'aluminium, bronze, ...)

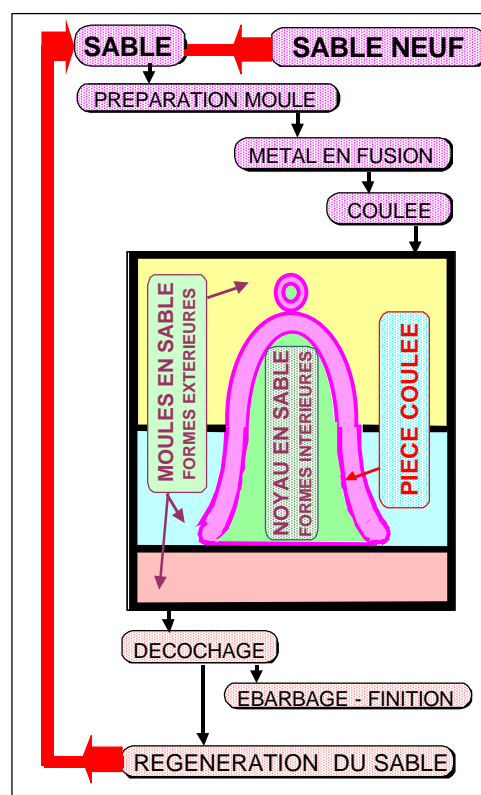
Comme schématisé ci-contre, dans cette seconde voie, l'empreinte de la pièce est constituée avec du sable, à partir d'un :

- Modèle, pour la forme extérieure
- Noyau, pour la constitution des parties creuses

Après coulée et refroidissement du métal, viennent dans l'ordre :

- * Le décochage : Destruction du moule pour récupération de la pièce.
- * L'ébarbage : la pièce est débarrassée des « jets de coulée » des « évents » et des « bavures » métalliques qui se sont fixées dessus durant la coulée.

Le sable récupéré après décochage, dit sable brûlé, provenant à la fois des moules et des noyaux, subit généralement un traitement pour homogénéisation et réduction des blocs, indurés, qui se sont formés au contact direct avec le métal en fusion. Dans cette phase les parties métalliques résiduelles sont également éliminées.

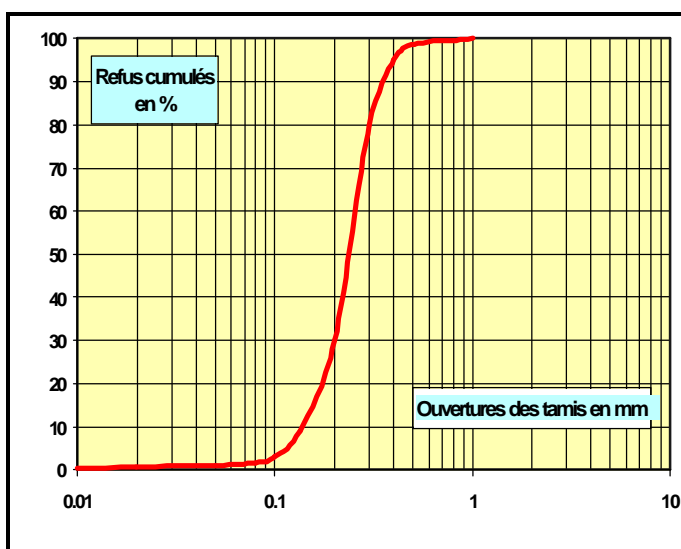


Le sable régénéré de la sorte, 80 à 90% du volume concerné, complété par un sable « propre », est de nouveau apte, moyennant une préparation spécifique, à la confection des moules et des noyaux.

- * Le présent guide technique cible les sables résiduels ne pouvant pas être réaffectés à l'activité « Fonderie ».

2. NATURE DES SABLES DE FONDERIE

Pour des raisons propres à la technique de la fonderie (maniabilité des sables, perméabilité de ceux-ci vis à vis des gaz qui se forment au contact du métal en fusion, aspect final de la pièce coulée, ...), il est recherché pour la constitution des moules et noyaux des sables siliceux, très propres (pas de présence d'argile*), aux grains arrondis et d'une dimension s'établissant pour leur majorité entre 0,1 et 1 mm. Ce sont des sables homogométriques de type Fontainebleau (voir ci-contre).



* Il est préféré, si de l'argile est nécessaire à

la cohésion du sable, de l'ajouter, en quantité maîtrisée, dans un sable qui en est totalement dépourvu au départ.

3. PREPARATION DES SABLES DE FONDERIE

Différents composants sont incorporés aux sables afin de leur conférer la cohésion et la tenue dans le temps des formes imprimées par les modèles et les boîtes à noyaux.

On distingue deux grandes familles :

3.1 LES LIANTS MINERAUX

p L'argile

Elle est probablement la plus utilisée. Introduite à raison de 5 à 10%, elle confère au sable, après humidification, la plasticité et la cohésion nécessaires pour ce qui est appelé le "Moulage à vert". Les sables traités de la sorte sont surtout utilisés pour la confection des moules (formes extérieures).

p Le silicate de soude.

Le mélange sable-silicate, plutôt utilisé pour la fabrication de grandes séries, peut subir des traitements complémentaires comme :

- * une injection de gaz carbonique qui provoque un durcissement très rapide du sable.
- * une incorporation de laitier de haut-fourneau ou, plus récemment, d'esters organiques. La vitesse de durcissement est plus lente que précédemment.

* Les sables au silicate de soude sont employés tant pour la confection des moules que des noyaux.

p Le ciment.

Le mélange sable-ciment est essentiellement employé pour la confection de moules de grandes dimensions. Le durcissement du mélange, lent, peut être accéléré par des adjuvants appropriés.

3.2 LES LIANTS ORGANIQUES

D'une manière générale, ces liants sont utilisés sous des dosages faibles avoisinant les 2%.

On y trouve :

p Les résines thermo-durcissables (Résines urée-formol, phénol-formol, urée-formol-phénol,...). La polymérisation de ces résines nécessite la présence d'un catalyseur, généralement acide, et une température de 200 à 300°C.

Ces sables sont utilisés à la fois pour la confection des moules et noyaux.

p Les résines polymérisant à froid (Résines furanniques, polyuréthane,...). On les emploie exclusivement pour la fabrication des noyaux.

3.3 LES ADJUVANTS

Pour favoriser le démoulage et le décochage sont ajoutés, notamment dans les "moules à vert", un certain nombre de produits qui, pour la plupart, se décomposeront au contact du métal liquide. Citons les huiles minérales, le sucre (sous forme de dextrose), le noir minéral, la farine de bois,....

4. RECYCLAGE DES SABLES DE FONDERIE

La conjugaison des coûts d'achat des sables neufs, de leur transport et de l'importance du tonnage nécessaire à la confection des moules et noyaux, de 7 à 10 fois le volume des pièces produites, justifie pleinement la régénération des sables récupérés après décochage. Plusieurs méthodes sont utilisées :

4.1 LA RECUPERATION PAR VOIE HUMIDE

Elle s'adresse aux sables à l'argile et les sables au silicate de soude. Elle présente l'intérêt de ne pas dégager de poussières durant la phase de recyclage. Toutefois, la contrainte, importante, d'épurer les eaux de lavage avant leur rejet dans le milieu naturel ou avant réutilisation aux mêmes fins fait que ce procédé est peu employé.

4.2 LA RECUPERATION PAR VOIE SECHE

De loin la plus répandue en raison de sa relative facilité de mise en œuvre et de son coût modéré, comparé à celui des autres procédés, la récupération par voie sèche permet de recycler la quasi totalité des sables de fonderie (moules et noyaux). Elle consiste à cribler les sables pour élimination des indésirables, notamment les parties métalliques et, en parallèle, de réduire les blocs de sable par une action mécanique (grenailage, broyage, ...).

4.3 LA RECUPERATION PAR VOIE THERMIQUE

Les sables traités aux résines (généralement les sables à noyaux) ne peuvent pas toujours être convenablement traités par voie sèche, tout au moins pour les destiner aux mêmes utilisations. La régénération consiste ici à détruire par calcination la pellicule de résine polymérisée qui couvre les grains de sable. L'autocombustion et la dégradation des résines sont atteintes après un chauffage à 800°C.

Les montants importants liés à la fois à l'investissement et au coût de fonctionnement de l'installation font que ce procédé est peu répandu.

Nota : "La Française de Mécanique" à Douvrin, compte tenu de l'importance de sa fonderie, dispose d'une installation de ce type. Les sables traités de la sorte ne contiennent quasiment plus de phénols et autres composés chimiques. En tout point comparable sur le plan physique aux sables siliceux "neufs", ils sont réutilisés sur place dans la filière des sables au silicate de soude.

4.4 QUANTITES RECYCLEES

Le potentiel de recyclage des sables de fonderie peut être affiché comme suit :

Ä Sable à l'argile :	≈ 98%
Ä Sables au silicate de soude :	≈ 60%
Ä Sable au ciment :	≈ 50%
Ä Sable à la résine :	≈ 70%

Ces valeurs, moyennes, peuvent cependant varier d'une manière importante en fonction de la situation géographique de la fonderie, de la technique de moulage et du volume de production de pièces marchandes.

Par ailleurs, les sables régénérés ne peuvent pas être employés seuls mais associés, par mélange, à des sables neufs, dans les proportions indicatives suivantes :

Ä Sable à l'argiles :	60% recyclé	+	40% neuf
Ä Sable au silicate de soude :	50%	"	+ 50% "
Ä Sables au ciment :	75%	"	+ 25% "
Ä Sable à la résine :	50%	"	+ 50% "

* Au final les sables de fonderie ne sont pas régénérés dans leur totalité.

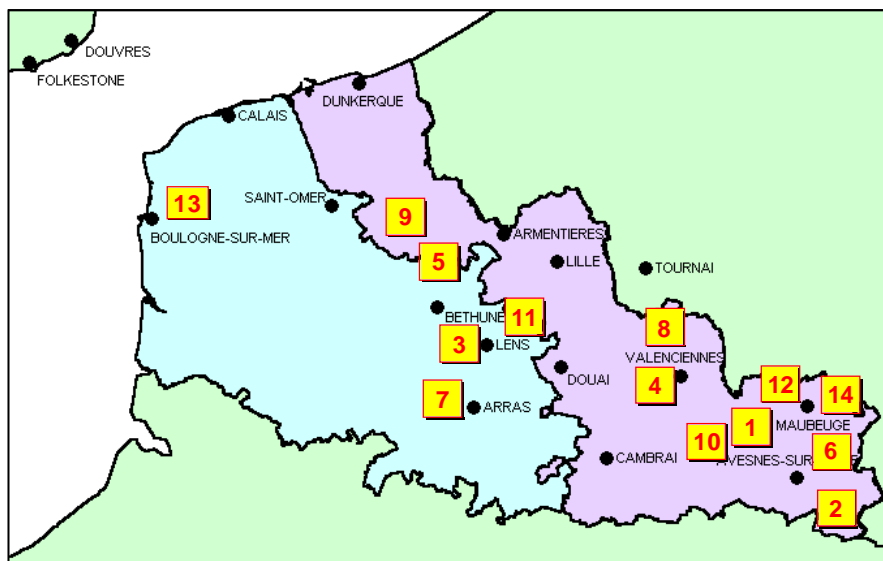
A) Dans la région Nord Pas de Calais, le tonnage annuel de sables non recyclés vers la fonderie peut être estimé 140 à 150 000 t.

Sur ce tonnage, relativement important, moins de la moitié est utilisée dans les travaux publics. Le reste est stocké en interne sur le site de la fonderie ou mis en décharge de classes I ou II selon leur taux de phénols, conformément à l'article III (Sable non brûlé), IV et V (Sable brûlé) de l'arrêté du 16/07/1991 (JO du 2 octobre 1991).

B) Cette faible utilisation dans le BTP trouve son explication dans la dispersion géographique (voir ci-après) et une taille modeste de la plupart des fonderies.

Pour la plupart, à titre individuel, elles ne produisent pas une quantité de sable suffisante conduisant à une source pérenne d'approvisionnement de matériaux destinés au BTP.

"La Française de Mécanique" élimine annuellement, par le biais de deux sous-traitants, 40000 t environ de sables au silicate et 11000t de sables à vert. Quelques autre produits associés à l'activité de la fonderie sont également éliminés (poussières provenant des fumées, résidus des poches de coulée, ...)



Selon le document de la DRIRE Nord Pas de Calais, "

L'Industrie au Regard de l'Environnement en 1999",

14 fonderies sont recensées dans la Région. Elles se répartissent comme suit.

REPÈRE	ÉTABLISSEMENTS	COMMUNES	TONNAGES DE SABLE REJETÉS EN 1999
1	ACIERIE FONDERIE HAUTE SAMBRE	BERLAIMONT	16 365
2	ACIERIES ET FORGES D'ANOR	ANOR	/
3	CHEMINÉES PHILIPPE	LIEVIN	6 870
4	FONDERIE ET ACIERIE DE DENAIN	DENAIN	6 257
5	FONDERIE FRANCO-BELGE	MERVILLE	5 593
6	FONDERIE RICHARD	SARS POTERIES	1 097
7	FONDERIES DE LA SCARPE	ST LAURENT BLANGY	614
8	FONDERIES DE MARLY	MARLY	2 700
9	FONDERIES DU NORD STE NELLE	HAZEBROUCK	6 340
10	FORCAST	BERLAIMONT	9 713
11	FRANÇAISE DE MECANIQUE	DOUVRIIN	74 273
12	MANOIR INDUSTRIE SAMBRE ET MEUSE	FEIGNIES	27 174
13	MANOIR INDUSTRIES	OUTREAU	15 469
14	MIROUX	FERRIERE LA GRANDE	1 017

* Quatre fonderies se détachent en terme de quantités disponibles : Dans l'ordre décroissant, les n° 11 , 12, 1 et 13. Elles, seules, permettent d'envisager une utilisation pérennisée des sables

è Au regard des investissements qu'elle requiert et des quantités impliquées par les TP, la valorisation "industrielle" des sables de fonderie nécessite en définitive leur regroupement en un point unique afin de constituer une masse critique minimale constante.

En découle la nécessité de les transporter vers ce lieu ce qui bien souvent s'avère économiquement rédhitoire.

Un cas particulier cependant : La plate-forme d'ESCAUPONT de la Sté Hekett-Multiserv (près de Valenciennes), seul cas d'espèce dans la région. Y sont regroupés (au moment de la rédaction du présent guide), en vue de leur réemploi vers les travaux de VRD, essentiellement des sables provenant des "Cheminées PHILIPPE" à Liévin, des "Fonderies et aciéries de Denain", des usines "CITROEN" à Charleville,...

- C) Une "non gestion", par le passé, des stocks de sables sur lesquels étaient également déversés tous les autres déchets générés par l'activité de la fonderie (ferailles, pneumatiques, chiffons, cartons,...). Cette pratique nourrissait l'idée que les sables de fonderie étaient impropres à toute utilisation dans le BTP et plus généralement tout autre industrie . Soulignons que cette situation s'est normalisée depuis, en ce sens que les déchets sont gérés et stockés par types ou familles facilitant ainsi leur valorisation à d'autres fins.
- D) Une concurrence des matériaux naturels de construction, reconnus par leur sécurité d'emploi et leur facilité d'approvisionnement lorsque des grandes quantités, en un délai court, sont exigées.

5. STATUT REGLEMENTAIRE DES SABLES DE FONDERIE VIS A VIS DE L'ENVIRONNEMENT

L'Arrêté ministériel du 16 juillet 1991 relatif à l'élimination des sables de fonderie contenant des liants organiques de synthèse - JO du 2 Octobre 1991" précise les règles en matière d'élimination et de valorisation des sables de fonderie.

- * Si leur teneur en phénols excède 50 milligrammes par kilogramme de matière sèche, ils doivent être déposés en C.E.T. de classe I . En dessous de ce seuil, ils peuvent être acceptés dans un C.E.T. de classe II .
- * Cet arrêté permet cependant une valorisation des sables de fonderie contenant des liants organiques de synthèse, peuvent être valorisés dans certains usages industriels :

1° Remblais :

Sans préjudice de spécifications particulières, les sables de fonderie peuvent être utilisés comme remblais si leur teneur en phénols est inférieure à 1 milligramme par kilogramme de sable rapporté à la matière sèche (mesures réalisées sur le lixiviat).

L'utilisation de tels sables est cependant interdite pour le remblaiement de carrières et d'excavations lorsque des interactions avec les eaux souterraines sont possibles..

2° Fabrication de produits à base de liants hydrauliques :

Les sables de fonderie peuvent être utilisés pour la fabrication de produits à base de liants hydrauliques si leur teneur en phénols est inférieure à 5 milligrammes par kilogramme de sable rapporté à la matière sèche (mesures réalisées sur le lixiviat)

3° : Procédés aptes à détruire les liants organiques :

Les sables contenant des liants organiques et cela quelle que soit leur teneur en phénols peuvent être valorisés dans des procédés aptes à détruire les liants organiques (tuileries, briqueteries, cimenteries)¹ sous réserve que les installations corres-

¹ L'apport de sable de fonderie dans ces filières de fabrication permet de corriger ou de mieux maîtriser le rapport alumine-silice

pondantes bénéficient des autorisations nécessaires au titre de la législation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.

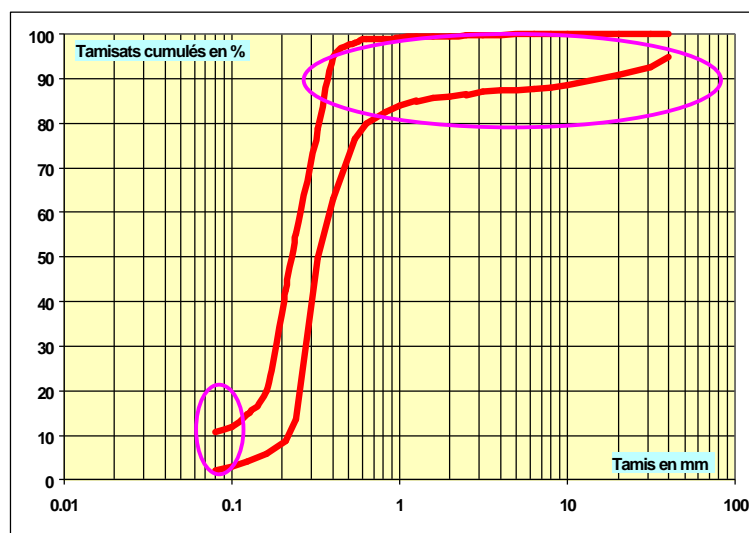
± ±
±

* Les sables de fonderie font partie des résidus de procédés thermiques sur lesquels des essais sont en cours dans le cadre de la préparation de la nouvelle réglementation sur la valorisation de ces résidus. Il faut donc s'attendre à une évolution des dispositions applicables en matière de valorisation des sables de fonderie.

6. IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE DES SABLES

6.1 DISTRIBUTION GRANULOMETRIQUE

Par rapport aux sables "neufs",



ρ les sables "usés" présenteront un haut de courbe plus développé, indicateur de la présence d'éléments de sables agglomérés provenant des boites à noyaux et de quelques autres éléments non éliminés lors du processus de régénération .

ρ les sables à l'argile, en partie basse de leur distribution granulaire, présenteront un taux d'éléments fins en augmentation et correspondant,

approximativement, au taux d'argile incorporée dans le sable au moment de sa préparation.

6.2 ARGILOSITE

Pouvant être considérés comme totalement siliceux au départ, les sables de fonderie verront leur argilosité varier en fonction de leur orientation future : Sables à l'argile, sables au silicate, sables aux liants organiques.

6.3 CLASSIFICATION GEOTECHNIQUE

Elle se fait selon les propositions de la norme NF P11-300 de Septembre 1992
 « Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières »

Classés d'une manière générique "F9" par la norme, les sables de fonderie peuvent être assimilés, en terme de comportement aux classes des matériaux naturels suivantes, sous réserve cependant de vérification au cas par cas :

- Ä Sable à l'argile : Classe B2⁽²⁾ à B5⁽⁴⁾
- Ä Sable au silicate : Classe B1⁽¹⁾ à D1⁽³⁾
- Ä Sables aux liants organiques de synthèse : Classe B1⁽¹⁾ à D1⁽³⁾

NOTA :

Les sables valorisés sur la plate-forme d'Escautpont échappent à cette classification Des cendres de foyer de centrales sont incorporées conduisant à un matériau de classe B5⁽⁴⁾.

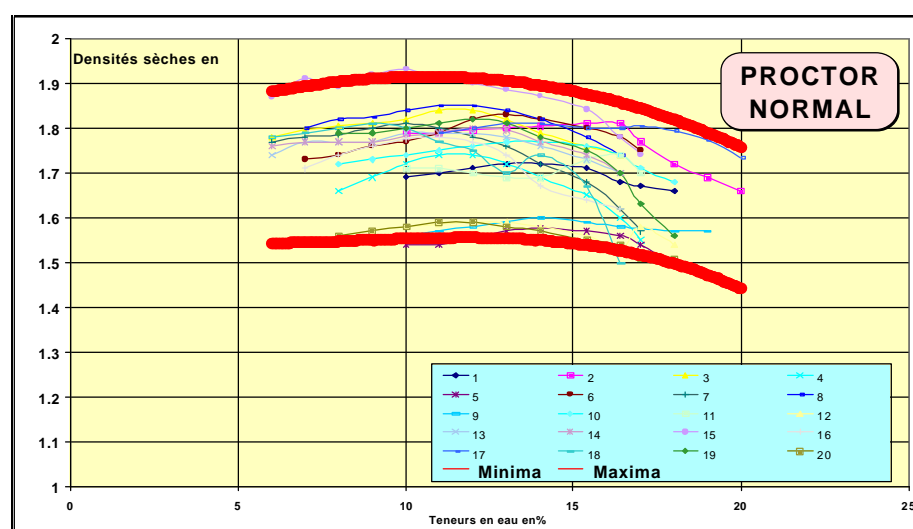
- 1) B1 : D max ≤ 50 mm - Tamisat à 80µm ≤ 12% - Tamisat à 2 mm >70% - 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2 ou ES > 35
- 2) B2 : D max ≤ 50 mm - Tamisat à 80µm ≤ 12% - Tamisat à 2 mm >70% - VBS > 0,2 ou ES ≤ 35
- 3) D1 : D max ≤ 50 mm - Tamisat à 80µm ≤ 12% - Tamisat à 2 mm >70% - VBS ≤ 0,1
- 4) B5 : D max ≤ 50 mm - Tamisat à 80µm compris entre 12 et 35% - VBS ≤ 1,5 ou Ip ≤ 12

7. LES SABLES DE FONDERIE EN TERRASSEMENTS

Il est rappelé que conformément à l'arrêté du 16/07/91, les sables de fonderie entrant dans la confection d'ouvrages en terre (matériau en l'état sans incorporation de liant) ne doivent pas dépasser le taux maximum de 1 mg de phénols par kg de matière sèche.

7.1 COMPACTAGE ET PORTANCE DES SABLES DE FONDERIE

p Les courbes de compactage Proctor normal des sables s'avèrent généralement plutôt



plates (Voir ci-contre la compilation de quelques courbes obtenues sur des sables de fonderie de provenances diverses).

Elles illustrent de la sorte le peu de dépendance du matériau vis à vis de l'eau lors de sa

densification. En confirmation, vers les niveaux hydriques élevés, apparaissent bien souvent des phénomènes d'exsudation.

Ils sont symptomatiques des matériaux insensibles à l'eau tels qu'ils sont définis dans le guide technique « Réalisation des remblais et des couches de forme » édité par le LCPC / SETRA. Cette caractéristique, très recherchée lors des travaux de terrassements, s'adresse cependant préférentiellement aux sables traités au silicate de soude. Elle se dégrade pour les sables à vert, ceci en proportion directe du taux d'argile qu'ils contiennent.

- * L'origine des matériaux et en définitive leur préparation initiale (sables à l'argile, sables au silicate) et leur gestion ultérieure (mélange éventuel avec d'autres matériaux) conduisent à des variations importantes en terme de "Référence de compactage" (voir ci-dessus). Il importe donc, avant tout chantier important, d'identifier, autant que faire se peut, des lots de même provenance afin de bien situer leurs caractéristiques de mise en œuvre.
- * La portance des sables de fonderie s'apparente à celle des sables fins et sablons. Difficilement traficables à l'état sec, ils deviennent impraticables à l'état saturé. Aux deux bornes de la plage des teneurs en eau, les engins de TP poinçonnent et s'enlisent dans la couche en cours de mise en œuvre. Il convient donc de maintenir une teneur en eau suffisante permettant à la fois une bonne traficabilité et une bonne compactabilité.

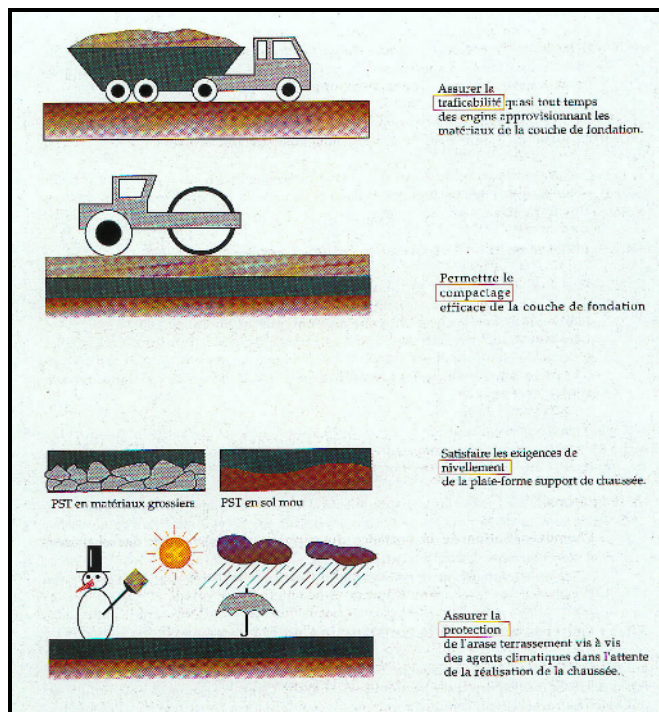
7.2 CONSTRUCTION DE REMBLAIS

Les sables de fonderie peuvent être utilisés pour la construction de remblais routiers, sans réserve pour la hauteur finale de l'ouvrage.

- â L'angle de frottement interne des sables se situant entre 32 et 35°, les talus devront s'inscrire sous des pentes de $\frac{1}{2}$ (1 de haut pour 2 de base) pour que leur stabilité soit assurée.
- â Toutes les précautions d'usage devront être prises sur le chantier pour maintenir la teneur en eau du matériau dans un créneau permettant une mise en œuvre optimale (voir § 7.1).
- â Les sables de fonderie sont extrêmement érodables. En conséquence, le chantier devra être conduit de telle sorte que tout ruissellement canalisé sur les pentes soit impossible, sous peine d'y voir apparaître des désordres importants, toujours difficile à réduire par la suite.
La protection des pentes par placage de terre végétale et engazonnement devra être envisagée dans les plus brefs délais dès l'ouvrage terminé.
- â En zone inondable, toujours pour des raisons d'érodabilité, les sables de fonderie devront être situés "hors eau". La partie de remblai constituée par ces derniers devra reposer sur un matériau plutôt ouvert de type D31 ou D32, résistant bien à l'imbibition et aux effets mécaniques occasionnés par les circulations d'eau (entraînement de matière).

.../...

7.3 UTILISATION EN COUCHE DE FORME DE CHAUSSEES



LES ATTENDUS, tels qu'ils sont définis dans le Guide Technique SETRA-LCPC de 1992 relatif à la "Construction des remblais et des couches de forme" (voir ci-contre)

font que les sables de fonderie, en raison de leur érodabilité en présence d'eau

à ne peuvent pas être utilisés en l'état pour la construction des couches de forme de chaussées.

Il convient pour un tel usage de les traiter au moyen d'un liant hydraulique.

Cette orientation implique en préalable une connaissance des niveaux de

résistance susceptibles d'être obtenus, avec, de plus, un indicateur sur la variabilité de ceux-ci dans la mesure où ils seront directement dépendants de la nature et en définitive de l'origine des sables.

â Les résistances mécaniques découlants d'un traitement avec un liant hydraulique, pour qu'elles soient bien maîtrisées, impliquent une relative constance concernant la nature et l'état du sable incriminé.

7.4 UTILISATION EN VRD

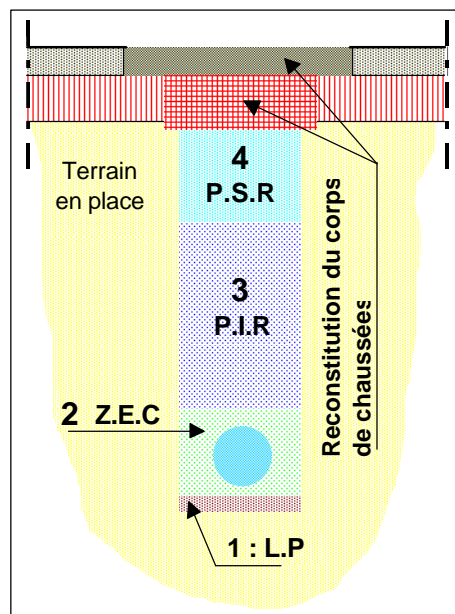
Le Guide technique SETRA-LCPC de 1994 "Remblayage des tranchées et réfection des chaussées" divise en 4 parties le remblai de tranchée proprement dit (Voir ci-contre) :

1. Le lit de pose (L.P.)
2. La zone d'Enrobage de la Canalisation (Z.E.C.).
3. La partie Inférieure de Remblai (P.I.R.)
4. la Partie Supérieure de Remblai (P.S.R.)

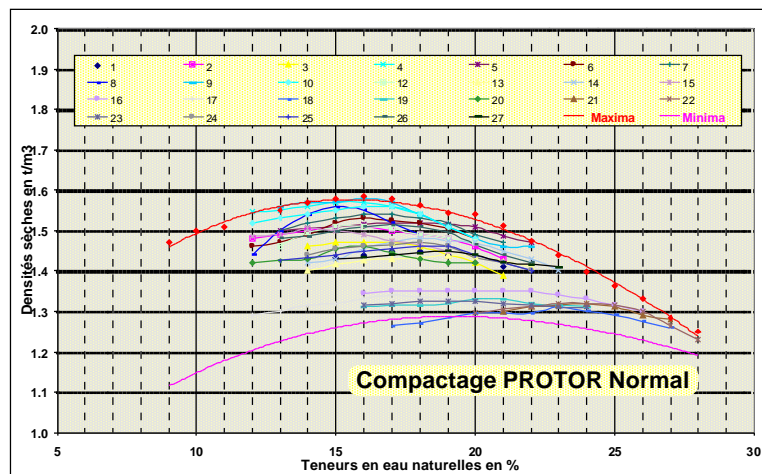
* Le niveau 4 - P.I.R. - supporte directement la réfection de chaussée. A ce titre, faisant fonction de couche de forme de chaussées, il doit en présenter toutes les caractéristiques.

En découle que les sables de fonderie ne peuvent être utilisés en l'état que pour la construction des niveaux 1, 2 et 3.

* Le niveau 4 requiert un traitement particulier (aux liants hydrauliques par exemple).



La plate-forme d'Escautpont propose un "mélange" de Sables de fonderie (voir les origines en § 4) et de cendres de foyer de centrales thermiques.



Sur un suivi d'un peu plus de deux ans, à raison d'une mesure mensuelle, les caractéristiques géotechniques principales s'établissent comme suit (environ 3 valeurs) :

	Moy	Maxi	Mini	E.T
% £ 80 µm	15.7	21.5	7.5	3.07
VBS	1.33	2.00	0.48	0.31
r d OPN	1.48	1.72	1.31	0.10
W% OPN	17.4	24.2	12.8	2.79
W% nat	12.3	17.8	7.2	2.66

Ces matériaux qui présentent une relative variabilité en terme de caractéristiques géotechniques relèvent le plus souvent de la classe B5, telle qu'elle est définie dans la norme NF P11-300.

Ils devront être mis en œuvre et compactés selon les modalités définies dans le guide technique de 1994 "Remblayage des tranchées et de réfection des chaussées" édité par le LCPC / SETRA (Croisement entre la nature et l'état hydrique du matériau avec l'objectif de densification et la classification du compacteur utilisé)

- * Depuis peu, sur cette même plate-forme d'Escautpont, les sables sont utilisés également pour la fabrication de Produits Autocompactants" (Voir note d'information n° 78 du CERTU pour plus d'informations sur ces produits).
Visqueux à liquides, contenant du ciment, plus quelques additifs, ces matériaux se mettent en place dans la tranchée sans compactage. C'est probablement là leur principal intérêt. Faisant prise à terme rapproché, ils peuvent être utilisés jusqu'au niveau 4 inclus précédemment cité.

8. UTILISATION DES SABLES DE FONDERIE EN CONSTRUCTION ROUTIERE

Il est rappelé que conformément à l'arrêté du 16/07/91, les sables de fonderie entrant dans la confection de produits routiers appelés à développer des prises ne doivent pas dépasser le taux maximum de 5 mg de phénols par kg de matière sèche.

Par ailleurs leur dépôt/transit sur une aire de fabrication spécialisée relève, sur le plan du principe, de la législation concernant les installations classées. L'implantation de ces dernières est donc soumise à autorisation préfectorale (Loi du 19/07/76 et Décret d'application du 21/09/77).

8.1 CLASSIFICATION DES SABLES

Au titre de la norme XP P18-540, les sables propres de fonderie peuvent généralement être classés "a", article 7 ou 8. L'introduction d'argile au niveau de leur préparation peut cependant faire varier dans de grandes proportions leur propreté, traduite par PS (P 18-597 - Détermination de la propreté des sables) ou VB (933-9 Essai au bleu de méthylène).

8.2 UTILISATION EN ASSISES DE CHAUSSEES

Il n'y a pas d'inconvénients à utiliser les sables de fonderie pour la confection de produits routiers à base de liants hydrauliques. Il est nécessaire cependant de s'assurer que la présence de produits organiques de synthèses n'inhibent pas les prises.

La régularité des sables (granularité, argilosité,...) devient importante dans le cadre de cette orientation. Toute variation notable en la matière aura une incidence directe sur les performances du produit fini.

Cet impératif de régularité du sable de fonderie implique en amont une gestion rigoureuse de ceux-ci. L'établissement d'une "Fiche Technique Produit - FTP" devient quasi obligatoire ou pour le moins souhaitable. De plus, il importe de bien maîtriser les quantités afin de satisfaire une demande qui peut s'avérer soutenue en certaines occasions.

Les sables de fonderie peuvent être utilisés dans le domaine de l'assise de chaussées en tant que :

- Correcteur granulométrique dans le cadre de la fabrication de "Graves traitées" selon NF P98-114- 1
- Constituant unique ou principal dans le cadre de la fabrication de "Sables traités" selon NF P 98-114-2

La détermination des caractéristiques physico-mécaniques de ces produits se fera selon les processus décrits dans ces normes.

Nota Les sables de "La Française de Mécanique" sont en partie utilisés à ces fins dans une grave^(*) 0/20 mm à base de gravillons provenant du recyclage des bétons de démolition d'une part et dans une grave^(*) 0/15 mm à base de gravillons de schistes miniers rouges.
 (*) Grave mixte : Laitier granulé de HF- Cendres volantes silico-alumineuses.

8.3 UTILISATION EN COUCHE DE ROULEMENT

Les sables de fonderie ne pourraient intervenir qu'en proportion très modeste dans la confection des produits à base de liants hydrocarbonés : en tant que correcteur granulaire.

La présence d'argile, de produits organiques de synthèse, et d'éléments grossiers pouvant atteindre les 20 mm voire les dépasser, font que cette orientation reste pour l'instant très marginale. Là, plus que précédemment encore, la maîtrise de la qualité du sable utilisé est prépondérante.

9. LES SABLES DE FONDERIE DANS LES BETONS

Des études de faisabilité visant à introduire des sables de fonderie dans les bétons ont été entreprises tant par l'Université que par d'autres organismes publics ou privés. Elles concluent toutes à la pertinence de la démarche dans la mesure où les caractéristiques mécaniques ne sont pas, ou peu, affectées par cet ajout. Reste cependant toujours en suspend la régularité qualitative du sable, la pérennisation de son approvisionnement et le coût de son transport.

La présence d'éléments métalliques, non éliminés lors de la génération, peut également poser d'éventuels problèmes de parement.

Des sables au silicate de soude, de granularité a priori constante, pourraient trouver un débouché et une plus value intéressante dans cette filière. Elle reste cependant à organiser.

10. PERSPECTIVES

Dans les perspectives d'utilisations des sables de fonderie citons :

- p La fabrication de verre et de laine de verre. La teneur en phénols est ici peu importante dans la mesure où les sables subiront un processus thermique qui dégradera la quasi totalité des composés organiques.
- p La confection de produits à base d'asphalte ou de bitume comme les coulis d'étanchéité, bardeaux bitumineux (shingles). La régularité du sable reprend ici toute son importance
- p La constitution de lits de pose dans le cadre de la mise en place de tous produits modulaires comme les pavés autoblocants. Il est nécessaire ici que le sable soit soigneusement criblé pour élimination de tout élément supérieur à 4 voire 5 mm qui pourrait constituer une gêne au regard de la planéité au moment de la pose.
La présence d'argile dans les sables peut conduire à rendre intéressant un apport de chaux (ou lait de chaux) qui pourrait générer des prises (peu rigides) rendant de la sorte le sable cohésif et moins sensible vis à vis de l'imbibition. Ceci reste cependant dans le champ de l'hypothèse et demande à être testé en vraie grandeur.

Pour les deux derniers points, la teneur en phénols des sables, utilisés en l'état, devra répondre aux prescriptions réglementaires.

11. ASSURANCE QUALITE

11.1 ASPECT ENVIRONNEMENTAL

Le producteur a obligation de contrôler son sable suivant les principes défini dans l'arrêté du ministre de l'Environnement du 16 juillet 1991. Sous sa responsabilité, il doit prendre toute disposition pour l'élimination, vers des décharges spécialisées, des sables à teneurs en phénols excessives et garantir pour les sables valorisables la teneur en phénols telle qu'elle est prescrite dans l'arrêté ministériel cité ci-dessus.

11.2 ASPECT "QUALITE DU MATERIAU"

Les démarches permettant d'identifier et d'appréhender la qualité des sables de fonderie sont bien souvent à la charge de l'entreprise, de TP généralement, qui a mandat de la part du fondeur de les évacuer.

11.2.1 ORIENTATION "TERRASSEMENTS"

L'identification géotechnique des sables devra être traitée de telle sorte qu'ils puissent faire l'objet d'une classification selon les propositions de la norme NF P11-300. En complément, la définition des paramètres de compactage (NF P94-093) et de portance (NF P94-078) devra être régulièrement recherchée afin de gérer au mieux la mise en œuvre du matériau sur chantier.

La possibilité de corrosion devra également être envisagée en cas de contact avec des éléments métalliques (Corrosion par les sols - CF A05-252). Il en va de même pour ce qui concerne l'agressivité vis à vis des bétons (Agressivité des sols - Cf P18-011)

On gagnera donc à établir une "Fiche Technique" du ou des matériaux concernés. Actualisées régulièrement, elles devraient permettre aux maîtres d'œuvres de juger de la bonne adéquation entre les qualités des produits proposés et celles requises par l'ouvrage à construire.

Le tableau ci-après précise les essais qu'il est souhaitable d'entreprendre, au niveau du fournisseur, pour établir cette fiche. L'utilisateur étant libre de vérifier par sondage la pertinence des valeurs affichées sur celle-ci.

	UTILISATION TERRASSEMENT
Plage des teneurs en eau au stock	1 mesure de W% nat toutes les 500 t
Analyse granulométrique complète	1 analyse par an ou toutes les 5000 t
Passants à 80 µm D et d	1 analyse par trimestre ou toutes les 1000 t 1 analyse par trimestre ou toutes les 1000 t
Argilosité VBS ou ES	
Courbes de Compactage et de Portance immédiate en 5 points	1 fois par an ou toutes les 5000 t
Corrosion par les sols (Cf A05-252)	1 fois par an
Agressivité des sols (Cf P18-011)	1 fois par an

11.2.2 ORIENTATION "ASSISES DE CHAUSSEES" ET "BETONS"

La Fiche Technique Produit s'avère indispensable pour ces orientations. Elle sera bâtie selon les principes du "Fascicule 23 du Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG)" et des spécifications portées dans la norme expérimentale XP P18-540.

Guide technique régional relatif à la valorisation
des

SCHISTES HOUILLERS



Guide technique régional relatif à la valorisation des

LES SCHISTES HOUILLERS

PREAMBULE

Bien que le présent guide technique sorte du strict domaine de compétence du PREDIS Nord Pas-de-calais, celui-ci a souhaité qu'il soit rédigé dans le cadre de ses travaux.

Il est important de signaler que les "SCHISTES HOUILLERS" ne sont pas classés en D.I.S - Déchets Industriels Spéciaux -

Plus largement, ils ne relèvent d'aucune réglementation particulière, notamment pour ce qui concerne leur impact sur l'environnement.

Bien que déjà utilisés depuis plusieurs décennies dans le cadre du génie civil et des techniques routières, le présent guide technique a pour objet de mieux faire connaître les "SCHISTES HOUILLERS" et ainsi d'en faciliter l'emploi au niveau régional.

SOMMAIRE

1. GENERALITES	3
1.1. ORIGINES DES SCHISTES	3
1.2. PHÉNOMÈNES DE COMBUSTION	3
1.3. COMPOSITION CHIMIQUE	4
1.4. REPARTITION GEOGRAPHIQUE / QUANTITES DISPONIBLES	5
1.5. PRODUITS ISSUS DES TERRILS	5
1.6. MODE DE COMMERCIALISATION DES SCHISTES HOUILLERS	6
1.7. STATUT REGLEMENTAIRE DES SCHISTES	6
2. IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE DES SCHISTES.....	6
2.1. LES SCHISTES ROUGES	7
2.1.1. Schistes rouges "tout venant"	7
2.1.2. Schistes rouges concassés	7
2.2. LES SCHISTES NOIRS	8
2.2.1. Les schistes noirs "tout-venant"	8
2.2.2. Les schistes noirs cribles	9
2.2.3. Le formoschiste	9
2.2.4. Les schistes noirs 0/20	11
3. UTILISATION DES SCHISTES EN TERRASSEMENTS.....	11
3.1. SCHISTES ROUGES	11
3.1.1. Couches de forme de chaussées	12
3.1.2. Plate-forme de bâtiments	12
3.2. LES SCHISTES NOIRS	13
3.2.1. Les schistes noirs "tout-venant"	13
3.2.2. Le formoschiste	14
3.2.3. Le schiste noir criblé	14
3.2.4. Le schiste Noir 0/20	15
4. UTILISATION DES SCHISTES EN CHAUSSEES	16
4.1. MELANGES DISPONIBLES	16
4.2. DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES	16
4.3. FABRICATION MISE EN ŒUVRE SUR CHANTIER	17
5. AUTRES UTILISATIONS DES SCHISTES.....	18
5.1. SOLS SPORTIFS	18
5.2. LES BETONS	18
5.3. BRIQUETERIES / CIMENTERIES	18
6. DEMARCHE QUALITE	19
6.1. LES SCHISTES NOIRS EN TERRASSEMENT	19
6.1.1. Schistes noirs "tout-venant"	19
6.1.2. Schistes noirs 0/20 mm	19
6.1.3. Schistes rouges "tout-venant"	19
6.2. LES SCHISTES ROUGES EN CHAUSSEES	19
6.3. FICHES TECHNIQUES PRODUITS - FTP -	20

LES SCHISTES HOUILLERS

1. GENERALITES

1.1. ORIGINES DES SCHISTES

Lors de son extraction mécanique, le charbon qui se présente sous forme de veines plus ou moins importantes, est naturellement accompagné, en limite de celles-ci, par les bancs intercalaires de matériaux stériles.

« Au jour », les unités de tri et de lavage permettent ensuite une séparation plus ou moins discriminante entre charbon et stériles. Ces derniers sont envoyés au terril.

Pour ce qui concerne le bassin Nord Pas de Calais, un diviseur de deux peut être appliqué entre tonnage de « charbon brut » extrait et tonnage de « charbon commercialisable » (2 tonnes remontées pour une tonne vendue).

Au terril étaient également versés les matériaux provenant de l'exécution des diverses galeries de communication permettant une gestion sécurisée du « fond ».

Les schistes houillers sont donc constitués de terres de fosse, de schistes de lavoir et de charbon. A souligner toutefois que les moyens modernes de séparation ont conduit, dans les dernières années d'activité des HBNPC⁽¹⁾, à un taux extrêmement faible de charbon dans les stériles.

Les terrils houillers sont de forme conique quand les matériaux étaient déversés depuis un point au moyen d'un skip, de forme plate lorsqu'ils étaient alimentés par wagons ou camions. Certains de ces terrils plats étaient également appelés « Cavalier » lorsqu'ils supportaient une voie ferrée destinée aux besoins propres des HBNPC.

(1) HBNPC : Houillères du Bassin Nord Pas de Calais

1.2. PHENOMENES DE COMBUSTION

La combustion des terrils est liée à la présence du charbon résiduel⁽¹⁾ et à une possibilité d'alimentation en oxygène. Ainsi, c'est souvent sous les vents dominants d'Ouest que s'installe le début de montée en température.

(1) Les terrils les plus récents ne brûleront plus en raison d'un taux de charbon insuffisant résultant d'une amélioration des méthodes de séparation d'avec les stériles et d'une majorité d'éléments fins conduisant à une diminution de la porosité interne du terril fins ne permettant plus une oxygénation suffisante.

La combustion est un phénomène aléatoire. De nombreux terrils, riches en charbon n'ont pas brûlé. Il a été possible, dès lors, de les « laver » pour récupérer le combustible résiduel qui, après enrichissement, a été (ou est) orienté vers les centrales thermoélectriques encore en activité.

La coloration caractéristique des schistes après combustion⁽¹⁾ est un bon indicateur sur les niveaux de températures atteintes au sein du terril et de la qualité finale du matériau.

(1) Transformation des oxydes de fer

* L'échelle qualitative suivante peut être retenue :

- ◇ Schistes noirs : Pas de combustion
- ◇ Schistes oranges : Combustion partielle ou faible
- ◇ Schistes rouges : Combustion normale, complète
- ◇ Schistes violets : Combustion importante, élévation du niveau de température, parfois de l'ordre de 1500°C, ayant conduit à une modification minéralogique des divers constituants du matériau et à une véritable cuisson des argiles.

1.3.COMPOSITION CHIMIQUE

Selon les zones du bassin houiller, la composition chimique des « schistes » peut varier. elle s'inscrit dans les plages suivantes :

Silice	SiO ₂	45 à 55 %
Alumine	Al ₂ O ₃	25 à 30 %
Oxyde de fer	Fe ₂ O ₃	5 à 8 %
Alcalins	Na ₂ O + K ₂ O	3 à 6 %
Chaux	CaO	0.5 à 1.5 %
Magnésie	MgO	1.5 %
Anhydride sulfurique	SO ₃	0.03 à 1%
Perte au feu sur schistes noirs* Selon NF M 03-003 Octobre 1994 (par rapport au poids sec total initial)	7 à 20% sur le 0/D 15 à 30% sur la fraction 0/20 mm	

* : Plage des valeurs moyennes.

Le taux de cendres tel qu'il est défini dans la norme NF M 03-003 Octobre 1994 représente le pourcentage de matériau restant après une combustion à 815°C. La différence par rapport au poids initial est appelée « Perte au feu ». Sa valeur ne doit pas être considérée comme représentative du taux de charbon (carbone minéral) résiduel dans le schiste houiller. A la température de 815°C, l'eau de constitution chimique s'évapore, les éventuelles matières organiques se consomment et les calcaires sont ou commencent à se dégrader.

Pour une plus juste appréciation du charbon résiduel, il serait nécessaire de procéder en deux étapes :

1. Détermination des matières organiques, eau de constitution, .. selon NF U 44-160 (Température d'incinération de 480°C)

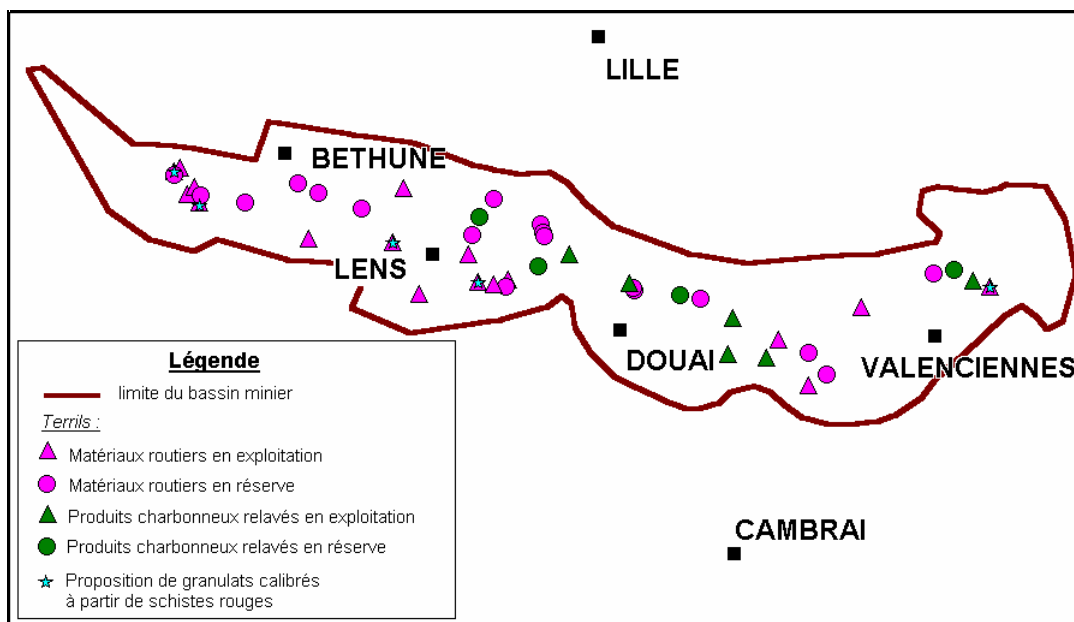
2. Teneur en cendres selon NF M 03-003 Octobre 1994,

La différence entre ces deux mesures serait plus proche du taux de charbon résiduel.

L'attention est également attirée sur la difficulté de réaliser un prélèvement dit représentatif et qui soit en adéquation avec la masse de matériau soumis à essai (1 à 2 g de passants à 200µm).

1.4. REPARTITION GEOGRAPHIQUE / QUANTITES DISPONIBLES

Répartition des terrils susceptibles d'être exploités Dans la région Nord - Pas de calais.



Au 1^{er} janvier 2000, la réserve :

- ◆ des terrils destinés à la production de matériaux pour le BTP représentait un potentiel de 142 millions de tonnes environ dont un peu plus de 4 millions de tonnes de schistes rouges.
Les schistes noirs, nettement majoritaires, sont, selon la conjoncture du moment, commercialisés en l'état ou après élimination de la fraction basse 0/20 mm (Voir § 2.2.2)
- ◆ des schistes charbonneux destinés à être lavés pour récupération de combustible se montait à 3 millions de tonnes environ.

1.5. PRODUITS ISSUS DES TERRILS



* 5 matériaux au global sont proposés depuis les terrils en cours d'exploitation (tous ne le sont pas).

Chaque terril, selon sa qualité et son degré de combustion est spécialisé dans une ou plusieurs des fournitures ci-après :

SCHISTES NOIRS	SCHISTES ROUGES
<ul style="list-style-type: none"> * Les Schistes noirs tout venant * Le Formoschiste * Le 0/20 de Schiste noir * Le Schiste noir criblé 	<ul style="list-style-type: none"> * Les Schistes rouges tout venant * Les Schistes rouges concassés⁽¹⁾ (1) 0/3, 0/6, 6/20 mm le plus souvent à partir desquels sont fabriqués les mélanges routiers.

1.6. MODE DE COMMERCIALISATION DES SCHISTES HOUILLERS

Les schistes sont propriétés de CDF. Terrils SA, filiale de CDF, est mandatée pour mettre à disposition, moyennant redevances, les terrils aux divers exploitants qui se sont déclarés pour valorisation, traitement et commercialisation des produits issus des terrils concédés.

- * La vente auprès du BTP est assurée en direct par les exploitants concessionnaires.

1.7. STATUT REGLEMENTAIRE DES SCHISTES

Les terrils en tant que tel sont exploités sous le double régime des « Installations Classées pour la protection de l'Environnement (ICPE) et du « Régime Général des Industries Extractives ».

Pour l'instant, le matériau « SCHISTE » n'est pas assujéti à une réglementation particulière ou spécifique.

- * Il n'existe pas de contraintes réglementaires quant à l'utilisation des schistes houillers en BTP, notamment environnementales. Ils doivent simplement répondre à la fonction technique pour laquelle ils sont utilisés.

2. IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE DES SCHISTES

Les schistes 0/D dont les principaux éléments pétrographiques se situent dans les plages suivantes :

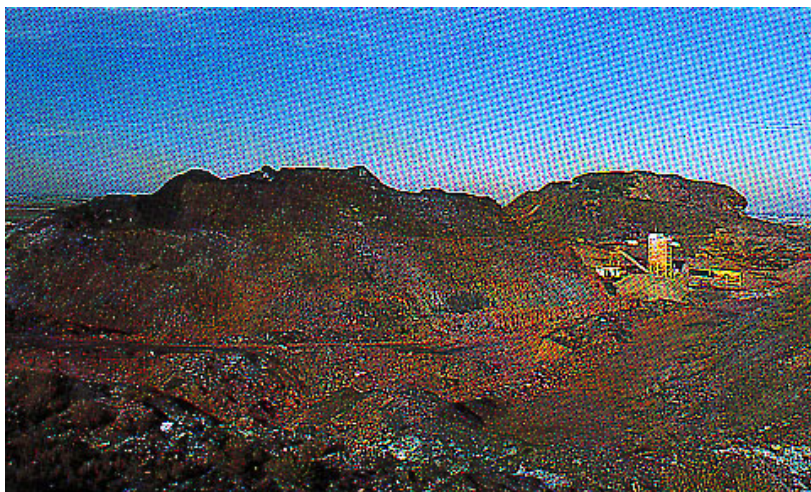
- ê Grès : 20 à 40 %,
- ê Vrais schistes : 50 à 80 %,
- ê Scorées diverses : ≈ 2%

- * Les Schistes en vrac s'apparentent généralement à des Graves 0/150 mm voire 200 mm.

.../...

2.1. LES SCHISTES ROUGES

2.1.1. SCHISTES ROUGES "TOUT VENANT"



Ils présentent bien souvent, un taux d'éléments fins inférieurs à 80 µm modéré qui, associé à un caractère argileux peu marqué, voire absent, en raison même de la combustion du matériau, conduit à les considérer comme insensibles vis à vis de l'eau. Selon les principes qui guident à la classification géotechnique proposée par la norme NF P11-300⁽¹⁾ de Sept 1992, les "Schistes rouges tout venant" relèvent de la classe F31 : " Sols organiques - Sous produits industriels - Schistes houillers totalement brûlés".

pes qui guident à la classification géotechnique proposée par la norme NF P11-300⁽¹⁾ de Sept 1992, les "Schistes rouges tout venant" relèvent de la classe F31 : " Sols organiques - Sous produits industriels - Schistes houillers totalement brûlés".

* D'une manière pratique cependant, ils peuvent être assimilés à la classe D : "Sols insensibles à l'eau " et plus précisément compte tenu de leurs caractéristiques intrinsèques⁽²⁾ à la classe D31.. "⁽³⁾.

(1) NF P11-300 : «Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières ».

(2) Résistance vis à vis des chocs : Coefficient Los Angelès (LA) et de l'attrition : Coefficient Micro Deval en présence d'eau (MDE)

(3) Classe D - Sols insensibles à l'eau. D31 : D max > 50 mm, Valeur de Bleu Sol (Cf NF 94-068 Novembre 1993) VBS ≤ 0,1, Tamisat à 80 µm ≤ 12 %, LA ≤ 45, MDE ≤ 45.

2.1.2. SCHISTES ROUGES CONCASSES

Les meilleurs des schistes rouges sont concassés et criblés sur terril aux fins de produire :



è les fractions granulaires nécessaires à la fabrication des mélanges routiers 0/20 mm traités aux liants hydrauliques (cendres volantes et/ou laitier de HF granulé)

è les sables et gravillons pour :
 - les terrains de sports stabilisés
 - les aménagements paysagers pour lesquels la teinte rouge

du matériau est un critère prédominant de choix.

Les matériaux les plus couramment fabriqués sont des sables 0/3, et 0/6 et des gravillons 6/20 mm.

2.1.2.1. Caractéristiques intrinsèques des schistes rouges

Pour repère et information, on trouvera ci-après quelques valeurs mesurés sur des gravillons de schistes rouges provenant de terrils particulièrement représentatifs en terme de qualité, et aujourd'hui devenus rares.

Terrils (Mesure sur fraction 10/14 mm)	Los Angelès - LA -	Micro Deval en présence d'eau - MDE -
« Normalement rouge » n° 1	28 - 33 - 31 - 30 - 28 - 34 - 33 - 32 - 31 - 30 - 30 - Moy : 31	31 - 51 - 31 - 32 - 35 - 72 - 49 - 45 20 - 45 - 64 Moy : 43
« Normalement rouge » n° 2	27 - 29 - 28 - 29 - 28 - 29 - 30 - 30 - 30 - Moy : 29	30 - 54 - 49 - 47 - 37 - 47 - 41 - 51 Moy : 44
« Vitrifié / Violet » n° 1	31 - 34 - 34 - Moy : 33	28 - 26 - 25 - 18 - 22 Moy : 24
« Vitrifié / Violet » n° 2	32 - 32 - 34 - 35 - 34 - 33 - 34 - 32 - 35 Moy : 33	14 - 14 - 20 - 14 - 17 - 16 - 16 - 14 - 14 Moy : 15

* Ces matériaux appartenait aux classes D ou E telles qu'elles sont définies dans l'article 7⁽¹⁾ de la norme XP P18-540⁽²⁾ octobre 1997

(1) : Article 7 - Granulats pour chaussées : couches de fondation, de base et de liaison

(2) : XP p18-540 - Granulats - définitions, conformité, spécifications.

* Pour ce qui concerne les productions actuelles, il peut être considéré que les gravillons de schistes rouges relèvent le plus souvent de la classe E voire F.

2.2. LES SCHISTES NOIRS

2.2.1. LES SCHISTES NOIRS "TOUT-VENANT"

Ils présentent :

ê des taux d'éléments fins plus conséquents que les schistes rouges,

ê un caractère argileux plus marqué (apprécié par la Valeur de Bleu Sol).

Selon les principes de NF 11-300, les "Schistes noirs tout-venant" se classent en F32 : "Sols organiques - Sous produits industriels - Schistes houillers incomplètement ou non brûlés".

* Ils peuvent, sur le plan pratique, être assimilés à la classe des matériaux C₂B₂₂, C₂B₃₂ ou C₂B₅₂ selon la terminologie de NF P11-300

q C₂ : Matériaux anguleux dont la proportion de la fraction 0/50 mm ≤ 60 à 80%.

q B_{22, 32, 52} : Matériaux au D ≤ 50 mm⁽¹⁾, plus ou moins argileux en fonction de la valeur VBS⁽²⁾ et présentant des coefficients LA et MDE > 45.

(1) Il est rappelé que c'est la nature de la partie 0/50 mm qui conditionne, selon les principes de classification de NF P11-300, le fonctionnement, en terrassements, d'un matériau au D développé.

(2) VBS : Valeur de Bleu Sol (Cf NF P94-068 Novembre 1993)

* Il n'est cependant pas exclu que certains schistes noirs, de nature gréseuse nettement affirmée, puissent présenter des taux de £ 80 µm faibles à très faibles ou tout moins inférieur à 12%, permettant de la sorte de les assimiler aux classes D32, voire D31 (Cf 11-300).

2.2.2. LES SCHISTES NOIRS CRIBLES

Dans la perspective de les rendre moins sensibles vis à vis de l'eau, les schistes noirs font l'objet du même traitement mécanique que le FORMOSCHISTE (voir ci-après § 2.2.3).

Les caractéristiques intrinsèques ou l'absence de suivi qualitatif du matériau ne permettent pas de l'assimiler à du FORMOSCHISTE.

- * Théoriquement F32 : "Sols organiques - Sous produits industriels - Schistes houillers incomplètement ou non brûlés", ce matériau peut être apparenté à la classe D32⁽¹⁾.

(1) I dem D31, hormis LA ou MDE ≤ 45)

2.2.3. LE FORMOSCHISTE

RAPPEL : Les schistes rouges aux qualités intrinsèques jugées satisfaisantes sont, pour



la plupart, réservés à la fabrication des granulats destinés aux mélanges routiers.

Cette politique d'exploitation conduit à un véritable déficit régional de matériaux aptes à la construction des couches de forme de chaussée ou des plates-formes de bâtiment.

Le FORMOSCHISTE, proposé depuis 10 ans environ maintenant dans la région, est une des réponses à cette difficulté annoncée. Elle consiste en une valorisation des schistes noirs les plus gréseux.

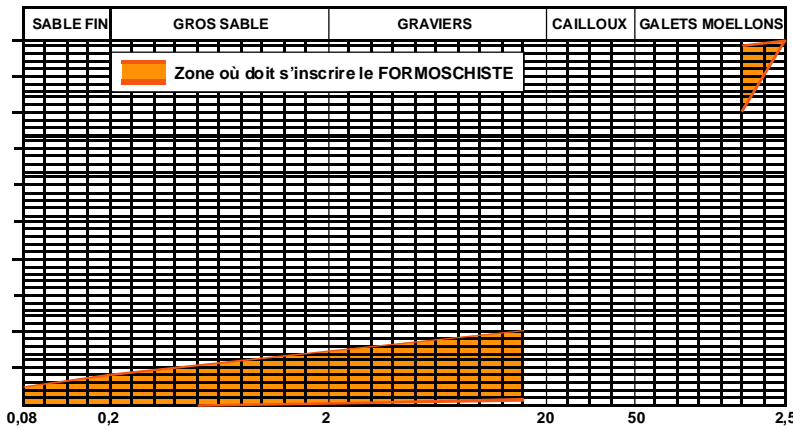


- * Il doit répondre à un cahier des charges établi par TERRILS SA.

Le FORMOSCHISTE résulte de l'élimination par criblage :

- ê de la fraction basse 0/16 mm dans laquelle est concentrée la majeure partie des éléments argileux qui rendent le matériau 0/D primitif sensible vis à vis de l'eau
- ê des blocs supérieurs à 160 mm pour respecter le rapport entre la dimension maximale du D et l'épaisseur de couche à construire.

2.2.3.1. Caractéristiques de fabrication / Critères granulaires

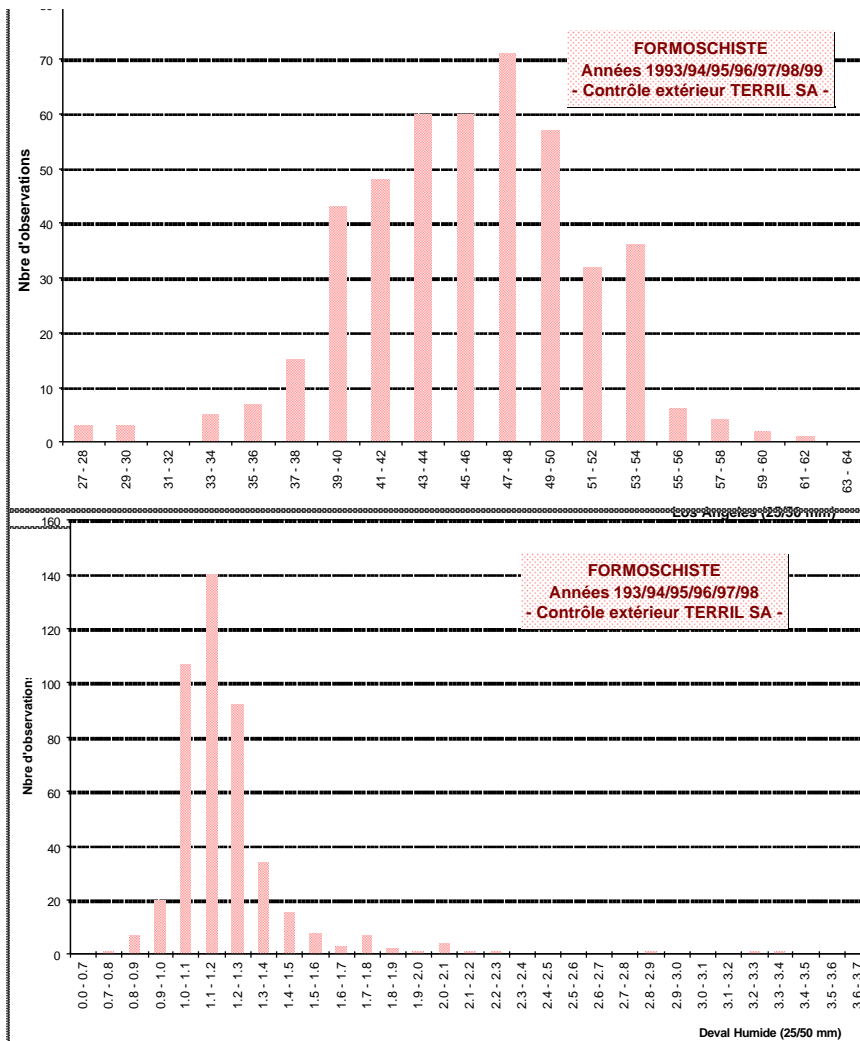


- n Granulat d/D
- ê d = 16 mm
- ê D = 160 mm
- ê Refus nul à 1.58 D (250 mm)
- ê Refus à D et tamisât à d compris entre 1 et 20%
- ê Tamisât à 80 µm ≤ 5%

2.2.3.2. Caractéristiques intrinsèques

ρ Coefficient Los Angeles (LA) sur la fraction 25/50 mm ρ LA ≤ 55.

ρ Coefficient Deval (Dh) sur la fraction 25/50 mm ρ Dh moyen = 1.2 aucune valeur < 1 n'étant acceptable.



Ces seuils sont issus à la fois de

- * chantiers expérimentaux, de
- * la possibilité industrielle de produire le matériau
- * retours d'expériences lors de l'utilisation en grand.

* A noter que tous les terrils de schistes noirs ne sont pas aptes à produire du FORMOSCHISTE

Ci-contre les valeurs obtenues par TERRIL SA au titre de son contrôle extérieur durant les années 93 à 99.

* Théoriquement F32 ce matériau peut être apparenté, sous certaines conditions*, à la classe D31.

* Un matériau D31 est réputé insensible vis à vis de l'eau dans le cadre des travaux de terrassement. Selon ce principe, il peut être utilisé pour la construction de toutes couches de forme de chaussées, même les plus sollicitées en terme de trafic. Cependant, pour ce qui concerne le "FORMOSCHISTE", les errements actuels limitent son usage au trafic TC6 inclus (Voir la définition de TC6 dans le " Catalogue des structures types de chaussées neuves - Réseau routier national - Edition 1998").

Par ailleurs, indépendamment du trafic qu'aura à supporter la future voirie, l'utilisation du "FORMOSCHISTE" en tant que matériau D31 sera également bornée par les conditions de mise en œuvre (conditions météorologiques défavorables) et d'organisations du chantier. Pour ce second point, les caractéristiques intrinsèques du "FORMOSCHISTE" feront qu'il supportera difficilement un charroi intense et prolongé directement sur sa surface, d'autant plus si ce dernier est canalisé ou induit des efforts de cisaillement ou d'arrachement importants (rotation d'engins par exemple).

La pleine exploitation de l'appareillement du "FORMOSCHISTE" à la classe D31, ne peut donc s'envisager que dans une configuration où il sera peu sollicité en direct; ceci conduit à le recouvrir au plus tôt par la première couche structurante du corps de chaussées.

2.2.4. LES SCHISTES NOIRS 0/20

La fabrication du FORMOSCHISTE conduit globalement à diviser le terril à partir duquel il est fabriqué en deux parts de même importance :

Ü Le FORMOSCHISTE,

Ü une GRAVE 0/20 mm.

Les éléments de dimension supérieure à 160 sont très peu représentés.

* Selon la nature du 0/D initial, le 0/20 mm se classe le plus souvent en B3 - B4 (parfois B5).

3. UTILISATION DES SCHISTES EN TERRASSEMENTS

3.1. SCHISTES ROUGES

Souvent de classe D31, ils sont considérés comme insensibles vis à vis de l'eau. Cette qualité sera exploitée pour tout terrassement ou toute partie d'ouvrage en terre devant s'exécuter durant des intempéries ou résister à l'imbibition (zones inondables par exemple).

* Compte tenu de leur rareté, ils sont peu ou pas utilisés pour la construction de remblais routiers.

* Utilisations les plus courantes des schistes rouges :

ê Plate-forme de bâtiment

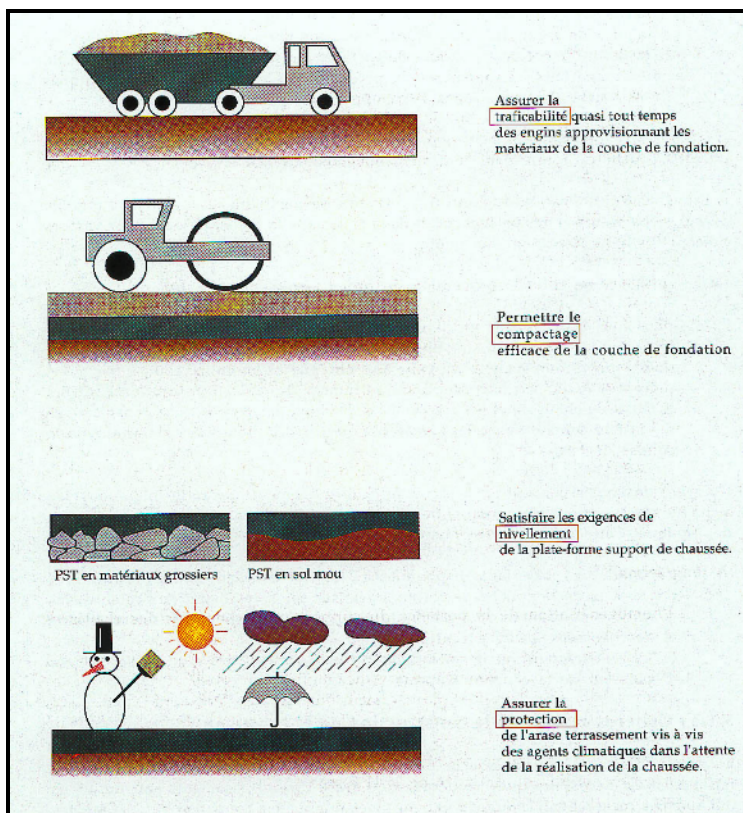
ê Soubassement de remblai en zone inondable

ê Couches de forme de chaussées.

Le dernier point étant probablement celui pour lequel les quantités les plus importantes de schistes rouges ont été utilisées par le passé (Plusieurs millions de tonnes)

3.1.1. COUCHES DE FORME DE CHAUSSEES

Brièvement ci-dessous les qualités attendues d'une couche de forme.



L'épaisseur de matériau à mettre en œuvre est fonction de :

- La classe de plate-forme souhaitée
- de la qualité initiale de la Partie Supérieure de Terrassement (PST), tant au moment des travaux qu'à plus long terme (pour ce dernier aspect, les possibilités de drainage doivent être prises en considération).

Dans la région, en règle générale, sur un support limoneux moyennement humide, il faut tabler sur une épaisseur de l'ordre de 0,60 m avec,

en complément, l'interposition d'un géotextile anticontaminant entre le matériau d'apport et le sol en place pour l'obtention d'une rigidité satisfaisante.

- * Il est rappelé que la plate-forme doit présenter à court terme (au moment de la mise en œuvre de la première couche de chaussée) une rigidité minimale de 50 Mpa en EV2 (Essai à la plaque) ou en module dynamique (Essai à la dynaplaque)
- * Dans le fascicule I du Guide technique « Réalisation des remblais et des couches de forme », on trouvera le développement qui aboutit à la définition de l'épaisseur à retenir.

3.1.2. PLATE-FORME DE BATIMENTS

La problématique est à peu près du même ordre que celle posée par les couches de forme de chaussées.

Dans le cadre des plates-formes de bâtiment, la rigidité est traduite par un module de réaction (module WESTERGAARD). On retrouvera ici quasiment les mêmes épaisseurs que celles rencontrées lors de la construction des couches de forme de chaussée.

Il n'y a cependant pas de règle, la valeur du module de « WESTERGAARD » étant étroitement liée à :

- à la qualité du matériau d'apport,
- à la nature et à l'état du sol support,
- au contexte hydrique (présence d'une nappe phréatique proche de la surface par exemple) ...et
- aux conditions météorologiques installées pendant la période de mesure du module de réaction.

- * Le module de réaction « WESTERGAARD » d'une plate-forme de bâtiment doit être appréhendé à chaque fois qu'il est nécessaire d'en connaître précisément la valeur moyenne.

Dans le cadre d'une utilisation en plate-forme de bâtiment, le matériau est parfois confiné entre des fondations et des longrines, obligeant ainsi à l'utilisation de compacteurs aux capacités limitées. En découle la nécessité de limiter l'épaisseur des couches unitaires. Il importe alors d'avoir une action corrective sur la granulométrie par limitation du D du schiste pour respecter la relation : $D \leq 2/3$ de l'épaisseur de couche

3.2. LES SCHISTES NOIRS

3.2.1. LES SCHISTES NOIRS "TOUT-VENANT"

Compte tenu de leur caractère argileux plus marqué, les schistes noirs 0/D ne sont utilisables que pour la construction de remblais.

- * Pour les hauteurs les plus faibles, il sera prudent d'éviter toute mise en œuvre en zone inondable, ... à moins de les y soustraire en les asseyant sur un matelas de matériau insensible à l'eau, généralement établi à partir de schistes rouges miniers ou, plus largement, de tout matériau insensible à l'eau. L'utilisation de schistes noirs criblés ou de FORMOSCHISTE est tout à fait possible dans ce cadre.

Sous peine de rendre la mise en œuvre difficile, notamment par météorologie pluvieuse, il est recommandé d'écartier de toute utilisation, les schistes noirs dont les plus gros éléments présentent une propension avérée au délitement (aspect schisteux marqué, débit en plaquettes et/ou en fragments plats).

- * Mise en œuvre / Compactage
- ρ Les pentes de talus des remblais peuvent être dressées sous des inclinaisons de 2/3 (2 de haut pour 3 de base). La sécurité vis à vis du glissement du talus est ainsi assurée.
 - ρ Les épaisseurs unitaires à mettre en œuvre seront déduites du Guide technique «Réalisation des remblais et des couches de forme ».

Elles seront conditionnées à la fois par la classe du matériau et l'efficacité des engins de compactage utilisés. Les épaisseurs généralement mises en œuvre avoisinent les 40 cm, après densification

- * Ne pas hésiter cependant à utiliser les compacteurs les plus puissants aux fins de :
 - ◇ mettre en oeuvre les épaisseurs les plus importantes possibles, permettant ainsi de respecter plus aisément la relation D_{\max} du matériau $< 2/3$ de l'épaisseur de la couche compactée.
 - ◇ privilégier le compactage « intense » pour réduire au minimum, à la fois la circulation et la quantité d'air au sein du remblai. Ceci en vue de se mettre à l'abri de toute auto-combustion, très peu probable cependant, des schistes noirs les plus charbonneux mis en œuvre.
- * Pour éviter toute érosion par ravinement, il est prudent de protéger les pentes de talus contre tout ruissellement, durant les travaux et, surtout, durant la vie de l'ouvrage. Un matelas de terre végétale, engazonnée au plus vite, est recommandé

3.2.2. LE FORMOSCHISTE

Il a pour vocation de se substituer, sous certaines conditions, notamment de trafic, aux schistes rouges dans le cadre de la construction des couches de forme de chaussées et des plates-formes de bâtiments. Les propositions concernant les schistes rouges peuvent être reprises dans le cadre de ces usages.

- * Il est nécessaire d'apporter une vigilance accrue à la qualité du matériau. Le FORMOSCHISTE doit en effet répondre à l'ensemble des spécifications qui lui sont attachées, notamment dans le cadre de plates-formes de bâtiment ou de chaussées sollicitées.

3.2.3. LE SCHISTE NOIR CRIBLE

Le schiste noir criblé s'apparente à du "FORMOSCHISTE" en ce sens qu'il résulte du criblage, aux mêmes mailles que ce dernier, d'un "Schiste noir tout venant". Ne faisant pas l'objet d'un contrôle lors de cette phase, il ne présente pas la garantie granululaire du "FORMOSCHISTE", ni d'ailleurs pour ce qui concerne les caractéristiques intrinsèques telles qu'elles sont définies au § 2.2.3.

Il en résulte, faute de garantie sur sa régularité et son niveau de qualité que le "SCHISTE NOIR CRIBLE" n'est pas apte à une utilisation en couche de forme de chaussées. Il sera utilisé préférentiellement en soubassement de remblais situés en zone inondable (voir § 3.2.1).

.../...

3.2.4. LE SCHISTE NOIR 0/20

Très sensible à la variation du niveau de teneur en eau au moment de sa mise en œuvre, il est à réserver de préférence pour la construction des remblais de grande masse.

Cette utilisation est cependant peu répandue. L'habitude veut que les schistes noirs 0/D soient privilégiés dans le cadre de la construction de ces ouvrages.

- * La grave 0/20 mm de schistes noirs trouve sa pleine justification en tant que matériau de remblai pour tranchées. Sa sensibilité vis à vis de l'eau la cantonne cependant à la Partie Inférieure de Remblai - PIR - telle qu'elle est définie dans le guide technique SETRA/LCPC de Mai 1994 « Remblayage des tranchées et réfection des chaussées ».

C'est probablement dans ce type de travaux que les volumes les plus conséquents pourraient être écoulés.

A noter que certains producteurs traitent ce 0/20 mm avec un liant hydraulique routier aux fins d'en réduire la sensibilité vis à vis de l'eau. Le raidissement ainsi apporté par cet ajout conduit à une possibilité d'emploi du matériau en Partie Supérieure de Remblai - PSR -.

Il faut cependant souligner qu'aucune étude méthodologique a été menée pour apprécier les niveaux de prise atteints en fonction des natures et des quantités de liants introduits et encore moins pour ce qui concerne la pérennité des liaisons constatées lors de l'hydratation des liants.

± ±
±

* REMARQUES GENERALES CONCERNANT L'IDENTIFICATION DES SCHISTES HOUILLERS

- En l'absence de toute identification récente - FTP⁽¹⁾ -, il convient, pour chaque utilisation des matériaux énumérés ci-dessus de les identifier précisément et de vérifier s'ils répondent aux diverses spécifications qui leur sont attachées. Cela vaut principalement pour le FORMOSCHISTE et le SCHISTE NOIR 0/20 mm

(1) FTP Fiche technique Produit

- Si besoin est, il est nécessaire de vérifier l'innocuité des matériaux vis à vis des ouvrages métalliques ou en béton qui pourraient être à leur contact. On s'appuiera sur les normes suivantes :

- ◆ A 05-252 Juillet 1990 : Corrosion par les sols - Aciers galvanisés ou non mis au contact de matériaux naturels de remblai (sols)
- ◆ P18-011 : Bétons - Classification des environnements agressifs

±
± ±

4. UTILISATION DES SCHISTES EN CHAUSSEES

* DANS CE CADRE, NE SONT UTILISES QUE LES SCHISTES ROUGES

On retiendra que les schistes rouges, à la date de rédaction du présent guide, sont devenus rares. Ceux encore disponibles présentent des qualités erratiques (combustion imparfaite, aspect plus ou moins cendreux).

Au global, les gravillons issus des opérations de concassage-criblage ne présentent que très rarement les caractéristiques intrinsèques⁽¹⁾ requises pour une utilisation en mélanges liés⁽²⁾ destinés à la construction de voiries sollicitées. Ils sont alors remplacés par des granulats d'une autre nature (voir ci-après §4.1).

Il est raisonnable d'orienter préférentiellement les graves à base de schistes rouges vers la construction de structures de chaussées peu fréquentées (reconditionnement des cites minières par exemple).

(1) Définies par XP P18-540 Octobre 1997

(2) Par des liants hydrauliques

4.1. MELANGES DISPONIBLES



La proposition tourne autour de graves 0/20 mm, recomposées le plus souvent à partir de 0/6 et 6/20 mm et traitées soit au laitier granulé de HF, aux cendres volantes silico-alumineuses ou par une association de ces deux liants. L'activation est assurée par un apport de chaux vive.

Bien souvent, pour pallier le déficit de qualité intrinsèque des gravillons 6/20 mm, ceux-ci sont remplacés dans les mélanges routiers par des granulats de calcaire dur d'âge primaire provenant du Tournaisis (Belgique)

4.2. DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES

Elles seront dimensionnées en adoptant la démarche proposée par :

ê le Manuel de conception de 1981 SETRA/LCPC « CHAUSSEES NEUVES A FAIBLE TRAFIC ».

ê Le logiciel du LCPC « ALIZE IV » de calcul de dimensionnement des chaussées.

L'une ou l'autre de ces deux méthodes impliquent la connaissance, précise, des résistances mécaniques du mélange employé⁽³⁾. Ces caractéristiques découlent le plus souvent d'essais en laboratoire.

(3) Résistance et Module à la traction directe - Rtd et Etd, mesurés en laboratoire

Lors du calcul de dimensionnement, il convient, pour approcher les valeurs qui seront celles effectivement installées à terme dans la chaussée de les minorer de⁽¹⁾ :

Ø 30% pour la résistance en traction directe à 360 jours (Rtd_{360j})

Ø 10% pour le module en traction directe à 360 jours (Rtd_{360j})

De plus, l'actualisation régulière des FTP⁽²⁾ des mélanges disponibles sur le marché s'avère indispensable, essentiellement en raison de la variabilité, avérée, des caractéristiques intrinsèques des granulats de schistes rouges. Celle-ci peut conduire à des fluctuations sensibles des performances mécaniques des mélanges élaborés depuis un même terril.

- * Ces produits étant, pour l'essentiel, utilisés pour des restaurations de voiries locales, on se reportera également, s'ils existent, aux règlements particuliers des collectivités concernées.

(1) Guide technique SETRA/LCPC de décembre 1994 »Conception et dimensionnement des structures de chaussées neuves »

(2) FTP : Fiche technique Produit

±
± ±

Les mélanges évoqués ci-dessus font l'objet d'une norme de définition (composition, caractéristiques mécaniques,) :

NF P98-116
Février 2000

Assises de chaussées .
Graves traitées aux liants hydrauliques.
Définition - Composition - Classification.

4.3. FABRICATION MISE EN ŒUVRE SUR CHANTIER



Les mélanges routiers sont fabriqués dans des centrales spécialisées dans lesquelles est assuré, dans les proportions requises, le mélange des divers granulats entrant dans leur composition.

Régulées, ces unités de production peuvent être considérées fiables et produire un mélange relativement peu dispersé, ... à la condition cependant de s'assurer en amont, en terme de qualité, de la régularité des divers matériaux (sables, gravillons, liants, chaux, eau d'apport).

La mise en œuvre sur site est probablement la source la plus importante de dispersion. L'organisation du chantier, la technicité de l'entreprise et les conditions météorologiques auront une incidence directe sur la qualité finale, ...et les résistances au terme des 360 jours.

Cela vaut pour tous les mélanges routiers, quelle que soit la nature du granulat ou du liant.

5. AUTRES UTILISATIONS DES SCHISTES

5.1. SOLS SPORTIFS

Les schistes rouges sont utilisés, sous forme de sable 0/3 mm, pour la construction des chapes des terrains de grands jeux stabilisés.

Les critères granulométriques et de qualité intrinsèques auxquels ils doivent répondre sont repris dans la norme XP P98-111 Septembre 1998

« SOLS SPORTIFS - TERRAINS DE GRANDS JEUX STABILISES MECANIQUEMENT - CONDITIONS DE REALISATION ».

Ce matériau, produit dans le Valenciennois est commercialisé sous le nom de « FERROLITE ». Il peut cependant être élaboré à partir de tout schiste rouge de qualité, l'homogénéité de teinte étant un des critères les plus importants pour la fonction requise.

5.2. LES BETONS

Les schistes, tant rouges que noirs, n'ont pas été utilisés jusqu'à présent pour la confection des bétons. Leurs caractéristiques intrinsèques actuelles et une présence parfois soutenue de sulfates ne peuvent qu'entériner cette situation.

5.3. BRIQUETERIES / CIMENTERIES

Pour être complet, il est à noter que les schistes noirs sont (ou ont été) utilisés pour la fabrication de :

- briques (pour la totalité de la matière première)
- certains ciments (pour partie de la matière première)

Si la valeur ajoutée apportée aux schistes est ici importante, il faut convenir en contre partie que les volumes concernés restent modestes et hors de proportions avec ceux impliqués par la construction routière.

.../...

6. DEMARCHE QUALITE

L'objectif n'est pas ici de redéfinir toutes les démarches liées à la qualité et notamment de s'appesantir sur la définition des différentes étapes permettant d'y aboutir. Il est plutôt proposé, en fonction de la nature de l'ouvrage, de mettre l'accent sur les points jugés les plus importants et ayant, a priori, une incidence directe sur la qualité finale

6.1. LES SCHISTES NOIRS EN TERRASSEMENT

6.1.1. SCHISTES NOIRS "TOUT-VENANT"

Une discrimination visuelle devra être conduite au niveau de l'emprunt, en ce sens qu'il est préférable d'écartier tout matériau dont les plus gros éléments présentent un caractère schisteux trop marqué :

- + Eléments constitués de strates peu liées entre elles, ayant toute chance de se déliter lors de la mise en œuvre, ... en générant un surplus d'éléments fins, argileux, ..., accentuant de la sorte, dans le cadre d'une météorologie défavorable, la probabilité d'apparition rapide de difficultés d'évolution pour les engins de terrassement.

6.1.2. SCHISTES NOIRS 0/20 mm

Ce matériau est utilisé principalement pour le remblayage de tranchées. Pour cette raison, il est important, pour ne pas être obligé d'adapter trop fréquemment les paramètres de compactage sur chantier, de veiller à ce qu'il ne présente pas une trop grande dispersion du taux de ses éléments fins inférieurs à 80 µm.

- + Sa propension à corroder les éléments métalliques ou à agresser les produits en béton devra être vérifiée régulièrement. Cette information aura une place centrale dans la FTP.

6.1.3. SCHISTES ROUGES "TOUT-VENANT"

Utilisés exclusivement pour la construction de couches de forme de chaussées ou de plate-forme de bâtiment, il est nécessaire de vérifier régulièrement leur insensibilité vis à vis de l'eau (Classe D21 ou D31 selon NF P11-300)

- + La présence de sulfates disponibles peut être parfois à l'origine de gonflements dans le cadre d'un simple recouvrement, direct, par une couche d'enrobé, par hypothèse peu rigide. Celle-ci ne s'opposera que modérément à une augmentation volumique liée à une concentration de cristaux de sels sulfatiques. Cette configuration est rencontrée dans des salles de sports, parkings de voitures légères,...

6.2. LES SCHISTES ROUGES EN CHAUSSEES

Comme pour tout mélange routier, il est nécessaire de s'assurer de la régularité dans le temps de la qualité des différentes fractions granulométriques de base.

- ◇ L'accent sera mis ici sur la distribution granulaire des matériaux mais plus encore, sur leurs qualités intrinsèques qui peuvent, comme noté précédemment, varier dans de grandes proportions. Il sera important de borner la qualité du matériau en n'utilisant que des gravillons au plus de classe E (Cf § 7.1 de XP P18-540 : LA + MDE = 80 et LA = 45 et MDE = 45),

- ◇ Le taux de sulfates solubles, déterminé selon XP P18-581⁽¹⁾ Octobre 1997 devra également être suivi.

(1) XP P18-581 Octobre 1997 : Granulats - Dosage rapide des sulfates solubles dans l'eau - Méthode par spectrométrie.

6.3. FICHES TECHNIQUES PRODUITS - FTP -

Indispensables, elles doivent être récentes pour permettre une relation directe entre les éléments portés sur ces dernières et la fourniture proposée.

Quel que soit leur mode de présentation, elles devront comporter les informations minimales suivantes, avec actualisation selon les fréquences minimales ci-après :

	OUVRAGES EN TERRE	REMBLAI DE TRANCHEES	COUCHE DE FORME		1 : GRANULATS POUR ASSISES TRAITÉES 2 : CHAPE DE TERRAINS DE GRANDS JEUX	
	REMBLAI		SR	Formo schiste	Sables	Gravillons
	SN O/D	SN 0/20 mm	SR O/D			
Plage des teneurs en eau au stock ou à la livraison sur chantier		X			X (Durant l'utilisation)	X (Durant l'utilisation)
Perte au feu selon NF M 03-003 Octobre 1994	X (1 fois par an et par site)	X (1 fois par an et par site)		X (1 fois par an et par site)		
Analyse granulométrique complète		X (1 fois par an et par site)		X (1 toutes les 5000t et par site)	X (1 par mois et par fraction)	X (1 par mois et par fraction)
Passants à • 80 µm • D et d	X X (En tant que de besoin)	X X (1 fois par trimestre et par site)	X X (1 fois par trimestre et par site)			
Argilosité 'VBS ou ES	X (En tant que de besoin)	X (1 fois par trimestre et par site)	X (1 fois par trimestre et par site)		X (1 par mois et par fraction)	
Courbes Compactage/Portance immédiate en 5 points		X (2 fois par an et par site)				
Caractéristiques intrinsèques LA - MDE - DH			X (2 fois par an et par site)	X (1 fois toutes les 15 000 t et par site)		X (2 fois par an et par site)
Sensibilité au gel (Cf P18-593)						X (A la demande)
Sulfates solubles (Cf P18-581)					X (Si besoin est)	
Corrosion par les sols (Cf A05-252)	X	X	X			
Agressivité des sols (Cf P18-011)	X (si besoin est)	X (si besoin est)	X (si besoin est)	X (si besoin est)	X (Si besoin est)	

SN : Schistes noirs, SR : Schistes rouges.



LES GUIDES SPECIFIQUES

- Ç ASCOMETAL USINE DES DUNES (1)
- Ç B.U.S VALERA (1)
- Ç COMILOG FRANCE (2)
- Ç HUNTSMAN-TIOXIDE (4)
- Ç LAMINES MARCHANDS EUROPEENS - LME - (1)
- Ç METALEUROP NORD (5)
- Ç RECYTECH (6)
- Ç SOTRENOR (3)
- Ç VALLOUREC & MANNESMANN (1)

1 : Laitier sidérurgique d'aciérie électrique

2 : Laitier sidérurgique de haut fourneau

3 : Mâchefer lié à l'incinération de D.I.S

4 : Granulat résultant du traitement de minerai en vue d'en extraire des oxydes de titane

5 : Scorie métallurgique résultant du traitement de minerais (Filières plomb-zinc)

6 : Scorie métallurgique résultant du recyclage des poussières d'aciéries

V&M France (Vallourec & Mannesmann) Aciérie de Saint Saulve

LAI TIERS D'ACIERIE ELECTRIQUE

1. PREAMBULE

Deux laitiers sont produits dans le cadre de la fabrication d'acier par la
"Sté V&M France - Aciérie de Saint Saulve"

- ◆ Les "Laitiers de poche"
- ◆ Les "Laitiers de four"

Ce sont ces derniers, les "Laitiers de four" qui font l'objet du présent document. Celui-ci été établi à partir d'analyses effectuées sur un prélèvement, de production "fraîche" (matériau non mûré), réputé représentatif de la production moyenne des "Laitiers de four" de la "Sté V&M France - Aciérie de Saint Saulve".

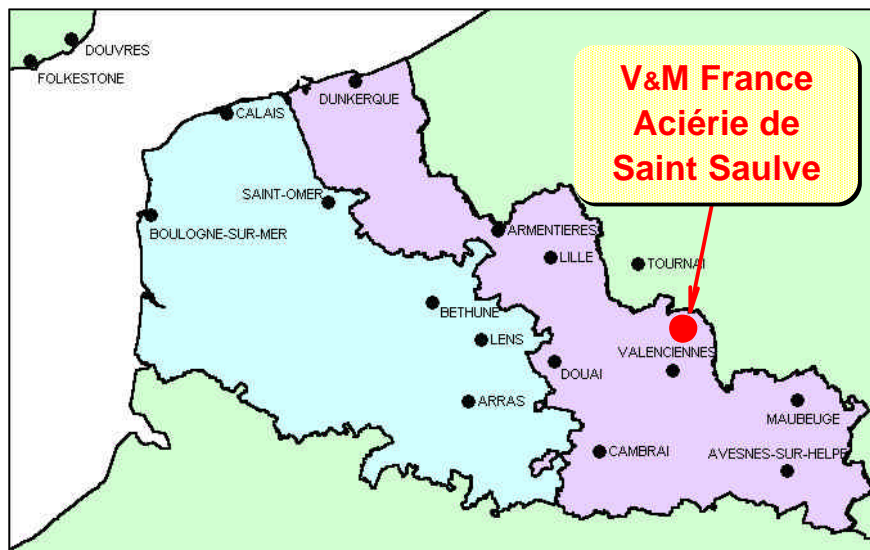
Les résultats obtenus à la faveur de ces dernières "situent" le matériau, sans pour autant donner d'indications sur sa variabilité physico-chimique.

2. IDENTIFICATION DE LA SOCIETE

- ◆ Raison sociale : V&M France Usine de SAINT SAULVE (VALLOUREC&MANNESMANN)
- ◆ Adresse postale : ZI n° 4, rue du GALIBOT - BP 10 - 59880 SAINT-SAULVE
- ◆ Téléphone : 03.27.23.13.01
- ◆ Télécopie : 03.27.23.18.34
- ◆ E.mail : bernard.chavatte@vallourec.fr

3. ACTIVITE - PRODUCTION

La Sté V&M France - Aciérie de Saint Saulve", à partir de son aciérie installée sur le territoire de la commune de Saint SAULVE (59) (voir carte ci-contre), élabore des aciers sous forme de ronds de Ø 90 à 250 mm.



L'aciérie électrique, à courant alternatif, utilise en tant que matière première, des ferrailles de récupération :

- * Copeaux d'usinage (tournures),
- * Ferrailles broyées,
- * Démolitions industrielles,
- * Fonte,
- * Rebuts de productions sidérurgiques.

la production moyenne annuelle s'établit comme suit :

Û Acier : ≈ 600 000 tonnes,

Û Laitiers de four : » 45 000 tonnes.

4. COMMERCIALISATION DU LAITIER

"Les laitiers de four" sont gérés et commercialisés par :

- ◆ Raison sociale : Sté GAGNERAUD Industries
- ◆ Adresse postale : ZI n° 4, CD 401 B
BP 35 - 59880 SAINT-SAULVE
- ◆ Téléphone : 03.27.28.50.50
- ◆ Télécopie : 03.27.28.50.49
- ◆ E.mail : saint-saulve@gagneraud.fr

5. MODE D'OBTENTION DU LAITIER

1. Les ferrailles chargées dans le four sont portées à leur point de fusion sous l'effet d'un arc électrique dégageant une puissance énergétique importante.
2. Le laitier de four surnageant à la surface du bain, constitué des impuretés issues de l'élaboration de l'acier, est versé dans des cuiviers par basculement du four.
3. Les cuiviers sont transportés vers une zone spécifique où le laitier est déversé pour refroidissement puis traitement en vue de sa commercialisation.

6. COMPOSITION DU LAITIER

Sur la fraction 0/20 mm du matériau "Tout venant", les analyses chimiques montrent des éléments majeurs représentés par le fer, le calcium, le silicium et dans une moindre mesure par l'aluminium et le manganèse.

Analyses semi-quantitatives par fluorescence X (valeurs en pourcentages massiques)

Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo	Ba
2.67	4.38	9.65	0.27	0.32	Tr	20.57	0.34	0.16	1.77	4.53	17.23	Tr	0.10	Tr	Tr

(Tr : Traces : < à 0.1%)

L'étude minéralogique fait principalement apparaître des phases de silicate bicalcique et d'aluminosilicate de calcium ainsi que des oxydes de fer et des ferrites de calcium.

- * Le taux de chaux libre résiduelle $[CaO + Ca(OH)_2]$, exprimé en équivalent CaO se situe vers 1,2%, sur la fraction 0/20 mm du "Tout venant" (Détermination par la méthode LEDUC).

7. POSITION VIS A VIS DE L'ENVIRONNEMENT

Dans l'attente d'une réglementation, prochaine, qui devrait codifier les usages en matière de recyclage et de valorisation des "Résidus des Procédés Thermiques - RPT* -", les services administratifs compétents autorisent l'utilisation des "Laitiers de four V&M France - Aciérie de Saint Saulve".

Cette autorisation est subordonnée à la réalisation régulière d'analyses afin de s'assurer de la pérennité des données prises en compte pour l'autorisation d'utilisation. Dans ce cadre, la société "V&M France - Aciérie de Saint Saulve" procède mensuellement à une analyse chimique sur le "brut" et sur le "lixiviat" obtenu selon XP P31-210.

*Procédure décrite en fin de la partie intitulée "ORIENTATION - JUSTIFICATION - ORIENTATION"

8. STABILITE VOLUMIQUE DU MATERIAU

les tests prédictifs de comportement ont conduit aux résultats suivants :

- Test à la "Vapeur" : Pas de gonflements constatés.
- Test au "Bain-marie" : Gonflements faibles à peu significatifs (< 0.4%).
(Le comportement asymptotique est atteint vers 60 jours).

9. FRACTIONS GRANULOMETRIQUES DISPONIBLES

A la demande, par concassage-criblage dans une installation spécialisée, le "Tout venant" \approx 0/300 mm peut être distribué selon les fractions granulométriques les plus diverses.

10. CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES

Elles se situent de la sorte

- Masse volumique absolue - Γ_r^* - : » 3,70 t/m³
- Coefficient Los Angeles - LA^{**} - : Fraction 10/14 mm : » 19
- Micro Deval en présence d'Eau - MDE^{***} - : Fraction 10/14 mm : » 11
- Coefficient de Polissage Accéléré - CPA^{****} - : Fraction 6,3/10 mm : » 0.52

* la masse volumique absolue d'un matériau naturel de type calcaire dur, granit, diorite, ... se situe entre 2.7 et 2.9 t/m³

** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis des chocs

*** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis de l'attrition (usure par frottement)

**** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis du polissage (traduit le frottement pneumatique/granulat)

Au regard de la norme [XP 18-540](#) octobre 1997, Les Laitiers de four "V&M FRANCE- Aciérie de Saint Saulve" relèvent, pour ce qui concerne les "GRAVILLONS":

- ↳ Article 7 : Granulats pour chaussées - Couche de fondation , de base et de fondation : **Catégorie B**
- ↳ Article 8 : Granulats pour chaussées - Couche de roulement utilisant des liants hydrocarbonés : **Catégorie B**

11. UTILISATIONS POTENTIELLES DES LAITIERS DE FOUR "V&M France- Aciérie de Saint Saulve"

PREAMBULE

Les applications potentielles qui suivent sont en accord avec les règlements et autorisations actuels, l'objectif du programme national "Résidus des Processus Thermiques" sera de préciser les conditions environnementales de ces utilisations.

Pour certaines d'entre elles, il est nécessaire que le matériau présente ou soit très proche d'une stabilité volumique totale :

Stabilité volumique :

- appréhendée à la fois par l'essai "Vapeur" et l'essai "Bain-marie"
- garantie par le fournisseur au travers d'un "Plan d'Assurance Qualité" (PAQ) qui doit préciser, en amont de la mise sur le marché de la fourniture, le mode de gestion qu'il a estimé le mieux approprié eu égard à sa spécificité.

Cette obligation peut cependant être modulée en fonction de la destination du matériau. Ainsi pour une structure ouverte, non recouverte, comme peut l'être un chemin de remembrement en rase campagne, l'obligation à ce niveau ne sera pas de même importance que pour un remblai routier, une plate-forme de chaussées, un béton bitumineux pour couche de roulement, ... des structures "souples" pouvant accepter sans trop de dommages des déformations modérées.

Il n'en ira pas de même pour les structures rigides (voir § 11.2) pour lesquelles les granulats entrant dans leur composition doivent s'avérer parfaitement stables.

± ±
±

Les applications potentielles de ce matériau sont essentiellement d'ordre routière : Constructions de remblais et plus largement d'ouvrages en terre, de couches de forme support de chaussées, granulats entrant dans la composition des produits routiers,

* L'aspect "TERRASSEMENT" est géré par la norme NF P11-300 pour ce qui concerne l'identification et la classification des sols et par le Guide technique "Construction des remblais et des couches de forme" pour ce qui concerne leurs modalités d'utilisation en ce domaine.

* L'aspect "CHAUSSEES" est géré d'une part par l'ensemble des normes "Produits" dont la liste est jointe dans la partie du document intitulée

"Textes réglementaires et normes - Méthodes d'essais et techniques opératoires" et d'autre part par la norme XP P18-540 "GRANULATS, Définition, conformité, spécifications" qui classe les matériaux en diverses catégories selon leurs caractéristiques physiques (granularité, propreté, forme, ...) et leurs caractéristiques intrinsèques* (Masse volumique, résistance vis à vis des chocs, de l'attrition, du polissage, ..); ceci pour tous les domaines de la construction, désignés dans cette norme par "Article" :

- ◇ Article 7 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de fondation, de base et de liaison,
 - ◇ Article 8 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de roulement utilisant des liants hydrocarbonés,
 - ◇ Article 9 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Béton de ciment,
 - ◇ Article 10 - GRANULATS POUR BETONS HYDRAULIQUES,
 - ◇ Article 11 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Assises,
 - ◇ Article 12 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Ballast et gravillons de soufflage.
- ◇ Voir § 10 ci-dessus

11.1 UTILISATION EN TERRASSEMENTS

11.1.1 Constructions de remblais

Le matériau, sous la forme d'un O/D peut être utilisé pour la construction de remblais routiers . Etablis sous des pentes de 2 pour 3 (2 en vertical pour 3 en horizontal), leur hauteur ne sera subordonnée qu'à la nature (compressibilité) du sol support.

- * En zone inondable ou d'une présence proche de la surface de la nappe phréatique, le laitier peut être utilisé pour constituer la base de remblais érigés ensuite à partir de matériaux érodables ou capillaires (mise hors eau).

11.1.2 Construction de couches de forme de chaussées

Les caractéristiques intrinsèques du "Laitier de four V&M FRANCE - Aciérie de Saint Saulve", alliées à une distribution granulométrique appropriée, permettront de le considérer de classe D21 ou D31 : Catégorie des matériaux considérés comme insensibles vis à vis de l'eau,

telles qu'elles sont définies dans le guide technique SETRA-LCPC de septembre 1992

"REALISATION DES REMBLAIS ET DES COUCHES DE FORME - GTR -".

"Le Laitier de four V&M FRANCE - Aciérie de Saint Saulve", trouvera un emploi privilégié pour toute plate-forme s'inscrivant dans des profils rasants avec nappe phréatique peu profonde.

- * Pour plus de précisions concernant la définition des épaisseurs à mettre en œuvre, on se reportera au GTR.

.../...

11.1.3 Autres utilisations

La masse volumique, légèrement plus importante que celle d'un granulats naturel, la perméabilité en tant que d/D et la résistance mécanique du matériau peuvent être exploitées :

- * pour la construction de gabions, masques et/ou éperons drainants dans le cadre de stabilité de pentes de talus incertaine,
- * pour constitution de tranchées ou de massifs drainants,
- * pour l'amélioration de la portance des sols dans le cadre de la mise en œuvre des techniques de pilonnage intensif ou de la mise en place de colonnes ballastées.

11.2 UTILISATION EN CHAUSSEES

* La réponse favorable vis à vis des tests de gonflements du "Laitier de four V&M FRANCE - Aciérie de Saint Saulve" devrait permettre son exploitation dans le cadre de la fabrication de "Graves traitées aux liants hydrauliques". La seule approche pragmatique en la matière est de procéder à des formulations en laboratoire et, probablement plus important encore, apprécier, sur quelques chantiers pilotes, le comportement à terme de tels produits.

* "Le Laitier de four V&M FRANCE - Aciérie de Saint Saulve" peut être exploité, soit en l'état, soit en association avec un liant bitumineux.

Selon cette règle, sont possibles les :

- * Graves non traitées - GNT - ,
- * Enduits superficiels,
- * Graves à base de liants hydrocarbonés,
- * Grave bitume.

Pour plus de précisions quant à l'adéquation entre les caractéristiques physiques et intrinsèques des granulats et celles des "Produits routiers" dans lesquels ils entreront, il y a lieu de se reporter aux normes spécifiques correspondantes

- NF P 98-125 et 129 : Graves non Traitées - GNT - ,
- NF P 98-160 : Enduits superficiels d'usure,
- Série NF P 98-130/140 : Enrobés à chaud.



B.U.S VALERA Usine de Gravelines

LAI TIERS D'ACIERIE ELECTRIQUE

1. PREAMBULE

Deux laitiers sont produits dans le cadre de la fabrication d'un ferro-alliage par la :

Sté B.U.S VALERA

- ◆ un laitier à basse teneur en alumine,
- ◆ un laitier à haute teneur en alumine.

Ce sont ces deux laitiers qui font l'objet du présent document. Celui-ci été établi à partir d'analyses effectuées sur un prélèvement, de production "fraîche" (matériau non mûré), réputé représentatif de la production moyenne des laitiers respectivement à basse et haute teneur en alumine.

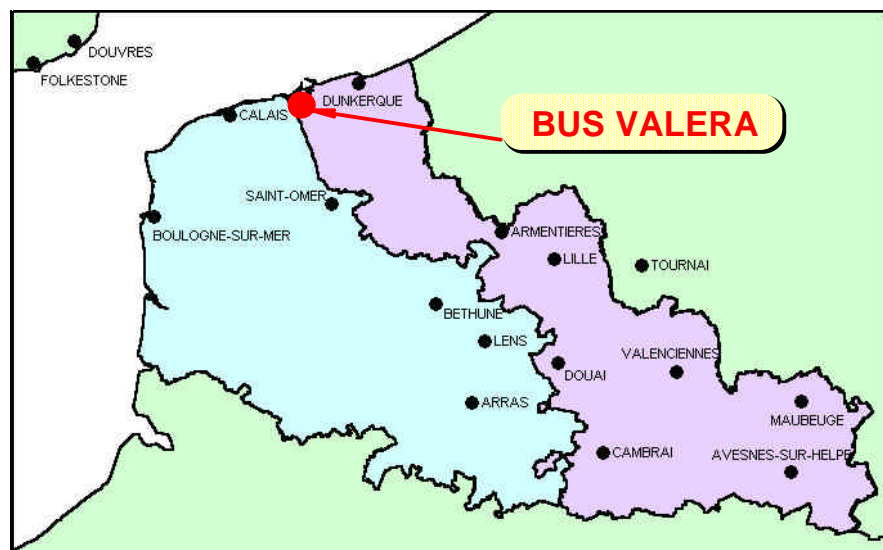
Les résultats obtenus à la faveur de ces dernières "situent" les matériaux, sans pour autant donner d'indications sur leur variabilité physico-chimique.

2. IDENTIFICATION DE LA SOCIETE

- ◆ Raison sociale : B.U.S VALERA
- ◆ Adresse postale : Route DU VIGNEAU _ ZIP des Huttes
59820 GRAVELINES
- ◆ Téléphone : 03.28.51.91.91
- ◆ Télécopie : 03.28.51.91.99
- ◆ E.mail : ndecreton@busvalera.com

3. ACTIVITE - PRODUCTION

la Sté B.U.S VALERA est une filiale du Groupe B.U.S AG, spécialisé dans le traitement et la valorisation de déchets industriels. A partir de son unité installée sur le territoire de la commune de GRAVELINES (59) (à l'Ouest de Dunkerque - voir carte ci-contre),



B.U.S VALERA recycle des résidus d'aciéries (poussières, produits de décapage et de polissage mécanique, de surfaçage, ...) pour en extraire, sous forme d'un ferro-alliage, des éléments valorisables (Ni, Cr, Mo, Zn, ...) venant en substitution des matières premières correspondantes.

Une production de laitier, orientée vers les travaux publics, accompagne cette valorisation.

4. MODE D'OBTENTION DU LAITIER

1. Les éléments définis ci-dessus, après avoir été humidifiés et homogénéisés sont, après introduction d'un liant, agglomérés sous forme de briquettes. Leur durcissement achevé, ces dernières sont chargées dans un four électrique à courant alternatif, conjointement avec un réactif en tant qu'agent réducteur et une charge de nature siliceuse pour favoriser la cristallisation du laitier lors de son refroidissement.
2. Après fusion de tous les éléments introduits dans le four, le laitier, plus léger, surnage au dessus du métal. Cette différence de densité est exploitée lors de la coulée par un système de goulottes appropriées. Elles permettent de diviser le flux déversé depuis le four entre le produit recherché et le laitier. Ce dernier est dirigé vers une fosse pour ensuite être emmené vers une zone de refroidissement (arrosage sous eau) et de stockage.

* Suivant les matières premières enfournées, deux types de laitier sont produits. Ils se différencient par leur teneur en alumine.

- | | |
|---|----------------------|
| 1. basse teneur en aluminium (environ <u>5 % d'Al₂O₃</u>) | 80% de la production |
| 2. haute teneur en aluminium (environ <u>15 % d'Al₂O₃</u>) | 20% de la production |

A noter qu'au cours de ce processus, les fumées dégagées durant la fusion sont traitées pour récupération des poussières de zinc et de plomb. Celles-ci sont ensuite dirigées vers une société spécialisée pour y subir un cycle d'enrichissement.

La production annuelle moyenne s'établit comme suit :

Û Laitier à basse teneur en aluminium	: »	24 000 tonnes
Û Laitier à haute teneur en aluminium	: »	6 000 tonnes

5. COMMERCIALISATION DU LAITIER

- ◆ Raison sociale : B.U.S VALERA
- ◆ Adresse postale : Route DUVIGNEAU _ ZIP des Huttes
59820 GRAVELINES
- ◆ Téléphone : 03.28.51.91.72
- ◆ Télécopie : 03.28.51.91.74
- ◆ E.mail : ndecreton@busvalera.com

6. COMPOSITION DU LAITIER

Sur la fraction 0/20 mm du "Tout venant", les analyses chimiques montrent que les éléments majeurs sont représentés par le silicium, le calcium et l'aluminium en proportion variable; le magnésium et le manganèse sont également présents en moindre quantité.

Laitier à Basse teneur en alumine

Analyses semi-quantitatives par fluorescence X (Valeurs en pourcentages massiques)

O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
42.00	1.12	3.60	2.70	25.10	0.00	0.94	Tr	0.62	20.60	0.18	0.50	2.00	0.60	Tr	Tr	Tr

(Tr : Traces : < à 0.1%)

Laitier à Haute teneur en alumine

Analyses semi-quantitatives par fluorescence X (Valeurs en pourcentages massiques)

O	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn
42.30	0.96	4.60	7.60	21.20	0.00	0.74	Tr	0.57	17.90	0.13	1.50	2.00	0.50	Tr	Tr	Tr

(Tr : Traces : < à 0.1%)

Les études minéralogiques montrent que le matériau à faible teneur en aluminium est constitué essentiellement de plages de silicates à teneur variable en calcium et de dendrites de sulfure de manganèse. En ce qui concerne le matériau à teneur plus élevée en aluminium, il s'agit également de plages de silicates de calcium associées à des oxydes de type spinelle, des sulfures riches en manganèse et des particules de fer métal.

* Le taux de chaux libre résiduelle $[CaO + Ca(OH)_2]$, exprimé en équivalent CaO se situe vers 0.1%, sur la fraction 0/20 du "Tout venant", quel que soit le laitier (Détermination par la méthode LEDUC).

7. POSITION VIS A VIS DE L'ENVIRONNEMENT

Dans l'attente d'une réglementation prochaine qui devrait codifier les usages en matière de recyclage et de valorisation des "Résidus des Procédés Thermiques - RPT* -", les services administratifs compétents autorisent l'utilisation des "Laitiers B.U.S VALERA".

Cette autorisation est cependant subordonnée à la mise en place d'un "Plan d'Assurance Qualité" dont les modalités sont fixées par arrêté préfectoral.

Dans ce cadre, sur chaque lot de production ou sur un échantillon correspondant à 15 jours de fabrication si le lot de production excède cette durée, la **Sté B.U.S VALERA** procède à une analyse sur "brut" et sur lixiviat obtenu selon XP P31-210.

* Procédure décrite en fin de la partie intitulée "ORIENTATION - JUSTIFICATION - ORIENTATION"

8. STABILITE VOLUMIQUE DU MATERIAU

les tests prédictifs de comportement ont conduit aux résultats suivants :

- Test à la "Vapeur" : Pas de gonflements constatés
- Test au "Bain marie" : Pas de gonflements constatés

* Ces résultats se rapportent aux deux laitiers

9. FRACTIONS GRANULOMETRIQUES MARCHANDES DISPONIBLES

Les deux laitiers, haute et basse teneur en alumine, sont gérés séparément. A la demande, leur "Tout venant" respectif $\approx 0/500$ mm peut, par concassage-criblage dans une installation spécialisée, être distribué selon les fractions granulométriques les plus diverses.

10. CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES

DESIGNATION DES ESSAIS	Basse teneur en Alumine	Haute teneur en Alumine
Masse volumique absolue*	$\approx 2.90 \text{ t/m}^3$	$\approx 3.20 \text{ t/m}^3$
Coefficient Los Angeles** - LA - (sur fraction 10/14 mm)	≈ 10	≈ 23
Coefficient Micro Deval en présence d'Eau*** - MDE- (sur fraction 10/14 mm)	≈ 7	≈ 9
Coefficient Polissage Accélééré**** - CPA- (sur fraction 6,3/10 mm)	≈ 0.51	≈ 0.50

* la masse volumique absolue d'un matériau naturel de type calcaire dur, granit, diorite, ... se situe entre 2.7 et 2.9 t/m³

** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis des chocs

*** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis de l'attrition (usure par frottement)

**** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis du polissage (traduit le frottement pneumatique/granulat)

* Au regard de la norme [XP 18-540](#) octobre 1997 :

"GRANULATS, Définition, conformité, spécifications"

les laitiers BUS VALERA relèvent, pour ce qui concerne les "gravillons" :

↳ Article 7 : Granulats pour chaussées : Couche de fondation , de base et de fondation : **Catégorie B quel que soit le laitier**

↳ Article 8 : Granulats pour chaussées - Couche de roulement utilisant des liants hydrocarbonés :

Catégorie A pour le laitier à basse teneur en alumine

Catégorie B pour le laitier à haute teneur en alumine

11. UTILISATIONS POTENTIELLES DES "LAI TIERS B.U.S VALERA"

PREAMBULE

Les applications potentielles qui suivent sont en accord avec les règlements et autorisations actuels, l'objectif du programme national "Résidus des Processus thermiques" sera de préciser les conditions environnementales de ces utilisations.

Pour certaines d'entre elles, il est nécessaire que le matériau présente ou soit très proche d'une stabilité volumique totale :

Stabilité volumique :

- appréhendée à la fois par l'essai "Vapeur" et l'essai "Bain-marie"
- garantie par le fournisseur au travers d'un "Plan d'Assurance Qualité" (PAQ) qui doit préciser, en amont de la mise sur le marché de la fourniture, le mode de gestion qu'il a estimé le mieux approprié eu égard à sa spécificité.

Cette obligation peut cependant être modulée en fonction de la destination du matériau. Ainsi pour une structure ouverte, non recouverte, comme peut l'être un chemin de remembrement en rase campagne, l'obligation à ce niveau ne sera pas de même importance que pour un remblai routier, une plate-forme de chaussées, un béton bitumineux pour couche de roulement, ... des structures "souples" pouvant accepter sans trop de dommages des déformations modérées.

Il n'en ira pas de même pour les structures rigides (voir § 11.2) pour lesquelles les granulats entrant dans leur composition doivent s'avérer parfaitement stables.

± ±
±

Les applications potentielles de ce matériau sont essentiellement d'ordre routière : constructions de remblais et plus largement d'ouvrages en terre, de couches de forme support de chaussées, granulats entrant dans la composition des produits routiers,

- * L'aspect "TERRASSEMENT" est géré par la norme NF P11-300 pour ce qui concerne l'identification et la classification des sols et par le Guide technique "Construction des remblais et des couches de forme" pour ce qui concerne leurs modalités d'utilisation en ce domaine.
- * L'aspect "CHAUSSEES" est géré d'une part par l'ensemble des normes "Produits" dont la liste est jointe dans la partie du document intitulée "Textes réglementaires et normes - Méthodes d'essais et techniques opératoires" et d'autre part par la norme XP P18-540 "GRANULATS, Définition, conformité, spécifications" qui classe les matériaux en diverses catégories selon leurs caractéristiques physiques (granularité, propreté, forme, ...) et leurs caractéristiques intrinsèques* (Masse volumique, résistance vis à vis des chocs, de l'attrition, du polissage, ..) ; ceci pour tous les domaines de la construction, désignés dans cette norme par "Article" :

- ◇ Article 7 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de fondation, de base et de liaison,
- ◇ Article 8 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de roulement utilisant des liants hydrocarbonés,
- ◇ Article 9 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Béton de ciment,
- ◇ Article 10 - GRANULATS POUR BETONS HYDRAULIQUES,
- ◇ Article 11 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Assises,
- ◇ Article 12 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Ballast et gravillons de soufflage.

* Voir § 10 ci-dessus

11.1 UTILISATION EN TERRASSEMENTS

11.1.1 Construction de remblais

"Les laitiers BUS VALERA", sous la forme d'un "Tout venant 0/D", peuvent être utilisés pour la construction de remblais routiers. Etablis sous des pentes de 2 pour 3 (2 en vertical pour 3 en horizontal), leur hauteur ne sera subordonnée qu'à la nature (compressibilité) du sol support.

- * En zone inondable ou d'une présence proche de la surface de la nappe phréatique, les laitiers, peuvent être utilisés pour constituer la base de remblais érigés ensuite à partir de matériaux érodables ou capillaires (mise hors eau).

11.1.2 Construction de couches de forme de chaussées

Les caractéristiques intrinsèques des "Laitiers B.U.S VALERA", alliées à une distribution granulométrique appropriée, permettront de les considérer de classe

D21 ou D31, Catégorie des matériaux considérés insensibles vis à vis de l'eau. telles qu'elles sont définies dans le guide technique SETRA-LCPC de septembre 1992 :

"REALISATION DES REMBLAIS ET DES COUCHES DE FORME - GTR -".

"Les Laitiers B.U.S VALERA" trouveront un emploi privilégié pour toute plate-forme s'inscrivant dans des profils rasants avec nappe phréatique peu profonde.

- * Pour plus de précisions concernant la définition des épaisseurs à mettre en œuvre, on se reportera au GTR.

11.1.3 Autres utilisations

La masse volumique, légèrement plus importante que celle d'un granulats naturel, la perméabilité en tant que d/D et la résistance mécanique du matériau peuvent être exploitées.

- * pour la construction de gabions, masques et/ou éperons drainants dans le cadre de stabilité de pentes de talus incertaine.
- * pour constitution de tranchées ou de massifs drainants.
- * pour l'amélioration de la portance des sols dans le cadre de la mise en œuvre des techniques de pilonnage intensif ou de la mise en place de colonnes ballastées.

11.2 UTILISATION EN CHAUSSEES

- * La réponse favorable vis à vis des tests de gonflements et la très faible teneurs en chaux libre des "Laitiers B.U.S VALERA" permettent leur exploitation dans le cadre de la fabrication de "Graves traitées aux liants hydrauliques". Une étude de formulation de type "Grave laitier", entreprise à l'initiative d'un négociant en matériaux, a d'ailleurs démontré la pertinence d'une telle approche.

Il est cependant nécessaire, avant de banaliser de tels produits, d'en apprécier, par le biais de quelques chantiers pilotes, le comportement à terme.

- * "Les laitiers B.U.S VALERA" peuvent également être exploités, soit en l'état, soit en association avec un liant bitumineux.

Selon cette règle, sont possibles les :

- * Graves non traitées - GNT -,
- * Enduits superficiels,
- * Graves à base de liants hydrocarbonés,
- * Grave bitume.

Pour plus de précisions quant à l'adéquation entre les caractéristiques physiques et intrinsèques des granulats et celles des "Produits routiers" dans lesquels ils entreront, il y a lieu de se reporter aux normes spécifiques correspondantes

- NF P 98-125 et 129 : Graves non Traitées - GNT -,
- NF P 98-160 : Enduits superficiels d'usure,
- Série NF P 98-130/140 : Enrobés à chaud.



COMI LOG France

LAITIER DE HAUT-FOURNEAU (FERRO-MANGANESE)

1. PREAMBULE

Un laitier dénommé "Laitier FERRO-MANGANESE" est produit dans le cadre de la fabrication d'alliages "Ferro-manganèse" par la Sté :

"COMI LOG France - Usine de Boulogne sur Mer"

C'est ce laitier qui fait l'objet du présent document. Celui-ci a été établi à partir d'analyses effectuées sur un prélèvement de production "fraîche" (matériau non mûré), réputé représentatif de la production moyenne du "Laitier FERRO-MANGANESE" produit par "COMI LOG France - Usine de Boulogne sur Mer".

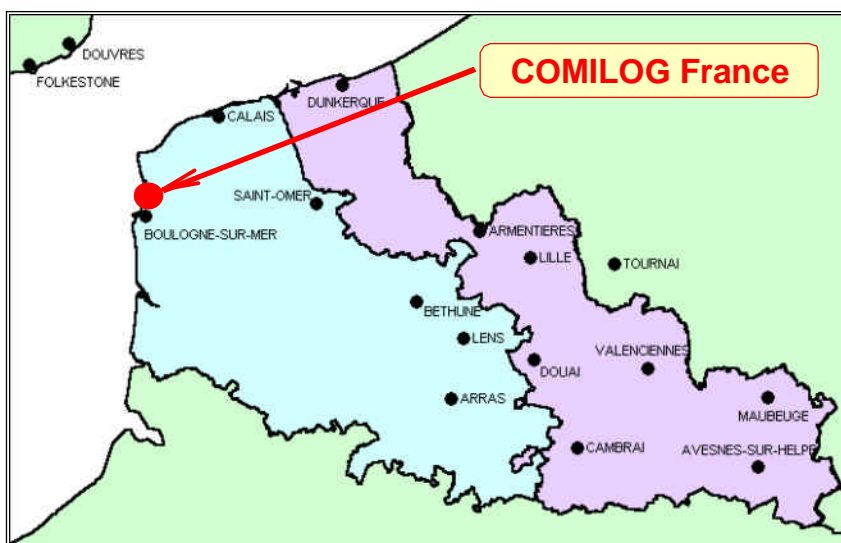
Les résultats obtenus à la faveur de ces dernières "situent" le matériau, sans pour autant donner d'indications sur sa variabilité physico-chimique.

2. IDENTIFICATION DE LA SOCIETE

- ◆ Raison sociale : COMI LOG France
- ◆ Adresse postale : Quai de l'Amiral Huguet
BP 129 - 62202 BOULOGNE sur MER
- ◆ Téléphone : 03.21.99.60.00
- ◆ Télécopie : 03.21.99.60.49
- ◆ E.mail : ////////////////

3. ACTIVITE - PRODUCTION

La Sté COMI LOG - France, à partir de son Haut-fourneau installé sur le territoire de la commune de BOULOGNE/MER - 62 (voir carte ci-contre), élabore des alliages "FERRO-MANGANESE" destinés à un traitement et à l'élaboration des aciers.



La production moyenne annuelle s'établit comme suit :

↳ alliages "FERRO-MANGANESE" : ≈ 350 000 tonnes

↳ Laitiers "FERRO-MANGANESE" : » 35 000 tonnes

(sous forme cristallisée par refroidissement lent)

4. COMMERCIALISATION DU LAITIER

- ◆ Raison sociale : COMI LOG France
- ◆ Adresse postale : Quai de l'Amiral Huguet
BP 129 - 62202 BOULOGNE sur MER
- ◆ Téléphone : 03.21.99.60.00
- ◆ Télécopie : 03.21.99.60.48
- ◆ E.mail : ////////////////

5. MODE D'OBTENTION DU LAITIER

1. Le minerai de manganèse est enfourné en alternance avec du coke (apport d'énergie plus effet réducteur) dans le haut fourneau.
2. Arrivé au point de fusion de l'ensemble des éléments enfournés, une séparation par gravité s'opère entre les alliages de manganèse produits durant le processus sidérurgique et le laitier qui enferme les cendres du coke, la gangue du minerai et des fondants le cas échéant,
3. Le "Laitier" qui présente une température de l'ordre de 1450 °C en sortie de HF et le "Ferro-manganèse" sont coulés par deux orifices séparés : Le trou à laitier et le trou à métal. Une partie du laitier coulé avec l'alliage est récupérée par siphonnage en sortie immédiate puis dirigée vers la coulée de laitier.
4. Le laitier peut être refroidi selon deux modalités :
 - * un refroidissement rapide sous eau. Le laitier qui se présente en fin de ce cycle sous la forme d'un sable 0/3 mm environ, scoriacé, subit, durant cette phase de baisse rapide de sa température, une véritable trempe lui conférant une structure vitreuse et désordonnée. Il a conservé une énergie de cristallisation qui lui confère un caractère pouzzolanique, lui permettant de faire prise en présence d'un activant basique et d'eau. Cette voie du refroidissement rapide est peu exploitée par COMI LOG France.
 - * un refroidissement lent en couche mince. Le laitier a ici tout le temps de cristalliser. Il se présente en fin de cycle selon une masse plus ou moins monolithique qu'il est nécessaire de réduire avant commercialisation. C'est cette filière qui est actuellement utilisée le plus souvent par COMI LOG France.

6. COMPOSITION DU LAITIER

Sur la fraction 0/20 mm du matériau "Tout venant", les analyses chimiques montrent que les éléments majeurs sont représentés par le manganèse, le calcium et dans une

moindre mesure par le silicium, l'aluminium et le magnésium. Le soufre est également présent en plus faible quantité.

Analyses semi-quantitatives par fluorescence X (valeurs en pourcentages massiques)

O	Mn	Ca	Si	Al	Mg	S	Ba	Fe	Ti	Cl	K	P	Cu
42.6	16.7	16.5	9.16	7.52	4.14	1.2	0.90	0.87	0.21	0.13	0.11	Tr	Tr

Tr : Traces : < à 0.1%)

L'étude minéralogique fait principalement apparaître du silicate de calcium et du silicoaluminat de calcium associés à des inclusions d'oxydes et de sulfure de manganèse.

* Le taux de chaux libre résiduelle [CaO + Ca(OH)₂], exprimé en équivalent CaO, se situe vers 0,1% sur la fraction 0/20 mm du "Tout venant" (Détermination par la méthode LEDUC).

7. POSITION VIS A VIS DE L'ENVIRONNEMENT

Dans l'attente d'une réglementation prochaine qui devrait codifier les usages en matière de recyclage et de valorisation des "Résidus des Procédés Thermiques - RPT* -", les services administratifs compétents autorisent l'utilisation du "Laitier FERRO-MANGANESE".

*Procédure décrite en fin de la partie intitulée "ORIENTATION - JUSTIFICATION - ORIENTATION"

Cette autorisation est cependant subordonnée à la mise en place d'un "Plan d'Assurance Qualité".

8. STABILITE VOLUMIQUE DU MATERIAU

les tests prédictifs de comportement ont conduit aux résultats suivants :

- Test à la "Vapeur" : Gonflements de l'ordre de 2%
- Test au "Bain-marie" : Gonflements de l'ordre de 2%*

*Après un peu moins d'une année d'observation, la courbe "Gonflement en fonction du temps" n'est pas totalement asymptotique impliquant qu'à cette date, la variation volumique du matériau n'était pas complètement terminée. Les gonflements à l'inverse d'autres produits, se manifestent très lentement pour s'inscrire dans la durée.

9. FRACTIONS GRANULOMETRIQUES DISPONIBLES

A la demande, par concassage-criblage dans une installation spécialisée, le "Tout venant" 0/300 mm (environ) peut être distribué selon les fractions granulométriques les plus diverses. Le matériau est cependant le plus souvent conditionné en un sable 0/6 mm et un gravillon 6/20 mm.

10. CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES

Elles se situent de la sorte

- Masse volumique absolue - ρ_r^* - : » 3,85 t/m³

- Coefficient Los Angeles - LA** - : Fraction 10/14 mm : » 27
- Micro Deval en présence d'Eau - MDE*** - : Fraction 10/14 mm : » 18

* la masse volumique absolue d'un matériau naturel de type calcaire dur, granit, diorite, ... se situe entre 2.7 et 2.9 t/m3

** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis des chocs

*** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis de l'attrition (usure par frottement)

Au regard de la norme [XP 18-540](#) octobre 1997, le "[Laitier FERRO-MANGANESE](#)" relève, pour ce qui concerne les gravillons :

Article 7 : Granulats pour chaussées - Couche de fondation , de base et de fondation : **Catégorie C (Eventuellement D)**.

11. UTILISATIONS POTENTIELLES DES "Laitiers FERRO-MANGANESE"

PREAMBULE

Les applications potentielles qui suivent sont en accord avec les règlements et autorisations actuels, l'objectif du programme national "Résidus des Processus Thermiques" sera de préciser les conditions environnementales de ces utilisations.

Pour certaines d'entre elles, il est nécessaire que le matériau présente ou soit très proche d'une stabilité volumique totale.

Stabilité volumique :

- appréhendée à la fois par l'essai "Vapeur" et l'essai "Bain-marie",
- garantie par le fournisseur au travers d'un "Plan d'Assurance Qualité" (PAQ) qui doit préciser, en amont de la mise sur le marché de la fourniture, le mode de gestion qu'il a estimé le mieux approprié eu égard à sa spécificité.

Cette obligation peut cependant être modulée en fonction de la destination du matériau. Ainsi pour une structure ouverte, non recouverte, comme peut l'être un chemin de remembrement en rase campagne, l'obligation à ce niveau ne sera pas de même importance que pour un remblai routier, une plate-forme de chaussées, un béton bitumineux pour couche de roulement, ... des structures "souples" pouvant accepter sans trop de dommages des déformations modérées.

Il n'en ira pas de même pour les structures rigides (voir § 11.2) pour lesquelles les granulats entrant dans leur composition doivent s'avérer parfaitement stables.

± ±
±

Les applications potentielles de ce matériau sont essentiellement d'ordre routière : constructions de remblais et plus largement d'ouvrages en terre, de couches de forme support de chaussées, granulats entrant dans la composition des produits routiers,

* L'aspect "TERRASSEMENT" est géré par la norme NF P11-300 pour ce qui concerne l'identification et la classification des sols et par le Guide tech-

nique "Construction des remblais et des couches de forme" pour ce qui concerne leurs modalités d'utilisation en ce domaine.

- * L'aspect "CHAUSSEES" est géré d'une part par l'ensemble des normes "Produits" dont la liste est jointe dans la partie du document intitulée "Textes réglementaires et normes - Méthodes d'essais et techniques opératoires" et d'autre part par la norme XP P18-540 "GRANULATS, Définition, conformité, spécifications" qui classe les matériaux en diverses catégories selon leurs caractéristiques physiques (granularité, propreté, forme, ...) et leurs caractéristiques intrinsèques* (Masse volumique, résistance vis à vis des chocs, de l'attrition, du polissage, ..); ceci pour tous les domaines de la construction, désignés dans cette norme par "Article" :

- ◇ Article 7 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de fondation, de base et de liaison,
- ◇ Article 8 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de roulement utilisant des liants hydrocarbonés,
- ◇ Article 9 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Béton de ciment,
- ◇ Article 10 - GRANULATS POUR BETONS HYDRAULIQUES,
- ◇ Article 11 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Assises,
- ◇ Article 12 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Ballast et gravillons de soufflage.

- Voir § 10 ci-dessus

11.1 UTILISATION EN TERRASSEMENTS

â Il est rappelé que les utilisations listées ci-après supposent un matériau proche de la stabilité totale en terme de gonflements tels qu'ils peuvent être appréhendés à la fois par l'essai "Vapeur" et "Bain-marie".

11.1.1 CONSTRUCTION DE REMBLAIS

Le matériau, sous la forme d'un O/D peut être utilisé pour la construction de remblais routiers . Etablis sous des pentes de 2 pour 3 (2 en vertical pour 3 en horizontal), leur hauteur ne sera subordonnée qu'à la nature (compressibilité) du sol support.

- * En zone inondable ou d'une présence proche de la surface de la nappe phréatique, le laitier peut être utilisé pour constituer la base de remblais érigés ensuite à partir de matériaux érodables ou capillaires (mise hors eau).

11.1.2 CONSTRUCTION DE COUCHES DE FORME DE CHAUSSEES

Les caractéristiques intrinsèques du "Laitier FERRO-MANGANESE", alliées à une distribution granulométrique appropriée, permettront de le considérer de classe

D21 ou D31 Catégories des matériaux considérés comme insensibles vis à vis de l'eau.

telles qu'elles sont définies dans le guide technique SETRA-LCPC de septembre 1992

"REALISATION DES REMBLAIS ET DES COUCHES DE FORME - GTR -".

"Le Laitier FERRO-MANGANESE", trouvera un emploi privilégié pour toute plateforme s'inscrivant dans des profils rasants avec nappe phréatique peu profonde.

- * Pour plus de précisions concernant la définition des épaisseurs à mettre en œuvre, on se reportera au GTR.

11.1.3 AUTRES UTILISATIONS

La masse volumique plus importante que celle d'un granulats naturel, la perméabilité en tant que d/D et la résistance mécanique du matériau peuvent être exploitées :

- * pour la construction de gabions, masques et/ou éperons drainants dans le cadre de stabilité de pentes de talus incertaine,
- * pour constitution de tranchées ou de massifs drainants,
- * pour l'amélioration de la portance des sols dans le cadre de la mise en œuvre des techniques de pilonnage intensif ou de la mise en place de colonnes ballastées.

11.2 UTILISATION EN CHAUSSEES

* Les connaissances actuelles conduisent à ne pas utiliser des matériaux de ce type dans le cadre de la fabrication de "Graves traitées aux liants hydrauliques" en raison des modules d'élasticité élevés présentés à terme par de tels produits. Extrêmement rigides, ils acceptent mal toute déformation, même mesurée, au sein du milieu ainsi constitué après qu'il ait fait prise. Le monolithisme du "Produit" pourrait de la sorte être compromis par le développement de contraintes internes liées à l'expansion, même mesurée, du granulats. En suivrait alors la ruine de la structure ou, pour le moins, un niveau de service en deçà de celui initialement envisagé.

* Ce scénario, entièrement théorisé ici, n'est cependant pas inéluctable compte tenu de la spécificité du matériau, notamment pour ce qui concerne sa composition tant pétrographique que chimique. Cette dernière peut éventuellement, lors du développement des prises hydrauliques, aider à "contrebalancer" d'éventuels gonflements du granulats.

* La seule approche pragmatique en la matière pour lever ces hypothèses et incertitudes est de procéder à des formulations en laboratoire et, probablement plus important encore, apprécier, sur quelques chantiers pilotes, le comportement de tels produits.

- * Eu égard à ses caractéristiques intrinsèques et plus encore en raison de son aspect plus ou moins scoriacé (présence d'alvéoles plus ou moins importantes en surface des gravillons qui entraîneront une surconsommation de liant et une hétérogénéité du produit fini), "Le Laitier FERRO-MANGANESE", ne peut pas être exploité en association avec un liant bitumineux.

Selon cette règle, sont possibles les :

- ◇ Graves non traitées - GNT* -.

* Pour cette utilisation, il est considéré que le matériau a été préalablement "passivé" afin de le rendre proche de la stabilité volumique totale.

Pour plus de précisions quant à l'adéquation entre les caractéristiques physiques et intrinsèques des granulats et celles des "Produits routiers" dans lesquels ils entreront, il y a lieu de se reporter aux normes spécifiques correspondantes :

- NF P 98-125 et 129 : Graves non Traitées - GNT -.



LAMINES MARCHANDS EUROPEENS - LME - LAI TIERS D'ACIERIE ELECTRIQUE

1. PREAMBULE

Deux laitiers sont produits dans le cadre de la fabrication d'acier par la
Sté "LAMINES MARCHANDS EUROPEENS - LME - "

- ◆ Les "Laitiers de poche"
- ◆ Les "Laitiers de four"

Ce sont ces derniers, les "Laitiers de four" qui font l'objet du présent document. Celui-ci a été établi à partir d'analyses effectuées sur un prélèvement, de production "fraîche" (matériau non mûré), réputé représentatif de la production moyenne des "Laitiers de four" de la "Sté LME".

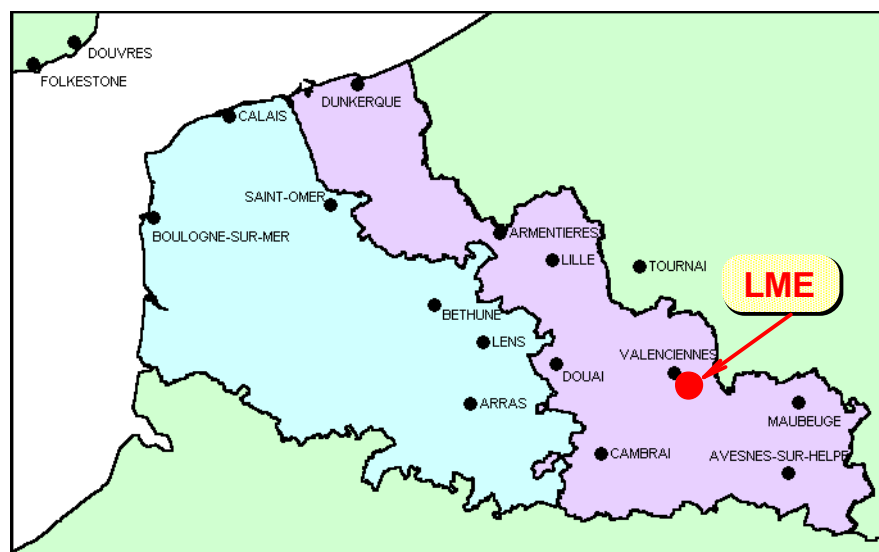
Les résultats obtenus à la faveur de ces dernières "situent" le matériau, sans pour autant donner d'indications sur sa variabilité physico-chimique.

2. IDENTIFICATION DE LA SOCIETE

- ◆ Raison sociale : LAMINES MARCHANDS EUROPEENS - LME -
- ◆ Adresse postale : 2 rue Emile ZOLA
BP 1 - 59125 TRITH St LEGER
- ◆ Téléphone : 03.27.14.20.20
- ◆ Télécopie : 03.27.14.20.16
- ◆ E.mail : m.bleuse@lme.fr

3. ACTIVITE - PRODUCTION

La Sté LME, à partir de son aciérie installée sur le territoire de la commune de TRITH St LEGER - 59 - (voir carte ci-contre), élabore des aciers (billettes) destinés à la fabrication, par laminage, de profilés métalliques.



L'aciérie électrique, à courant continu, utilise en tant que matière première, des ferrailles de récupération :

- * Copeaux d'usinage (tournures),
- * Ferrailles broyées,
- * Démolitions industrielles
- * Fontes
- * Rebuts de productions sidérurgiques

La production moyenne annuelle s'établit comme suit :

Û Acier : ≈ 700 000 tonnes

Û Laitiers de four : » 100 000 tonnes

4. COMMERCIALISATION DU LAITIER

- ◆ Raison sociale : MTMS (Manumat Manutention Service)
- ◆ Adresse postale : Zone Industrielle n° 2
Batterie 100 - 59309 VALENCIENNES
- ◆ Téléphone : 03.27.21.27.17
- ◆ Télécopie : 03.27.21.27.17

5. MODE D'OBTENTION DU LAITIER

1. Les ferrailles chargées dans le four sont portées à leur point de fusion sous l'effet d'un arc électrique dégageant une puissance énergétique importante.
2. Le laitier surnageant à la surface du bain, constitué des impuretés issues de l'élaboration de l'acier est versé au sol par basculement de la cuve du four.
3. Après leur refroidissement, "les laitiers de four" sont transportés vers la zone de traitement où ils sont déferrailés, criblés et calibrés avant commercialisation.

6. COMPOSITION DU LAITIER

Sur la fraction 0/20 mm du matériau "Tout venant", les analyses chimiques montrent que les éléments majeurs sont représentés par le fer, le calcium, le silicium et dans une moindre mesure par l'aluminium. Le magnésium et le manganèse sont également présents en plus faible quantité.

Analyses semi-quantitatives par fluorescence X (valeurs en pourcentages massiques)

Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Ba	Sr	Zn	Cl
1.34	5.72	8.63	0.35	0.15	Tr	17.40	0.32	Tr	1.68	2.75	26.40	Tr	0.12	Tr	Tr	Tr

Tr : Traces : < à 0.1%)

L'étude minéralogique fait principalement apparaître des composés de type silicate bi-calcique et aluminosilicate de calcium, associés à des oxydes de fer et des oxydes de la famille des spinelles.

- * Le taux de chaux libre résiduelle $[CaO + Ca(OH)_2]$, exprimé en équivalent CaO se situe vers 0,8%, sur la fraction 0/20 mm du "Tout venant" (Détermination par la méthode LEDUC).

7. POSITION VIS A VIS DE L'ENVIRONNEMENT

Dans l'attente d'une réglementation prochaine qui devrait codifier les usages en matière de recyclage et de valorisation des "Résidus des Procédés Thermiques - RPT* -", les services administratifs compétents autorisent l'utilisation des "Laitiers de four LME". Cette autorisation est cependant subordonnée à la mise en place d'un "Plan d'Assurance Qualité".

Dans ce cadre, la "Sté LME" procède mensuellement à une analyse chimique sur le "brut" et sur le lixiviat obtenu selon XP P31-210 :

- une caractérisation complète, une fois l'an, du laitier brut et de son lixiviat obtenu selon les modalités de la norme XP P31-210,
- une quantification mensuelle sur lixiviat du chrome VI, du chrome total, du zinc et du nickel.

* Procédure décrite en fin de la partie intitulée "ORIENTATION - JUSTIFICATION - ORIENTATION"

8. STABILITE VOLUMIQUE DU MATERIAU

les tests prédictifs de comportement ont conduit aux résultats suivants :

- Test à la "Vapeur" : Pas de gonflements constatés,
- Test au "Bain-marie" : Gonflements faibles à peu significatifs (< 0.3%).
(Le comportement asymptotique est atteint vers 30 jours).

9. FRACTIONS GRANULOMETRIQUES DISPONIBLES

A la demande, par concassage-criblage dans une installation spécialisée, le "Tout venant" 0/300 mm (environ) peut être distribué selon les fractions granulométriques les plus diverses.

10. CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES

Elles se situent de la sorte

- Masse volumique absolue - Γ_r^* - : » 3,80 t/m³
- Coefficient Los Angeles - LA^{**} - : Fraction 10/14 mm : » 17
- Micro Deval en présence d'Eau - MDE^{***} - : Fraction 10/14 mm : » 9.0
- Coefficient de Polissage Accéléré - CPA^{****} - : Fraction 6,3/10 mm : » 0.54

* la masse volumique absolue d'un matériau naturel de type calcaire dur, granit, diorite, ... se situe entre 2.7 et 2.9 t/m³

** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis des chocs

*** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis de l'attrition (usure par frottement)

**** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis du polissage (traduit le frottement pneumatique/granulat)

Au regard de la norme [XP 18-540](#) octobre 1997, les "Laitiers de four LME" relèvent, pour ce qui concerne les gravillons :

↳ **Article 7** : Granulats pour chaussées - Couche de fondation , de base et de fondation : **Catégorie B**

↳ **Article 8** : Granulats pour chaussées - Couche de roulement utilisant des liants hydrocarbonés : **Catégorie B**

11. UTILISATIONS POTENTIELLES DES "Laitiers LME"

PREAMBULE

Les applications potentielles qui suivent sont en accord avec les règlements et autorisations actuels, l'objectif du programme national "Résidus des Processus Thermiques" sera de préciser les conditions environnementales de ces utilisations.

Pour certaines d'entre elles, il est nécessaire que le matériau présente ou soit très proche d'une stabilité volumique totale :

Stabilité volumique :

- appréhendée à la fois par l'essai "Vapeur" et l'essai "Bain-marie"
- garantie par le fournisseur au travers d'un "Plan d'Assurance Qualité" (PAQ) qui doit préciser, en amont de la mise sur le marché de la fourniture, le mode de gestion qu'il a estimé le mieux approprié eu égard à sa spécificité.

Cette obligation peut cependant être modulée en fonction de la destination du matériau. Ainsi pour une structure ouverte, non recouverte, comme peut l'être un chemin de remembrement en rase campagne, l'obligation à ce niveau ne sera pas de même importance que pour un remblai routier, une plate-forme de chaussées, un béton bitumineux pour couche de roulement, ... des structures "souples" pouvant accepter sans trop de dommages des déformations modérées.

Il n'en ira pas de même pour les structures rigides (voir § 11.2) pour lesquelles les granulats entrant dans leur composition doivent s'avérer parfaitement stables.

± ±
±

Les applications potentielles de ce matériau sont essentiellement d'ordre routière : constructions de remblais et plus largement d'ouvrages en terre, de couches de forme support de chaussées, granulats entrant la composition des produits routiers,

- * L'aspect "TERRASSEMENT" est géré par la norme NF P11-300 pour ce qui concerne l'identification et la classification des sols et par le Guide technique "Construction des remblais et des couches de forme" pour ce qui concerne leur modalités d'utilisation en ce domaine.
- * L'aspect "CHAUSSEES" est géré d'une part par l'ensemble des normes "Produits" dont la liste est jointe dans la partie du document intitulée "Textes réglementaires et normes - Méthodes d'essais et techniques opératoires" et d'autre part par la norme XP P18-540 "GRANULATS, Défini-

tion, conformité, spécifications" qui classe les matériaux en diverses catégories selon leurs caractéristiques physiques (granularité, propreté, forme, ...) et leurs caractéristiques intrinsèques* (Masse volumique, résistance vis à vis des chocs, de l'attrition, du polissage, ..); Ceci pour tous les domaines de la construction, désignés dans cette norme par "Article" :

- ◇ Article 7 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de fondation, de base et de liaison
 - ◇ Article 8 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de roulement utilisant des liants hydrocarbonés
 - ◇ Article 9 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Béton de ciment
 - ◇ Article 10 - GRANULATS POUR BETONS HYDRAULIQUES
 - ◇ Article 11 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Assises
 - ◇ Article 12 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Ballast et gravillons de soufflage
- Voir § 10 ci-dessus

11.1 UTILISATION EN TERRASSEMENTS

11.1.1 CONSTRUCTIONS DE REMBLAI

Le matériau, sous la forme d'un O/D peut être utilisé pour la construction de remblais routiers . Etablis sous des pentes de 2 pour 3 (2 en vertical pour 3 en horizontal), leur hauteur ne sera subordonnée qu'à la nature (compressibilité) du sol support.

- * En zone inondable ou d'une présence proche de la surface de la nappe phréatique, le laitier, peut être utilisé pour constituer la base de remblais érigés ensuite à partir de matériaux érodables ou capillaires (mise hors eau).

11.1.2 CONSTRUCTION DE COUCHES DE FORME DE CHAUSSEES

Les caractéristiques intrinsèques des "Laitiers de four LME", alliées à une distribution granulométrique appropriée, permettront de le considérer de classe

D21 ou D31 Catégories des matériaux considérés comme insensibles vis à vis de l'eau.

telles qu'elles sont définies dans le guide technique SETRA-LCPC de septembre 1992

"REALISATION DES REMBLAIS ET DES COUCHES DE FORME - GTR -".

"Les Laitiers de four LME", trouveront un emploi privilégié pour toute plate-forme s'inscrivant dans des profils rasants avec nappe phréatique peu profonde.

- * Pour plus de précisions concernant la définition des épaisseurs à mettre en œuvre, on se reportera au GTR.

.../...

11.1.3 AUTRES UTILISATIONS

La masse volumique, légèrement plus importante que celle d'un granulats naturel, la perméabilité en tant que d/D et la résistance mécanique du matériau peuvent être exploitées.

- * pour la construction de gabions, masques et/ou éperons drainants dans le cadre de stabilité de pentes de talus incertaine.
- * pour constitution de tranchées ou de massifs drainants.
- * pour l'amélioration de la portance des sols dans le cadre de la mise en œuvre des techniques de pilonnage intensif ou de la mise en place de colonnes ballastées.

11.2 UTILISATION EN CHAUSSEES

- * La réponse favorable vis à vis des tests de gonflements et la très faible teneur en chaux libre du "Laitier de four LME" devraient permettre son exploitation dans le cadre de la fabrication de "Graves traitées aux liants hydrauliques". La seule approche pragmatique en la matière est de procéder à des formulations en laboratoire et, probablement plus important encore, apprécier, sur quelques chantiers pilotes, le comportement à terme de tels produits.
- * "Les Laitiers de four LME", peuvent être exploités, soit en l'état, soit en association avec un liant bitumineux.

Selon cette règle, sont possibles les :

- * Graves non traitées - GNT -,
- * Enduits superficiels,
- * Graves à base de liants hydrocarbonés,
- * Grave bitume.

Pour plus de précisions quant à l'adéquation entre les caractéristiques physiques et intrinsèques des granulats et celles des "Produits routiers" dans lesquels ils entreront, il y a lieu de se reporter aux normes spécifiques correspondantes

- NF P 98-125 et 129 : Graves non Traitées - GNT -
- NF P 98-160 : Enduits superficiels d'usure
- Série NF P 98-130/140 : Enrobés à chaud



ASCOMETAL Usine des Dunes

LAITIERS D'ACIERIE ELECTRIQUE

1. PREAMBULE

Deux laitiers sont produits dans le cadre de la fabrication d'acier par la :

Sté ASCOMETAL Usine des Dunes

- ◆ Le "Laitier d'affinage"
- ◆ Le "Laitier de fusion"

C'est ce dernier, le "Laitier de fusion" qui fait l'objet du présent document. Celui-ci a été établi à partir d'analyses effectuées sur un prélèvement, de production "fraîche" (matériau non mûré), réputé représentatif de la production moyenne du laitier de fusion de la **Sté ASCOMETAL**.

Les résultats obtenus à la faveur de ces dernières "situent" le matériau, sans pour autant donner d'indications sur sa variabilité physico-chimique.

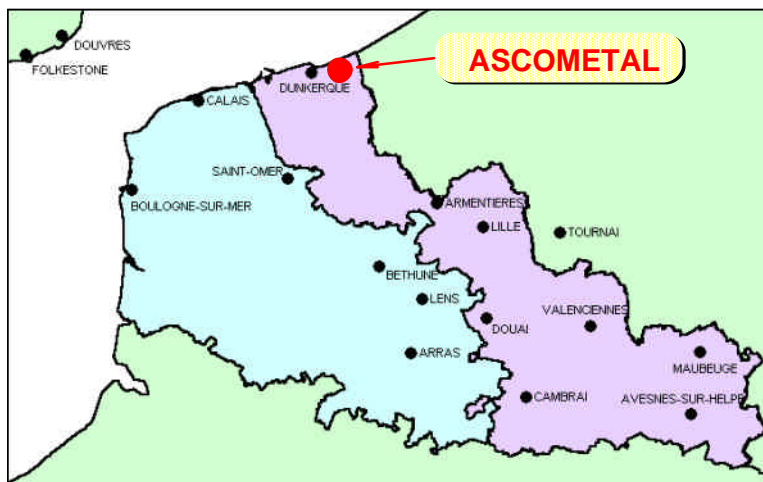
2. IDENTIFICATION DE LA SOCIETE

- ◆ Raison sociale : ASCOMETAL - Usine des Dunes
- ◆ Adresse postale : B.P. 41 - 59941 DUNKERQUE Cedex 2
- ◆ Téléphone : 03.28.29.61.68
- ◆ Télécopie : 03.28.29.60.15
- ◆ E.mail : e.lefevre@ascometal.lucchini.com

3. ACTIVITE - PRODUCTION

La Sté ASCOMETAL, à partir de son usine installée sur le territoire de la commune de LEFFRINCKOUKE (au nord de Dunkerque), élabore des produits de forte section qu'elle exporte dans le monde entier :

- * Ronds bruts de coulée continue rotative de 170 à 325 mm



- * Barres laminées avec ou sans traitement thermique (ronds de 80 à 300 mm, billettes de 70 à 160 mm)
- * Barres écrouées de 76 à 300 mm.:

L'aciérie électrique, à courant alternatif, utilise en tant que matière première, des rebuts métalliques ferreux tels que :

- * Tournures (Copeaux d'usinage),
- * Ferrailles broyées,
- * Démolitions industrielles,
- * Fontes,
- * Rebut de productions sidérurgiques.

La production annuelle moyenne s'établit comme suit :

- ▷ Acier : » 420 000 tonnes
- ▷ Laitier de fusion : » 42 000 tonnes

4. COMMERCIALISATION DU LAITIER

- ◆ Raison sociale : Société Européenne de Prestations Industrielles - SEPI -.
- ◆ Adresse postale : Enceinte ASCOMETAL - B.P. 14 - 59495 LEFFRI NCKOUKE
- ◆ Téléphone : 03.28.69.60.61
- ◆ Télécopie : 03.28.29.00.61
- ◆ E.mail : //

5. MODE D'OBTENTION DU LAITIER

1. Les ferrailles chargées dans le four sont portées à leur point de fusion sous l'effet d'un arc électrique dégageant une puissance énergétique importante.
Nota : Pour des raisons liées au fonctionnement du four, de la chaux vive est introduite en même temps que la ferraille.
2. Le laitier de fusion surnage à la surface du bain. Constitué des impuretés issues de l'élaboration de l'acier, il est versé au sol par basculement de la cuve du four.
3. Après refroidissement partiel, le laitier de fusion est transporté vers la zone de traitement où, après une maturation d'une durée minimale de trois mois - Production d'un trimestre - il est criblé, calibré, pour commercialisation.

6. COMPOSITION DU LAITIER

Sur la fraction 0/20 mm du matériau "Tout venant", les analyses chimiques montrent que les éléments majeurs sont représentés par le fer, le calcium, le silicium et dans une moindre mesure par l'aluminium, le magnésium et le manganèse.

Analyses semi-quantitatives par fluorescence X (valeurs en pourcentages massiques)

Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Mo	Ba	Sr
3.27	3.98	7.64	0.27	0.19	nd	17.24	0.24	0.09	1.99	3.90	24.25	tr	tr	tr	tr	tr

Tr : Traces : < à 0.1%)

L'étude minéralogique fait principalement apparaître des composés de type silicate bicalcique et aluminates de calcium, associés à des oxydes de fer et des oxydes de la famille des spinelles.

* Le taux de chaux libre résiduelle $[CaO + Ca(OH)_2]$, exprimé en équivalent CaO se situe vers 1.1%, sur la fraction 0/20 mm du "Tout venant" (Détermination par la méthode LEDUC).

7. POSITION VIS A VIS DE L'ENVIRONNEMENT

Dans l'attente d'une réglementation prochaine qui devrait codifier les usages en matière de recyclage et de valorisation des "Résidus des Procédés Thermiques - RPT* -", les services administratifs compétents autorisent l'utilisation du "Laitier de fusion ASCOMETAL". Cette autorisation est cependant subordonnée à la mise en place d'un "Plan d'Assurance Qualité".

Dans ce cadre, la [Sté ASCOMETAL](#) va procéder, une fois l'an, à une analyse sur lixiviat obtenu selon XP P31-210.

*Procédure décrite en fin de la partie intitulée "ORIENTATION - JUSTIFICATION - ORIENTATION"

8. STABILITE VOLUMIQUE DU MATERIAU

les tests prédictifs de comportement ont conduit aux résultats suivants :

- Test à la "Vapeur" : Gonflements de l'ordre de 1.8 à 3%
(Le comportement asymptotique est atteint vers le 8^{ème} jour).
- Test au "Bain-marie" : Gonflements de l'ordre de 2.0%
(Le comportement asymptotique est atteint vers 130 jours).

9. FRACTIONS GRANULOMETRIQUES MARCHANDES DISPONIBLES

A la demande, par concassage-criblage dans une installation spécialisée, le "Tout venant" \approx 0/300 mm peut être distribué selon les fractions granulométriques les plus diverses.

10. CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES

Elles se situent de la sorte :

- Masse volumique absolue - ρ_r^* - : $\rho_r^* = 3,90 \text{ t/m}^3$
- Coefficient Los Angeles - LA^{**} - : Fraction 10/14 mm : $\rho_r^* = 20$
- Micro Deval en présence d'Eau - MDE^{***} - : Fraction 10/14 mm : $\rho_r^* = 10$
- Coefficient de Polissage Accéléré - CPA^{****} - : Fraction 6,3/10 mm : $\rho_r^* = 0.52$

* la masse volumique absolue d'un matériau naturel de type calcaire dur, granit, diorite, ... se situe entre 2.7 et 2.9 t/m³

** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis des chocs

*** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis de l'attrition (usure par frottement)

**** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis du polissage (traduit le frottement pneumatique/granulat)

* Au regard de la norme XP 18-540 octobre 1997 :

"GRANULATS, Définition, conformité, spécifications"

"Le laitier de fusion ASCOMETAL" relève, pour ce qui concerne les "GRAVILLONS" :

↳ Article 7 : Granulats pour chaussées : Couche de fondation , de base et de fondation : **Catégorie B**

↳ Article 8 : Granulats pour chaussées - Couche de roulement utilisant des liants hydrocarbonés : **Catégorie B**

*Voir § 11 ci-après

11. UTILISATIONS POTENTIELLES DU "LAITIER DE FUSION ASCOMETAL"

PREAMBULE

Les applications potentielles qui suivent sont en accord avec les règlements et autorisations actuels, l'objectif du programme national "Résidus des Processus thermiques" sera de préciser les conditions environnementales de ces utilisations".

Pour certaines d'entre elles, il est nécessaire que le matériau présente ou soit très proche d'une stabilité volumique totale :

Stabilité volumique :

- appréhendée à la fois par l'essai "Vapeur" et l'essai "Bain-marie"
- garantie par le fournisseur au travers d'un "Plan d'Assurance Qualité" (PAQ) qui doit préciser, en amont de la mise sur le marché de la fourniture, le mode de gestion qu'il a estimé le mieux approprié eu égard à sa spécificité.

Cette obligation peut cependant être modulée en fonction de la destination du matériau. Ainsi pour une structure ouverte, non recouverte, comme peut l'être un chemin de remembrement en rase campagne, l'obligation à ce niveau ne sera de même importance que pour un remblai routier, une plate-forme de chaussées, un béton bitumineux pour couche de roulement, ... des structures "souples" pouvant accepter sans trop de dommages des déformations modérées.

Il n'en ira pas de même pour les structures rigides (voir § 11.2) pour lesquelles les granulats entrant dans leur composition doivent s'avérer parfaitement stables.

± ±
±

Les applications potentielles de ce matériau sont essentiellement d'ordre routière : Constructions de remblais et plus largement d'ouvrages en terre, de couches de forme support de chaussées, granulats entrant la composition des produits routiers,

* L'aspect "TERRASSEMENT" est géré par la norme NF P11-300 pour ce qui concerne l'identification et la classification des sols et par le Guide technique "Construction des remblais et des couches de forme" pour ce qui concerne leurs modalités d'utilisation en ce domaine.

* L'aspect "CHAUSSEES" est géré d'une part par l'ensemble des normes "Produits" dont la liste est jointe dans la partie du document intitulée "Textes réglementaires et normes - Méthodes d'essais et techniques opératoires" et d'autre part par la norme XP P18-540 " GRANULATS, Définition, conformité, spécifications" qui classe les matériaux en diverses catégories selon leurs caractéristiques physiques (granularité, propreté, forme, ...) et leurs caractéristiques intrinsèques* (Masse volumique, résistance vis à vis des chocs, de l'attrition, du polissage, ..); ceci pour tous les domaines de la construction, désignés dans cette norme par "Article" :

- ◇ Article 7 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de fondation, de base et de liaison
- ◇ Article 8 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de roulement utilisant des liants hydrocarbonés
- ◇ Article 9 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Béton de ciment
- ◇ Article 10 - GRANULATS POUR BETONS HYDRAULIQUES
- ◇ Article 11 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Assises
- ◇ Article 12 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Ballast et gravillons de soufflage

* Voir § 10 ci-dessus

11.1 UTILISATION EN TERRASSEMENTS

11.1.1 Constructions de remblai

"Le Laitier de fusion ASCOMETAL", sous la forme d'un O/D peut être utilisé pour la construction de remblais routiers . Etablis sous des pentes de 2 pour 3 (2 en vertical pour 3 en horizontal), leur hauteur ne sera subordonnée qu'à la nature (compressibilité) du sol support.

* En zone inondable ou d'une présence proche de la surface de la nappe phréatique, le laitier peut être utilisé pour constituer la base de remblais érigés ensuite à partir de matériaux érodables ou capillaires (mise hors eau).

11.1.2 Construction de couches de forme de chaussées

Les caractéristiques intrinsèques du "Laitier de fusion d'ASCOMETAL", alliées à une distribution granulométrique appropriée, permettront de le considérer de classe

D21 ou D31, catégorie des matériaux considérés insensibles vis à vis de l'eau.

telles qu'elles sont définies dans le guide technique SETRA-LCPC de septembre 1992 :

"REALISATION DES REMBLAIS ET DES COUCHES DE FORME - GTR -".

"Le Laitier ASCOMETAL" trouvera un emploi privilégié pour toute plate-forme s'inscrivant dans des profils rasants avec nappe phréatique peu profonde.

* Pour plus de précisions concernant la définition des épaisseurs à mettre en œuvre, on se reportera au GTR.

.../...

11.1.3 Autres utilisations

La masse volumique, plus élevée que celle d'un granulats naturel, la perméabilité en tant que d/D et la résistance mécanique du matériau peuvent être exploitées :

- * pour la construction de gabions, masques et/ou éperons drainants dans le cadre de stabilité de pentes de talus incertaine.
- * pour constitution de tranchées ou de massifs drainants.
- * pour l'amélioration de la portance des sols dans le cadre de la mise en œuvre des techniques de pilonnage intensif ou de la mise en place de colonnes ballastées.

11.2 UTILISATION EN CHAUSSEES

* Les connaissances actuelles conduisent à ne pas utiliser des matériaux de ce type dans le cadre de la fabrication de "Graves traitées aux liants hydrauliques" en raison des modules d'élasticité élevés présentés à terme par de tels produits. Extrêmement rigides, ils acceptent mal toute déformation, même mesurée, au sein du milieu ainsi constitué après qu'il ait fait prise. Le monolithisme du "Produit" pourrait de la sorte être compromis par le développement de contraintes internes liées à l'expansion, même mesurée, du granulats. En suivrait alors la ruine de la structure ou, pour le moins, un niveau de service en deçà de celui initialement envisagé.

* Ce scénario, entièrement théorisé ici, n'est cependant pas inéluctable compte tenu de la spécificité du matériau, notamment pour ce qui concerne sa composition tant pétrographique que chimique. Cette dernière peut éventuellement, lors du développement des prises hydrauliques, aider à "contrebalancer" d'éventuels gonflements du granulats.

* La seule approche pragmatique en la matière pour lever ces hypothèses et incertitudes est de procéder à des formulations en laboratoire et, probablement plus important encore, apprécier, sur quelques chantiers pilotes, le comportement de tels produits.

* "Le laitier de fusion ASCOMETAL" peut être exploité, soit en l'état, soit en association avec un liant bitumineux.

Selon cette règle, sont possibles les :

- * Graves non traitées - GNT -
- * Enduits superficiels
- * Graves à base de liants hydrocarbonés
- * Grave bitume.

Pour plus de précisions quant à l'adéquation entre les caractéristiques physiques et intrinsèques des granulats et celles des "Produits routiers" dans lesquels ils pourraient entrer, il y a lieu de se reporter aux normes spécifiques correspondantes

- NF P 98-125 et 129 : Graves non Traitées - GNT -
- NF P 98-160 : Enduits superficiels d'usure
- Série NF P 98-130/140 : Enrobés à chaud.



METALEUROP Nord

SCORIES / Fonderies de ZINC et de PLOMB

1. PREAMBULE

Deux scories sont produites dans le cadre de la fabrication de zinc et de plomb par la
Sté METALEUROP Nord

- ◆ Les "Scories de ZINC"
- ◆ Les "Scories de PLOMB"

Ce sont ces deux scories qui font l'objet du présent document. Celui-ci été établi à partir d'analyses effectuées sur un prélèvement, de production "fraîche" (matériau non mûré), réputé représentatif de la production moyenne des "Scories de ZINC et de PLOMB" de la Sté METALEUROP Nord

Les résultats obtenus à la faveur de ces dernières "situent" les matériaux, sans pour autant donner d'indications sur leur variabilité physico-chimique.

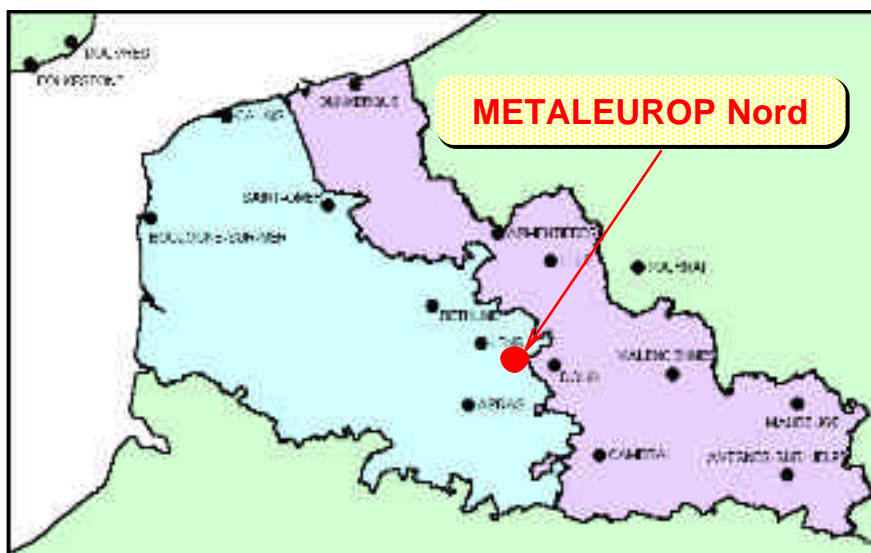
2. IDENTIFICATION DE LA SOCIETE

- ◆ Raison sociale : METALEUROP Nord
- ◆ Adresse postale : 1 rue Malfidano - 62950 NOYELLES-GODAULT
- ◆ Téléphone : 03.21.08.52.00
- ◆ Télécopie : 03 21 08 52 02

3. ACTIVITE - PRODUCTION

La Sté "METALEUROP Nord" à partir de ses fonderies installées sur le territoire de la commune de NOYELLES-GODAULT (62)

(voir carte ci-contre), élabore des lingots de ZINC et de PLOMB à partir de minerais spécifiques à chacune de ces deux filières.



Les minerais utilisés par **METALEUROP Nord**, sont préalablement enrichis sur les lieux d'extraction. Il s'agit soit d'un sulfure de zinc (ZnS) - la blende- soit d'un sulfure de plomb (PbS) - la galène -. Ces deux sulfures sont répartis dans une gangue dont les éléments principaux sont le fer et la silice.

Celle-ci contient également d'autres métaux qui sont récupérés lors du processus de traitement (Argent-Ag, Cuivre-Cu, Cadmium-Cd, Antimoine-Sb, Germanium-Ge, Bismuth-B et Indium-In).

Le zinc et le plomb produits aux termes du procédé sidérurgique sont purs à près de 99,995%.

La production moyenne annuelle s'établit comme suit :

↳ Zinc : »105 000 tonnes

↳ Scorie de zinc : : » 65 000 tonnes

↳ Plomb : »150 000 tonnes

↳ Scorie de plomb : »105 000 tonnes

4. COMMERCIALISATION DES SCORIES

Les scories sont gérées et commercialisées par :

- ◆ Raison sociale : METALEUROP
- ◆ Adresse postale : 69 rue de Monceau - 75008 PARIS
- ◆ Téléphone : 01.42.99.48.48
- ◆ Télécopie : 01.42.99.48.22
- ◆ E.mail : nello.faggion@metaleurop.fr

5. MODE D'OBTENTION DES SCORIES

5.1 LA FONDERIE DE ZINC

1. Après une phase de préparation consistant en l'incorporation de fondants et de matières secondaires, les minerais de **zinc** et de **plomb** sont grillés sous une température de l'ordre de 900°C. **Les sulfures de zinc et de plomb** sont ainsi transformés respectivement en **oxydes de zinc et de plomb** (ZnO et PbO).

2. L'aggloméré (ZnO et PbO) issu de la phase 1 est introduit, en alternance avec du coke, dans un haut-fourneau. La température atteinte à l'intérieur de ce dernier conduit à l'ébullition du **zinc** (907°C).

Le **zinc**, sous forme de vapeur, est refroidi rapidement par une pluie de **plomb** en fusion ; la différence de solubilité et de densité de ces deux matériaux permettant de les dissocier.

Le **zinc** produit de la sorte titre 98%. Il fait ensuite l'objet d'un raffinage par distillations fractionnées faisant monter sa richesse à près de 100%. C'est à ce niveau que

sont récupérés les métaux associés (Cadmium, Germanium, Indium.....). La production de zinc à raffiner atteint 105 000 tonnes.

3. Dans le haut-fourneau, la scorie "Filière ZINC" surnage au dessus du plomb. Ce dernier est récupéré en base de l'appareil pour être dirigé vers le raffinage. A ce stade, le plomb titre 90% et sa production est d'environ 30 000 tonnes.
4. Dès sa collecte, la scorie "Filière ZINC" est à la fois refroidie et grenillée par un arrosage à l'eau. Elle est ensuite, sans autre manipulation, déposée sur un terril en périphérie de l'usine.

5.2 FONDERIE DE PLOMB

- ◆ Le procédé est identique à celui de la filière zinc. Les sulfures de plomb sont grillés et les oxydes résultants sont, en alternance avec du coke, chargés dans un haut-fourneau. La scorie et le plomb sont séparés par différence densimétrique. Le plomb titre 96% et sa production est d'environ 120 000 tonnes.
- ◆ Dès sa collecte, la scorie "Filière PLOMB" est à la fois refroidie et grenillée par un courant d'eau sous pression. Elle est ensuite, sans autre manipulation, déposée sur un terril en périphérie de l'usine.

6. COMPOSITION DES SCORIES

Les analyses chimiques réalisées sur les matériaux "Tout venant" montrent que pour les deux scories les éléments majeurs sont le fer, le silicium, le calcium, le pourcentage d'aluminium étant variable. En ce qui concerne les éléments plomb et zinc, ils interviennent pour environ 12% de la scorie de la filière plomb et pratiquement 8% pour la scorie de la filière zinc.

6.1 FILIERE ZINC

Sur le "Tout venant"

Analyse semi-quantitatives par fluorescence X (valeurs en pourcentages massiques)

Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Sn	Ba	Pb	As
0.80	5.52	11.02	0.17	1.90	0.55	10.82	0.25	0.16	0.69	21.99	0.26	7.20	Tr	0.20	0.82	0.1

Tr : Traces < 0,1%

6.2 FILIERE PLOMB

Sur le "Tout venant"

Analyse semi-quantitatives par fluorescence X (valeurs en pourcentages massiques)

Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn	Sn	Sb	Ba	Pb	As
1.20	1.49	11.60	Tr	0.37	0.28	12.69	0.10	0.10	0.55	23.73	0.12	9.40	0.13	0.16	0.55	2.81	0.1

Tr : Traces < 0,1%

L'approche minéralogique des deux scories fait apparaître une très importante matrice vitreuse aluminosilicatée riche en fer; elle est associée à des oxydes principalement de type spinelle, des particules de plomb et des sulfures divers pour les scories de la filière zinc.

7. POSITION VIS A VIS DE L'ENVIRONNEMENT

Dans l'attente d'une réglementation, prochaine, qui devrait codifier les usages en matière de recyclage et de valorisation des "Résidus des Procédés Thermiques - RPT* -", les services administratifs compétents, pour le moment et jusqu'à plus ample informé, n'autorisent pas l'utilisation des "Scories de PLOMB".

La société METALEUROP valorise, aujourd'hui, une faible quantité de la production de scories de zinc. Des études sont en cours, notamment des traitements au liant hydraulique en vue d'augmenter les quantités valorisées. METALEUROP Nord subordonne, par ailleurs, cette utilisation au respect de la condition suivante : Les "Scories de ZINC" ne doivent, à aucun moment, interférer avec le toit de la nappe phréatique.

*Procédure décrite en fin de la partie intitulée "ORIENTATION - JUSTIFICATION - ORIENTATION"

METALEUROP Nord procède, dans le cadre :

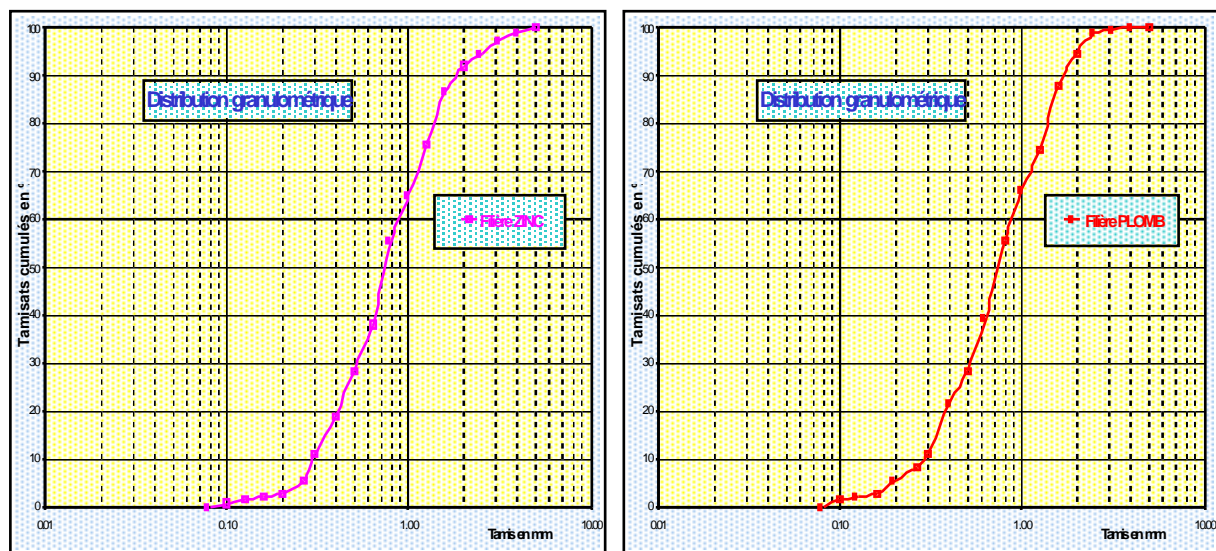
- * du suivi qualitatif de sa fabrication, à une analyse chimique complète, plusieurs fois par jour, des deux scories,
- * de l'impact sur l'environnement, à une analyse chimique mensuelle sur le lixiviat des deux scories, obtenu selon XP P31-210.

8. STABILITE VOLUMIQUE DU MATERIAU

les tests prédictifs de comportement ont conduit aux résultats suivants :

- Test à la "Vapeur" : Pas de gonflements constatés
- Test au "Bain marie" : Pas de gonflements constatés

9. FRACTIONS GRANULOMETRIQUES DISPONIBLES



Les deux scories présentent une même distribution granulométrique, celle d'un sable fin 0/2mm, plutôt homogène. Les éléments de dimension < 80 µm sont quasi absents.

10. CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES

10.1 FILIERE ZINC

- Masse volumique absolue - Γ_r - : » 3.60 t/m³
- Coefficient de Friabilité des sables - FS - : » 17

10.2 FILIERE PLOMB

- Masse volumique absolue - Γ_r - : » 3.80 t/m³
- Coefficient de Friabilité des sables - FS - : » 18

* Au regard de la norme XP 18-540 octobre 1997 :

"GRANULATS, Définition, conformité, spécifications"

les deux Scories METALEUROP NORD, - Filière PLOMB et ZINC- relèvent :

↳ Article 7 : Granulats pour chaussées : Couche de fondation , de base et de fondation : Pas de classification proposée pour ce qui concerne les caractéristiques intrinsèques des sables

↳ Article 8 : Granulats pour chaussées - Couche de roulement utilisant des liants hydrocarbonés : Pas de classification proposée pour ce qui concerne les caractéristiques intrinsèques des sables

11. UTILISATIONS POTENTIELLES DES "SCORIES DE METALEUROP NORD"

Sur la base de leurs caractéristiques physiques et sous réserves qu'il soit démontré que la valorisation de ces scories ne présente pas de risques vis à vis de l'environnement, on peut envisager des valorisations potentielles en terrassement et en chaussées.

Pour certaines d'entre elles, il est nécessaire que le matériau présente ou soit très proche d'une stabilité volumique totale :

Stabilité volumique :

- appréhendée à la fois par l'essai "Vapeur" et l'essai "Bain-marie"
- garantie par le fournisseur au travers d'un "Plan d'Assurance Qualité" (PAQ) qui doit préciser, en amont de la mise sur le marché de la fourniture, le mode de gestion qu'il a estimé le mieux approprié eu égard à sa spécificité.

Cette obligation peut cependant être modulée en fonction de la destination du matériau. Ainsi pour une structure ouverte, non recouverte, comme peut l'être un chemin de remembrement en rase campagne, l'obligation à ce niveau ne sera pas de même importance que pour un remblai routier, une plate-forme de chaussées, un béton bitumineux pour couche de roulement, ... des structures "souples" pouvant accepter sans trop de dommages des déformations modérées.

Il n'en ira pas de même pour les structures rigides (voir § 11.2) pour lesquelles les granulats entrant dans leur composition doivent s'avérer parfaitement stables.

11.1 UTILISATION EN TERRASSEMENTS

11.1.1 Constructions de remblais

Les deux scories pourraient être utilisées pour la construction de remblais routiers dont les talus devraient pouvoir être dressés sous des pentes de 2 pour 3 (2 en vertical pour 3 en horizontal). Cette inclinaison doit cependant être confirmée par la détermination de l'angle de frottement interne. Les hauteurs de remblais ne devraient être subordonnée qu'à la nature (compressibilité) du sol support.

11.1.2 Construction de couches de forme de chaussées

Les caractéristiques intrinsèques et la distribution granulométrique des "Scories de METALEUROP Nord", permettent de les considérer de classe

D11, Catégorie des matériaux considérés comme insensibles vis à vis de l'eau. telle qu'elle est définie dans le guide technique SETRA-LCPC de septembre 1992 :

"REALISATION DES REMBLAIS ET DES COUCHES DE FORME - GTR -".

Les "Scories de METALEUROP Nord", devraient, sur le plan du principe, trouver un emploi dans le cadre de la construction des couches de forme de chaussées. L'allure de la distribution granulométrique pourrait cependant conduire :

- * à quelques difficultés de traficabilité des engins de chantier en cas de diminution sensible de la teneur en eau.
- * à les utiliser sous des épaisseurs relativement développées dans le cadre de profils rasants impliquant des sols en place peu porteur.
- * Pour plus de précisions concernant la définition des épaisseurs à mettre en œuvre, on se reportera au GTR.

11.1.3 Autres utilisations

- ◆ La distribution granulométrique 0/2 mm et l'insensibilité vis à vis de l'eau peuvent être exploitées dans le cadre du remblayage des tranchées. Pour cet aspect, on se reportera au Guide technique SETRA/LCPC de mai 1994
"REMBLAYAGE DES TRANCHÉES ET REFECTION DES CHAUSSEES".
- ◆ La masse volumique, plus importante que celle d'un granulats naturel et la résistance mécanique du matériau peuvent être exploitées pour constitution de tranchées ou de massifs drainants.

11.2 UTILISATION EN CHAUSSEES

- * Les connaissances actuelles conduisent à ne pas utiliser des matériaux de ce type dans le cadre de la fabrication de "Graves traitées aux liants hydrauliques".
- * Ils peuvent être exploités, soit en l'état, soit en association avec un liant bitumineux.

Selon cette règle, sont possibles les :

- * Enduits superficiels d'usure,
- * Coulis bitumineux,
- * Sables traités à base de liants hydrocarbonés.

Pour plus de précisions quant à l'adéquation entre les caractéristiques physiques et intrinsèques des granulats et celles des "Produits routiers" dans lesquels ils entreront, il y a lieu de se reporter aux normes spécifiques correspondantes :

- NF P 98-160 : Enduits superficiels d'usure,
- Série NF P 98-130/140 : Enrobés à chaud.

11.3 UTILISATIONS EN BETONS HYDRAULIQUES

Des études visant à utiliser les scories vers ces créneaux sont actuellement initiées par METALEUROP Nord. Elles s'organisent à la fois autour de la faisabilité technique et de la quantité du flux potentiellement relargable par les scories après qu'elles aient été "inertées" dans le béton.



RECYTECH SA Usine de Fouquières lez Lens

SCORIES de FOUR "WAE LZ"

1. PREAMBULE

- ◆ L'activité métallurgique de la **Sté RECYTECH SA** conduit à la production d'une scorie. C'est cette dernière qui fait l'objet du présent document.

Il a été établi à partir d'analyses effectuées sur un prélèvement de production "fraîche" (matériau non mûré), réputé représentatif de la production moyenne des **Scories de four "WAE LZ"** produites par la **Sté RECYTECH SA**.

Les résultats obtenus à la faveur de ces dernières "situent" le matériau, sans pour autant donner d'indications sur sa variabilité physico-chimique.

2. IDENTIFICATION DE LA SOCIETE

- ◆ Raison sociale : RECYTECH SA
- ◆ Adresse postale : 43 Route de Noyelles -
B.P. 14 - 62740 FOUQUIERES LEZ LENS
- ◆ Téléphone : 03.21.79.13.50
- ◆ Télécopie : 03.21.79.13.59
- ◆ E.mail : frederic.heyman s@recytech.fr

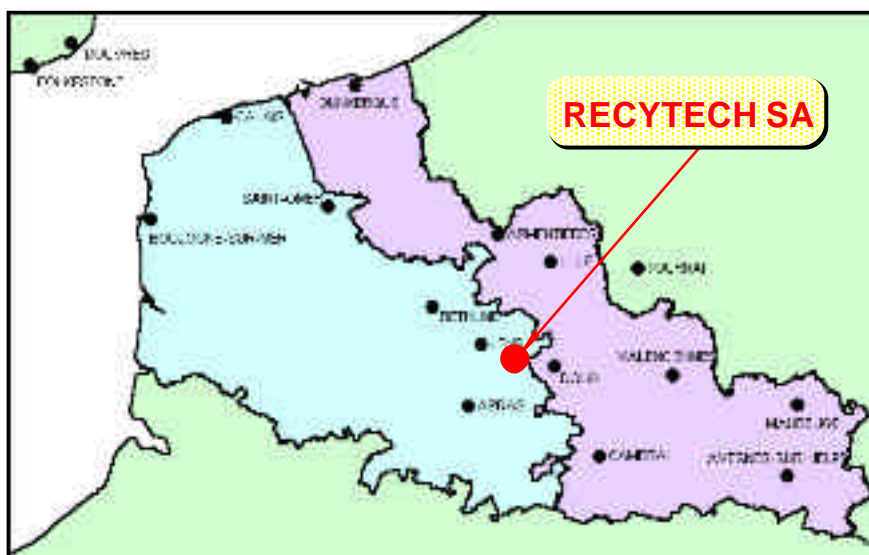
3. ACTIVITE - PRODUCTION

RECYTECH SA, depuis son unité installée sur le territoire de la commune de :

FOUQUIERES LEZ
LENS (62)

(voir carte ci-contre), élabore, à partir de poussières d'aciéries et au moyen d'un four rotatif spécifique "WAE LZ" des oxydes contenant environ 50 à 60 % de zinc et 8 à 10 % de plomb.

Ces oxydes sont commercialisés auprès d'une autre filière métallurgique pour dissocier le zinc du plomb et aboutir à des titres de richesse respectifs de près de 100%.



4. COMMERCIALISATION DES SCORIES

- ◆ Raison sociale : RECYTECH SA
- ◆ Adresse postale : 43 Route de Noyelles -
B.P. 14 - 62740 FOUQUIERES LEZ LENS
- ◆ Téléphone : 03.21.79.13.50
- ◆ Télécopie : 03.21.79.13.59
- ◆ E.mail : frederic.heyman@recytech.fr

5. FABRICATION / MODE D'OBTENTION DES SCORIES

1. Les poussières récupérées dans les fumées des aciéries électriques (recyclage des ferrailles, galvanisées notamment) sont mélangées dans des proportions précises avec du sable siliceux jouant le rôle de charge et du coke pour son effet réducteur.
2. Le tout est introduit dans le four rotatif WAELZ dans lequel, à partir de 850° C, le zinc et le plomb sont réduits par le coke et se volatilisent. L'excès d'air régnant au sein du four conduit à l'oxydation du zinc et du plomb - Oxydes WAELZ, contenant de 50 à 60% de zinc. La température maximale au sein du four avoisine les 1200° C.
3. Les "Oxydes WAELZ", après refroidissement partiel, sont récupérés dans des filtres à manches.
4. Les **Scories** résultantes, récupérées à l'aval du four rotatif, sont immergées dans l'eau pour refroidissement puis dirigées vers une station de séparation magnétique pour récupération des éléments magnétiques (récupération du Fe₃O₄).

* La production annuelle moyenne s'établit comme suit :

▷ "Oxydes WAELZ" : » 30 000 tonnes.

▷ "**Scories**" : » 70 000 tonnes.

6. COMPOSITION DES SCORIES (DONNEES USINE*)

Sur le "Tout venant", les analyses effectuées révèlent des éléments majeurs représentés par le fer, le silicium et dans une moindre mesure le calcium et l'aluminium.

Analyses semi-quantitatives par fluorescence X (valeurs en pourcentages massiques)

* Valeurs moyennes sur 13 prélèvements de tout venant avant la "séparation coke"

FeO	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MnO	MgO	K ₂ O	Zn	Pb	Cu	St	C
33.8	31.60	7.45	3.4	3.09	1.4	0.46	6.51	0.23	0.02	0.57	4.56

Nota : Dans le cadre de son suivi de fabrication, RECYTECH SA procède à ce type d'analyse trois fois par jour

L'étude minéralogique fait principalement apparaître une matrice vitreuse de silicate calcique contenant des cristaux de silicate de calcium et de manganèse. Les autres phases sont constituées de fer métal, d'oxydes de fer, de sulfures de fer et de zinc.

* Le taux de chaux libre résiduelle [CaO + Ca(OH)₂], exprimé en équivalent CaO se situe vers 0.1%, sur la fraction 0/20 mm du "Tout venant" (Détermination par la méthode LEDUC).

7. POSITION VIS A VIS DE L'ENVIRONNEMENT

Dans l'attente d'une réglementation prochaine qui devrait codifier les usages en matière de recyclage et de valorisation des "Résidus des Procédés Thermiques - RPT* -", les services administratifs compétents autorisent l'utilisation des "Scories RECYTECH SA".

* Procédure décrite en fin de la partie intitulée "ORIENTATION - JUSTIFICATION - ORIENTATION"

Cette autorisation est cependant subordonnée à la mise en place d'un "Plan d'Assurance Qualité" dont les modalités sont fixées par arrêté préfectoral.

Dans ce cadre, la Sté RECYTECH SA procède à une analyse chimique hebdomadaire sur "brut" et sur lixiviat obtenu selon XP P31-210.

* Les "Scories RECYTECH SA" ont été soumises, avec succès, aux essais d'écotoxicité de la procédure (version Mars 2000) proposée par le Ministère de l'Environnement (MATE) afin d'évaluer le critère H14 pour la classification des "Déchets dangereux pour l'environnement".

8. STABILITE VOLUMIQUE DU MATERIAU

les tests prédictifs de comportement ont conduit aux résultats suivants :

- Test à la "Vapeur" : Pas de gonflements constatés
- Test au "Bain-marie" : Pas de gonflements constatés

9. FRACTIONS GRANULOMETRIQUES MARCHANDES DISPONIBLES

En sortie de four, les "Scories RECYTECH SA" se présentent sous l'aspect d'un "Tout venant" 0/100 mm, avec quelques rares éléments de l'ordre de 300 mm. Elles sont commercialisées et utilisées, en totalité, sous cette forme.

10. CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES

Elles se situent de la sorte

- Masse volumique absolue - ρ_r^* - : » 3,30 t/m³
- Coefficient Los Angeles - LA^{**} - : Fraction 10/14 mm : » 33
- Micro Deval en présence d'Eau - MDE^{***} - : Fraction 10/14 mm : » 16

* La masse volumique absolue d'un matériau naturel de type calcaire dur, granit, diorite, ... se situe entre 2.7 et 2.9 t/m³

** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis des chocs

*** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis de l'attrition (usure par frottement)

Au regard de la norme [XP 18-540](#) octobre 1997 :

["GRANULATS, Définition, conformité, spécifications"](#)

les Scories RECYTECH relèvent, pour ce qui concerne les "gravillons" :

↳ Article 7 : Granulats pour chaussées : Couche de fondation, de base et de fondation : Ø Catégorie D

11. UTILISATIONS POTENTIELLES DES "Scories RECYTECH SA"

PREAMBULE

Les applications potentielles qui suivent sont en accord avec les règlements et autorisations actuels, l'objectif du programme national "Résidus des Processus Thermiques" sera de préciser les conditions environnementales de ces utilisations.

Pour certaines d'entre elles, il est nécessaire que le matériau présente ou soit très proche d'une stabilité volumique totale :

Stabilité volumique :

- appréhendée à la fois par l'essai "Vapeur" et l'essai "Bain-marie".
- garantie par le fournisseur au travers d'un "Plan d'Assurance Qualité" (PAQ) qui doit préciser, en amont de la mise sur le marché de la fourniture, le mode de gestion qu'il a estimé le mieux approprié eu égard à sa spécificité.

Cette obligation peut cependant être modulée en fonction de la destination du matériau. Ainsi pour une structure ouverte, non recouverte, comme peut l'être un chemin de remblaiement en rase campagne, l'obligation à ce niveau ne sera pas de même importance que pour un remblai routier, une plate-forme de chaussées, un béton bitumineux pour couche de roulement, ... des structures "souples" pouvant accepter sans trop de dommages des déformations modérées.

Il n'en ira pas de même pour les structures rigides (voir § 11.2) pour lesquelles les granulats entrant dans leur composition doivent s'avérer parfaitement stables.

± ±
±

Les applications potentielles de ce matériau sont essentiellement d'ordre routière : Constructions de remblais et plus largement d'ouvrages en terre, de couches de forme support de chaussées, granulats entrant dans la composition des produits routiers,

- * L'aspect "TERRASSEMENT" est géré par la norme NF P11-300 pour ce qui concerne l'identification et la classification des sols et par le Guide technique "Construction des remblais et des couches de forme" pour ce qui concerne leurs modalités d'utilisation en ce domaine.
- * L'aspect "CHAUSSEES" est géré d'une part par l'ensemble des normes "Produits" dont la liste est jointe dans la partie du document intitulée "Textes réglementaires et normes - Méthodes d'essais et techniques opératoires" et d'autre part par la norme XP P18-540 "GRANULATS, Défini-

tion, conformité, spécifications" qui classe les matériaux en diverses catégories selon leurs caractéristiques physiques (granularité, propreté, forme, ...) et leurs caractéristiques intrinsèques* (Masse volumique, résistance vis à vis des chocs, de l'attrition, du polissage, ..); ceci pour tous les domaines de la construction, désignés dans cette norme par "Article" :

- ∅Article 7 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de fondation, de base et de liaison,
- ∅Article 8 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de roulement utilisant des liants hydrocarbonés,
- ∅Article 9 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Béton de ciment,
- ∅Article 10 - GRANULATS POUR BETONS HYDRAULIQUES,
- ∅Article 11 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Assises,
- ∅Article 12 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Ballast et gravillons de soufflage.

- Voir § 10 ci-dessus

11.1 UTILISATION EN TERRASSEMENTS

11.1.1 Construction de remblais

Le matériau, sous la forme d'un "Tout venant" 0/D peut être utilisé pour la construction de remblais routiers. Etablis sous des pentes de 2 pour 3 (2 en vertical pour 3 en horizontal), leur hauteur ne sera subordonnée qu'à la nature (compressibilité) du sol support. Pour des considérations environnementales, celle-ci est pour le moment limitée réglementairement à 3 m.

11.1.2 Construction de couches de forme de chaussées

Les caractéristiques intrinsèques des "Scories RECYTECH SA", alliées à une distribution granulométrique appropriée, permettront de les considérer de classe D21 ou D31,

Catégories des matériaux considérés comme insensibles vis à vis de l'eau.

telles qu'elles sont définies dans le guide technique SETRA-LCPC de septembre 1992 :

"REALISATION DES REMBLAIS ET DES COUCHES DE FORME - GTR -".

- * Pour plus de précisions concernant la définition des épaisseurs à mettre en œuvre, on se reportera au GTR.
- * La réponse favorable vis à vis des tests de gonflements et la faible teneur en chaux libre des "Scories RECYTECH SA", permettent d'envisager leur utilisation dans le cadre de la construction de plate-forme de bâtiment.

Dans l'hypothèse d'un élargissement réglementaire de leur utilisation, les "Scories RECYTECH SA" présentent des caractéristiques intrinsèques, notamment de dégradabilité et de fragmentabilité, qui permettraient de les utiliser dans les techniques suivantes :

- * construction de gabions, masques et/ou éperons drainants dans le cadre de stabilité de pentes de talus incertaine,
- * constitution de tranchées ou de massifs drainants,
- * amélioration de la portance des sols dans le cadre de la mise en œuvre des techniques de pilonnage intensif ou de la mise en place de colonnes ballastées.

11.2 UTILISATION EN CHAUSSEES

- * La réponse favorable vis à vis des tests de gonflements et la très faible teneur en chaux libre des "Scories RECYTECH SA" devraient permettre leur exploitation dans le cadre de la fabrication de "Graves traitées aux liants hydrauliques". La seule approche pragmatique en la matière est de procéder à des formulations en laboratoire et, probablement plus important encore, apprécier, sur quelques chantiers pilotes, le comportement à terme de tels produits.
- * Les "Scories RECYTECH SA", peuvent être exploitées, soit en l'état, soit en association avec un liant bitumineux.

Selon cette règle, sont possibles les :

- * Graves non traitées - GNT -,
- * Enduits superficiels,
- * Graves à base de liants hydrocarbonés,
- * Grave bitume.

Pour plus de précisions quant à l'adéquation entre les caractéristiques physiques et intrinsèques des granulats et celles des "Produits routiers" dans lesquels ils pourraient entrer, il y a lieu de se reporter aux normes spécifiques correspondantes :

- NF P 98-125 et 129 : Graves non Traitées - GNT -,
- NF P 98-160 : Enduits superficiels d'usure,
- Série NF P 98-130/140 : Enrobés à chaud.

- * Les caractéristiques physico-mécaniques des "Scories RECYTECH SA" conduisent cependant à les valoriser plutôt en tant que Graves non traitées - GNT - .



HUNTSMAN-TIOXIDE

Les CO-PRODUITS DE LA FABRICATION DE PIGMENTS D'OXYDE DE TITANE

1. PREAMBULE

Dans le procédé de fabrication installé à Calais par HUNTSMAN - TIOXIDE, deux matériaux accompagnent la fabrication des pigments d'oxyde de titane.

Ils ont pour nom : La "TIONITE", Le "TIOFER"

Ce sont ces deux produits qui font l'objet du présent document. Celui-ci été établi à partir d'analyses effectuées sur un prélèvement réputé représentatif de la production moyenne de chacun de ces deux matériaux et des informations fournies par cette dernière au titre de son contrôle qualité.

2. IDENTIFICATION DE LA SOCIETE

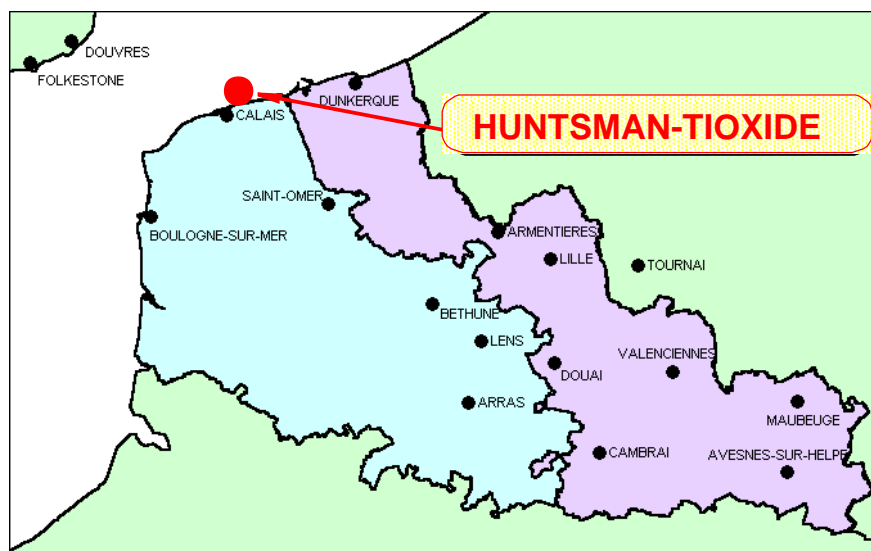
- ◆ Raison sociale : TIOXIDE EUROPE S.A.S
- ◆ Adresse postale : 1 rue des Garennes - BP 89 - 62102 CALAIS Cedex
Département Materials
- ◆ Téléphone : 03.21.46.45.58
- ◆ Télécopie : 03.21.46.46.59
- ◆ E.mail : jean_coulon@huntsman.com

3. ACTIVITE - PRODUCTION

La Sté HUNTSMAN-TIOXIDE, à partir de son usine installée sur le territoire de la commune de

CALAIS -62

(voir carte ci-contre), produit des pigments d'oxydes de titane (TiO_2) entrant dans la fabrication des peintures, matières plastiques, encres.....



La capacité de production annuelle (base 2000) s'établissait comme suit :

PIGMENTS D'OXYDE de TITANE : 100000 tonnes
 TIONITE : 20000 tonnes (Masse humide)
 TIOFER : 30000 tonnes (Masse humide)

4. MODE D'OBTENTION

A partir du Slag, un minerai enrichi (80% de TiO₂) en provenance du Canada, le pigment d'oxyde de titane est obtenu par un procédé générant deux co-produits: la TIONITE et le TIOFER.

4.1. TIONITE

Le Slag est attaqué par de l'acide sulfurique (H₂SO₄). La "Liqueur noire" qui en résulte est à la fois décantée et filtrée pour aboutir à une solution appelée "Liqueur claire" (TiOSO₄, FeSO₄) et à un solide, la TIONITE.

4.2. TIOFER

La "Liqueur claire" (TiOSO₄) est précipitée et la suspension résultante est filtrée pour aboutir à :

- un composé de type Ti(OH)₄ qui après calcination conduit à l'oxyde de titane,
- une solution acide, riche en sels de fer, qui est reconcentrée afin de recycler l'acide dans le procédé. Lors de la reconcentration, des sels de fer précipitent, ceux-ci sont grillés et donnent le TIOFER.

Il est à noter que ce processus de fabrication permet une récupération quasi totale de l'acide sulfurique nécessaire à la production des pigments d'oxydes de titane.

5. COMPOSITION CHIMIQUE (DONNEES USINES) :

(Pourcentages massiques)

5.1. TIONITE

SO ₃	SO ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	V ₂ O ₅	MnO	ZrO ₂	Cr
2.3*	0.9**	1.6	6.0	4.0	2.0	20.0	0.4	0.6	30.0	0.1	0.25	0.2	0.03

p Trace (valeur inférieure à 0.01%) pour As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Sn, Cr⁶,

p * SO₃ total, ** SO₃ soluble,

* Perte au feu de 20 à 900° C : » 33%

* Le Taux de chaux vive résiduelle [CaO + Ca(OH)₂], exprimé en équivalent CaO se situe vers 0,2%. (Détermination par la méthode LEDUC)

5.2. TIOFER

SO ₃	SO ₃	MgO	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	TiO ₂	V ₂ O ₅	MnO	Cr
0.8*	0.7**	10.5	0.3	4.0	38.0	3.0	0.2	7.5	1.8	0.6	0.2

p Trace (valeur inférieure à 0.01%) pour As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, Sn, Cr⁶,

p * SO₃ total, ** SO₃ soluble,

* Perte au feu de 20 à 900° C : » 29%

* Le matériau ne contient pas de chaux vive résiduelle [CaO + Ca(OH)₂]
(Détermination par la méthode LEDUC)

6. POSITION VIS A VIS DE L'ENVIRONNEMENT

La **TIONITE** est constituée d'un mélange de phases : oxyde de titane, silicate, spinelle et gypse. Le **TIOFER** est essentiellement un oxyde de fer.

Les lixiviats (norme XP X 31-210) ne contiennent aucun métaux lourds.

Dans le cadre du Plan Qualité du site (accréditation ISO 9000 et ISO 14001), **HUNTSMAN-TIOXIDE** procède à une caractérisation régulière de la **TIONITE** et du **TIOFER** :

- Caractérisation mensuelle complète des produits bruts,
- Analyse mensuelle des lixiviats, obtenus selon XP P31-210.

7. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

La **TIONITE** et le **TIOFER** sont caractérisés par :

- Une granulométrie très fine : diamètre moyen 20 microns, taille maximum 100 microns,
- Une teneur en eau naturelle de l'ordre de 30%.

8. UTILISATIONS POTENTIELLES

8.1. CONSTRUCTION ROUTIERE

La finesse des matériaux, conjuguée à une teneur en eau plutôt élevée, conduisent à réduire leurs possibilités d'utilisation dans le champ de la construction routière (remblai, couche de forme de chaussée, ...).

Ils pourraient cependant, après diminution de leur taux d'humidité et moyennant des études appropriées, servir de correcteurs granulométriques dans un certain nombre de produits, essentiellement bitumineux.

8.2. INDUSTRIE DE LA TERRE CUITE

La **TIONITE** et le **TIOFER** sont utilisables dans la fabrication d'éléments manufacturés en terre cuite (briques, tuiles, ...) :

- en remplacement de l'argile,
- en substitution de la craie (cas de la **TIONITE** du fait de la présence d'oxyde de titane),
- en substitution d'oxydes de fer (cas du **TIOFER** du fait de la présence d'oxyde de fer).

L'emploi de ces deux produits est aussi susceptible de contribuer à la réduction de la consommation d'énergie associée à ces fabrications.

Des essais sont en cours dans ce sens.

SOTRENOR - Usine de Courrières

MACHEFERS d'INCINERATION de D.I.S.

1. PREAMBULE

- ◆ Dans le cadre de son activité, la **Sté SOTRENOR** produit un "Mâchefer".

C'est ce matériau qui fait l'objet du présent document. Celui-ci a été établi à partir d'analyses effectuées sur un prélèvement, de production "fraîche" (matériau non mûré), réputé représentatif de la production moyenne du "Mâchefer" de la **Sté SOTRENOR**.

Les résultats obtenus à la faveur de ces dernières "sitent" le "Mâchefer", sans pour autant donner d'indications sur sa variabilité physico-chimique.

2. IDENTIFICATION DE LA SOCIETE

- ◆ Raison sociale : SOTRENOR
- ◆ Adresse postale : Route d'HARNES
62710 COURRIERES
- ◆ Téléphone : 03.21.74.74.74
- ◆ Télécopie : 03.21.74.74.70
- ◆ E.mail : jhelwani@sarpindustries.fr

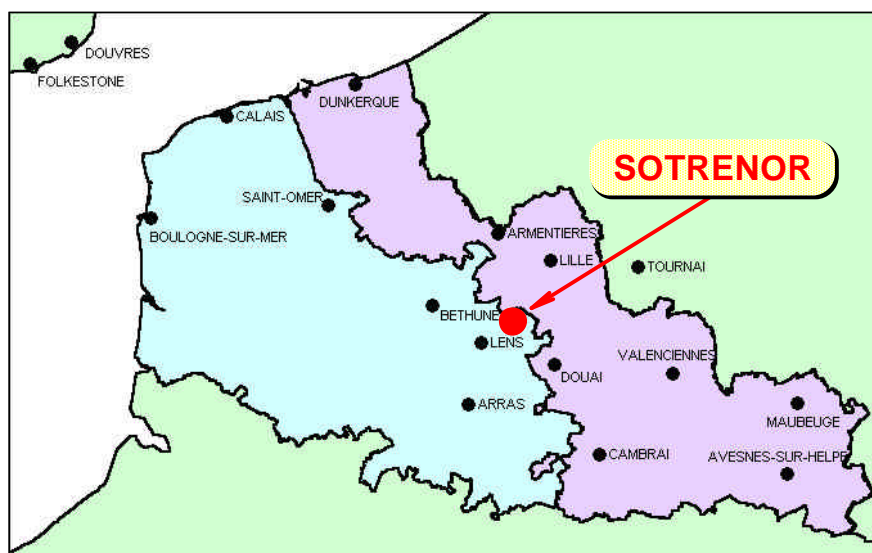
3. ACTIVITE - PRODUCTION

La **Sté SOTRENOR** incinère à partir de son unité spécialisée installée sur le territoire de la commune de

COURRIERES (59)

(à l'Est de Lens -

voir carte ci-contre), différents déchets industriels dont la nature est spécifiée par un arrêté préfectoral.



* Les déchets admis à l'incinération sont les suivants :

- Huiles solubles,
- Boues de décantation,
- Résidus de filtration,
- Boues de peinture,
- Sols pollués,
- Déchets ménagers spéciaux,
- Résidus chimiques,
- emballages souillés.

* Les déchets sont contrôlés afin de vérifier leur conformité physico-chimique au regard de la liste définie dans l'arrêté préfectoral.

4. INCINERATION / OBTENTION DU MACHEFER

1. A leur arrivée sur site, les déchets sont discriminés selon leurs natures physico-chimiques et stockés dans des zones qui leur sont propres :

â Les Solides, â les Pâteux , â les Liquides^(*).

(*) Un tri complémentaire est opéré pour les déchets liquides en fonction de leur pouvoir calorifique et de leur nature chimique

1. Avant introduction dans le four rotatif, en trois endroits différents selon leur nature, les déchets sont homogénéisés afin de rendre le pouvoir calorifique de la charge le plus constant possible.

Les éléments solides ont un temps de passage de l'ordre d'une demi-heure. Celui des liquides n'est que de quelques secondes en raison de leur pulvérisation en entrée de four et de la température d'incinération, de l'ordre de 900° C.

2. Les gaz d'incinération des déchets sont neutralisés et filtrés. Les résidus récupérés (REFIDIS)* sont préalablement stabilisés par un liant hydraulique avant d'être stockés dans un centre d'enfouissement de classe I.

(*) : REFIDIS - Résidus des Fumées d'Incinération des Déchets Industriels Spéciaux

3. L'incinération des "Solides" conduit à un "Mâchefer" qui, en sortie immédiate de four, est plongé durant quelques minutes dans une garde d'eau pour refroidissement rapide. Il est ensuite transféré dans une fosse spécialisée : [La fosse à Mâchefers](#).

4. Avant son stockage en centre d'enfouissement technique de classe I, le "Mâchefer" fait l'objet d'un tri magnétique pour récupération des éléments métalliques.

La production annuelle moyenne s'établit comme suit :

Û Poussières ou REFIDIS : » 7 000 tonnes,

Û "Mâchefers" : » 11 000 tonnes.

5. COMPOSITION DU "MACHEFER"

Détermination effectuée sur la fraction sur la fraction 0/20 mm du "Tout venant", déferrillé avant broyage,

Analyses semi-quantitatives par fluorescence X (Valeurs en pourcentages massiques)

O	Fe	Si	Al	Na	Ca	K	Mg	Ti	S	P	Zn	Cl	Ba	Cr	Pb	Mn	Ni
40.45	19.55	13.05	8.62	4.85	4.66	2.26	1.38	1.09	0.75	0.61	0.59	0.53	0.48	0.31	0.25	0.23	0.10

* le taux de chaux libre résiduelle [$CaO + Ca(OH)_2$], exprimé en équivalent CaO , est inférieur à 0,1%, sur la fraction 0/20 mm du "Tout venant" (Détermination par la méthode LEDUC).

6. POSITION VIS A VIS DE L'ENVIRONNEMENT

Dans l'attente d'une réglementation prochaine qui devrait codifier les usages en matière de recyclage et de valorisation des "Résidus des Procédés Thermiques - RPT* -", les services administratifs compétents n'autorisent pas l'utilisation des "Mâchefers SO-TRENOR".

* Ils sont obligatoirement stockés en centre d'enfouissement technique spécialisé de classe I.

* Procédure décrite en fin de la partie intitulée "ORIENTATION - JUSTIFICATION - ORIENTATION"

7. STABILITE VOLUMIQUE DU MATERIAU

les tests prédictifs de comportement ont conduit aux résultats suivants :

- Test à la "Vapeur" : Gonflements faibles à peu significatifs (< 0.2%).
- Test au "Bain-marie" : Pas de gonflements constatés

8. FRACTIONS GRANULOMETRIQUES MARCHANDES DI SPONIBLES

Le "mâchefer" en sortie de four se présente sous la forme de gravillons, plus ou moins sphériques, de diamètre s'étalant entre 5 et 20 mm.

9. CARACTERISTIQUES INTRINSEQUES

Elles se situent de la sorte

- Masse volumique absolue - ρ_r^* - : » 2,90 t/m³
- Coefficient Los Angeles - LA^{**} - : Fraction 6,3/10 mm : » 55
- Micro Deval en présence d'Eau - MDE^{***} - : Fraction 6,3/10 mm : » 54

* la masse volumique absolue d'un matériau naturel de type calcaire dur, granit, diorite, ... se situe entre 2.7 et 2.9 t/m³

** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis des chocs

*** Appréciation de la résistance d'un granulat vis à vis de l'attrition (usure par frottement)

* Au regard de la norme XP 18-540 octobre 1997 :

"GRANULATS, Définition, conformité, spécifications"

Le "Mâchefer SOTRENOR" relève, pour ce qui concerne les "gravillons" :

Ø Article 7 : Granulats pour chaussées - Couche de fondation , de base et de fondation : Ø Catégorie F

10. UTILISATIONS POTENTIELLES du "Mâchefer SOTRENOR"

* la réglementation actuelle n'autorise pas la valorisation des "Mâchefers SOTRENOR" qui doivent être stockés en centre technique spécialisé de classe I. Aussi, les applications qui suivent ne pourront être envisagées que si cette réglementation devait être modifiée.

NOTA : Les applications potentielles de ce matériau seraient alors essentiellement d'ordre routière : constructions de remblais et plus largement d'ouvrages en terre, de couches de forme support de chaussées, granulats entrant dans la composition des produits routiers,

Pour certaines d'entre elles, il est nécessaire que le matériau présente ou soit très proche d'une stabilité volumique totale.

Stabilité volumique :

- appréhendée à la fois par l'essai "Vapeur" et l'essai "Bain-marie",
- garantie par le fournisseur au travers d'un "Plan d'Assurance Qualité" (PAQ) qui doit préciser, en amont de la mise sur le marché de la fourniture, le mode de gestion qu'il a estimé le mieux approprié eu égard à sa spécificité.

Cette obligation peut cependant être modulée en fonction de la destination du matériau. Ainsi pour une structure ouverte, non recouverte, comme peut l'être un chemin de remembrement en rase campagne, l'obligation à ce niveau ne sera pas de même importance que pour un remblai routier, une plate-forme de chaussées, un béton bitumineux pour couche de roulement, ... des structures "souples" pouvant accepter sans trop de dommages des déformations modérées.

Il n'en ira pas de même pour les structures rigides (voir § 11.2) pour lesquelles les granulats entrant dans leur composition doivent s'avérer parfaitement stables.

± ±
±

* L'aspect "TERRASSEMENT" est géré par la norme NF P11-300 pour ce qui concerne l'identification et la classification des sols et par le Guide technique "Construction des remblais et des couches de forme" pour ce qui concerne leurs modalités d'utilisation en ce domaine.

* L'aspect "CHAUSSEES" est géré d'une part par l'ensemble des normes "Produits" dont la liste est jointe dans la partie du document intitulée "Textes réglementaires et normes - Méthodes d'essais et techniques opératoires" et d'autre part par la norme XP P18-540 "GRANULATS, Défini-

tion, conformité, spécifications" qui classe les matériaux en diverses catégories selon leurs caractéristiques physiques (granularité, propreté, forme, ...) et leurs caractéristiques intrinsèques* (Masse volumique, résistance vis à vis des chocs, de l'attrition, du polissage, ..); ceci pour tous les domaines de la construction, désignés dans cette norme par "Article" :

- ◇ Article 7 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de fondation, de base et de liaison,
 - ◇ Article 8 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Couches de roulement utilisant des liants hydrocarbonés,
 - ◇ Article 9 - GRANULATS POUR CHAUSSEES : Béton de ciment,
 - ◇ Article 10 - GRANULATS POUR BETONS HYDRAULIQUES,
 - ◇ Article 11 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Assises,
 - ◇ Article 12 - GRANULATS POUR VOIES FERREES : Ballast et gravillons de soufflage.
- Voir § 10 ci-dessus

- * Les caractéristiques intrinsèques actuelles (LA et MDE) du "Mâchefer SOTRENOR", ne permettent pas d'envisager sa valorisation en tant que matériau entrant dans la composition des "Produits routiers", traités ou non et quel que soit le liant. L'utilisation en "Terrassement" peut s'envisager, après que le comportement du matériau sous compactage ait été suivi lors de chantiers pilotes.





GROUPE DE TRAVAIL N°5
« AMELIORER LA VALORISATION DES DECHETS INDUSTRIELS EN BTP »

GUIDES TECHNIQUES REGIONAUX
RELATIFS A LA VALORISATION
DES DECHETS ET CO-PRODUITS INDUSTRIELS

TEXTES REGLEMENTAIRES & NORMES

METHODES D'ESSAIS & TECHNIQUES OPERATOIRES

GUIDES TECHNIQUES REGIONAUX RELATIFS A LA VALORISATION DES DECHETS ET CO-PRODUITS INDUSTRIELS

TEXTES REGLEMENTAIRES

B.O. / 79.15 BIS
CCTG FASCICULE 2 : Terrassements généraux

B.O. / 92-6 TO
CCTG FASCICULE 70 : Ouvrages d'assainissement

B.O. / 78-51 TER
CCTG FASCICULE 28 : Chaussées en bétons de ciment

B.O. / 88-32
CIRCULAIRE 88-78 du 01.09.88 : Adhérence des couches de roulement neuves

B.O. / 96-2 TO
CCTG FASCICULE 25 : Exécution des corps de chaussées

B.O. / 96-3 TO
CCTG FASCICULE 26 : Exécution des enduits superficiels d'usure

B.O. / 96-4 TO
CCTG FASCICULE 27 : Fabrication et mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés

GUIDES TECHNIQUES LCPC/SETRA

REALISATION DES REMBLAIS ET DES COUCHES DE FORME (1992)
FASCICULES I et II

REMBLAYAGE DES TRANCHEES ET REFECTION DES CHAUSSEES (1994)

TRAITEMENT DES SOLS A LA CHAUX et/ou AUX LIANTS HYDRAULIQUES (2000)
CATALOGUE DES STRUCTURES TYPES DE CHAUSSES NEUVES (1998)

NORMES AFNOR

GRANULATS

NORMES de SPECIFICATIONS

XP P 18-540
Granulats - Définition, conformité, spécifications.

Granulats - Laitier cristallisé de haut fourneau.

XP P 18-542
Granulats naturels courants pour bétons hydrauliques
- Critères de qualification des granulats vis à vis de l'alcali-réaction.
XP P 18-302

NORMES d'ESSAIS

XP P 18-555

Granulats - Mesure des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables.

XP P 18-557

Granulats - Eléments pour l'identification des granulats.

XP P 18-559

Granulats - Mesure de la masse volumique des sables et gravillon à l'huile de paraffine.

XP 18-560

Granulats - Analyse granulométrique par tamisage.

XP P 18-561

Granulats - Mesure du coefficient d'aplatissement.

XP P18-562

Granulats - Détermination de l'épaisseur moyenne des gravillons.

XP P18-563

Granulats - Détermination du coefficient d'écoulement des gravillons.

XP P18-564

Granulats - Détermination du coefficient d'écoulement des sables.

XP P18-565

Granulats - Détermination de l'indice des vides RIG-DEN.

XP P18-566

Granulats - Analyse granulométrique, aplatissement et allongement - Essai au vidéogranulomètre.

XP P18-571

Granulats - Détermination de l'homogénéité des granulats (D supérieure ou égale 4 mm).

XP P18-572

Granulats - Essai d'usure MICRO-DEVAL,

XP P18-573

Granulats - Essai de LOS-ANGELES.

XP P18-574

Granulats - Essai de fragmentation dynamique.

XP P18-575

Granulats - Mesure du coefficient de Polissage accéléré des gravillons.

XP P18-576

Granulats - Mesure du coefficient de friabilité des sables.

XP P18-577

Granulats - Essai DEVAL.

XP P18-578

Granulats - Mesure de la rugosité d'une surface à l'aide du pendule de frottement.

XP P18-579

Granulats - Essai d'abrasivité et de broyabilité

XP P18-580

Granulats - Détermination de la résistance au polissage accéléré des gravillons - Méthode par projection.

XP P 18-581

Granulats - Dosage rapide des sulfates solubles dans l'eau - Méthode par spectrophotométrie.

XP P 18-582

Granulats - Détermination de la teneur en soufre total.

XP P 18-583

Granulats - Mesure de la teneur en chlore - Méthode par dissolution.

XP P 18-584

Granulats - Réactivité potentielle de type alcali-silice.

XP P 18-585

Granulats - Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin - Essai sur mortier.

XP P 18-586

Granulats - Mise en évidence de matières organiques par colorimétrie.

XP P 18-587

Granulats - Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin - Essai sur béton.

XP P 18-588

Granulats - Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin - Essai accéléré sur mortier microbar.

XP P 18-589

Granulats Réactivité potentielle de type alcali-silice et alcali silicate - Test cinétique Méthode chimique.

XP P 18-590

Granulats - Stabilité dimensionnelle en milieu alcalin - Essai accéléré sur mortier par autoclavage.

XP P 18-591

Granulats - Détermination de la propreté superficielle.

XP P 18-592
Granulats - Essai au bleu de méthylène - Méthode à la tache.

XP P 18-593
Granulats - Sensibilité au gel.

XP P 18-594
Granulats - Résistance à la désagrégation Méthode par cristallisation des sulfates.

XP P 18-595
Granulats - Valeur de bleu de méthylène - Méthode turbidimétrique.

XP P 18-597
Granulats - Détermination de la propreté des sables : Equivalent de sable à 10% de fines.

XP P 18-598
Granulats - Equivalent de sable.

NF EN 933-9
Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 9 : Qualification des fines - Essai au bleu de méthylène.

NF EN 932-3
Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats - Partie 3 : Procédure et terminologie pour la description pétrographique simplifiée

NF EN 933-2
Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 2 : Détermination de la granularité - Tamis de contrôle - Dimensions nominales des ouvertures.

TERRASSEMENTS

NORMES de SPECIFICATIONS

NF P 11-300
Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

NF P 11-301
Exécution des terrassements - Terminologie.

P 94-010
Sols : Reconnaissance et essais - Glossaire géotechnique.

NORMES d'ESSAIS

NF P 94-040
Sols : Reconnaissance et essais - Méthode simplifiée d'identification de la fraction 0/150 mm d'un matériau grenu. Détermination de la granulométrie et de la valeur de bleu.

NF P 94-050
Sols : Reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en eau pondérale des sols - Méthode par étuvage.

XP P 94-041
Sols : Reconnaissance et essais - Identification granulométrique - Méthode de tamisage par voie humide.

NF P 94-051
Sols : Reconnaissance et essais Détermination des limites d'ATTERBERG - Limite de liquidité à la coupelle. Limite de plasticité au rouleau.

NF P 94-048
Sols : Reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en carbonate - Méthode du calcimètre.

NF P 94-052-1
Sols : Reconnaissance et essais - Détermination des limites d'ATTERBERG - Partie 1 Limite de liquidité, - Méthode du cône de pénétration.

NF P 94-049 -1
Sols : Reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux - Partie 1 : Méthode de la dessiccation au four micro-ondes.

NF P 94-054
Sols : Reconnaissance et essais - Détermination de la masse volumique des particules solides des sols - Méthode du pycnomètre à eau.

NF P 94-049-2
Sols : Reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux - Partie 2 Méthode à la plaque chauffante ou panneaux rayonnants.

NFP 94-056
Sols : Reconnaissance et essais - Analyse granulométrique - Méthode par tamisage à sec après lavage.

NF P 94-064

Sols : Reconnaissance et essais - Masse volumique d'un élément de roche - Méthode par pesée hydrostatique.

NF P 94-666

Sols : Reconnaissance et essais - Coefficient de fragmentabilité des matériaux rocheux.

NF P 94-067

Sols : Reconnaissance et essais - Coefficient de dégradabilité des matériaux rocheux.

NF P 94-068

Sols : Reconnaissance et essais - Mesure de la quantité et de l'activité, de la fraction argileuse - Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un soi par l'essai à la tache.

NF P 94-078

Sols Reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion - Indice CBR Immédiat - Indice Portant Immédiat - Mesure sur un échantillon compacté dans le moule CBR.

NF P 94-093

Sols : Reconnaissance et essais - Détermination des références de compactage d'un matériau - Essai PROCTOR normal - Essai PROCTOR modifié.

LIANTS HYDRAULIQUES

FD P 15-010

Liants hydrauliques - Guide d'utilisation des ciments.

FD P 15-101-1

Ciments - Composition, spécifications et critères de conformité, - partie 1 : Ciments courants.

XP P 15-299

Liants hydrauliques - Contrôle spécifique de caractéristiques des ciments.

NF P 15-301

Liants hydrauliques - Ciments courants Composition, spécifications et critères de conformité.

NF P 15-306

Ciments de laitier à la chaux CLX.

NF P 15-308

Ciments naturels CN.

NF P 15-310

Chaux hydrauliques naturelles XHN.

NF P 15-312

Chaux hydrauliques artificielles XHA.

NF P 15-314

Liants hydrauliques. Ciment prompt naturel.

NF P 15-315

Liants hydrauliques - Ciment alumineux fondu.

NF P 15-316

Liants hydrauliques - Emploi du ciment alumineux fondu en éléments de structure.

NF P 15-318

Liants hydrauliques - Ciment à faible chaleur d'hydratation initiale et à teneur en sulfure limitée.

XP P 15-319

Liants hydrauliques - Ciments pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates.

NF P 15-431

Liants hydrauliques - Techniques des essais - Détermination du temps de prise sur mortier normal.

NF P 15-433

Méthodes d'essais des ciments - Détermination du retrait et du gonflement.

NF P 15-436

Liants - Mesure de la chaleur d'hydratation des ciments par calorimétrie semi-adiabatique (dite Méthode du calorimètre de LANGAVANT).

FD P 15-437

Techniques des essais - Caractérisation des ciments par mesure de la fluidité sous vibration des mortiers.

XP P 15-466

Liants - Reconnaissance rapide des ciments à la livraison par rapport à un échantillon de référence.

NF P 18-306

Bétons - Laitier granulé.

NF P 18-307

Laitier expansé.

NF P 18-308

Pouzzolane.

MATERIAUX COMPOSES

STRUCTURE DE CHAUSSEES

GRAVES NON TRAITEES

NF P 98-125

Assises de chaussées - Graves non traitées - Méthodologie d'étude en laboratoires.

NF P 98-129

Assises de chaussées - Graves non traitées - Définition - Composition - Classification.

GRAVES TRAITEES AUX LIANTS HYDRAULIQUES

NF P 98-100

Assises de chaussées - Eaux pour assises - Classification.

NF P98 -1 1 0

Assises de chaussées - Cendres volantes silico-alumineuses - Spécifications.

NF P 98-101

Assises de chaussées - Chaux aérienne calcique pour sols et routes - Spécifications.

NF P 98-1 11

Assises de chaussées - Essai de réactivité, des cendres volantes silico-alumineuses à la chaux.

NF P 98-102

Assises de chaussées - Chaux aérienne calcique pour sols et routes - Essai de réactivité de la chaux vive à l'eau.

NF P 98-112

Assises de chaussées - Cendres volantes hydrauliques - Définitions - Spécifications,

NF P 98-103

Assises de chaussées - Pouzzolanes - Spécifications.

NF P 98-113

Assises de chaussées - Sables traités aux liants hydrauliques et pouzzolaniques - Définition - Composition - Classification.

NF P 98-104

Assises de chaussées - Essai de réactivité des pouzzolanes à la chaux.

NF P 98-124

Assises de chaussées - Cendres volantes - Chaux - Gypse - Définition - Composition - Classification.

NF P 98-106

Assises de chaussées - Laitiers de haut-fourneau vitrifiés - (Granulés ou bouletés) - Définitions, caractéristiques et spécifications.

NF EN 196-1

Méthodes d'essais des ciments - Détermination des résistances mécaniques.

NF P 98-107

Assises de chaussées - Activation du laitier vitrifié - Définitions, caractéristiques et spécifications.

NF EN 196-2

Méthodes d'essais des ciments - Analyse chimique des ciments.

XP P 98 -108

Assises de chaussées - Laitiers de haut-fourneau vitrifiés (granulé ou bouletés) - Détermination du coefficient d'activité.

NF EN 196-3

Méthodes d'essais des ciments - Détermination du temps de prise et de stabilité.

XP P 98-109

Assises de chaussées - Laitiers de haut-fourneau vitrifiés (granulés ou bouletés) - Détermination de la classe de prérébroyage.

NF EN 196-5

Méthodes d'essais des ciments - Essai de pouzzolanité des ciments pouzzolaniques.

NF EN 196-6

Méthodes d'essais des ciments - Détermination de la finesse.

NF EN 196-7

Méthodes d'essais des ciments - Méthodes de prélèvement et d'échantillonnage du ciment.

NF EN 196-21

Méthodes d'essais des ciments - Détermination de la teneur en chlorures, en dioxyde de carbone et en alcalis dans les ciments.

NF P 98-114-1

Assises de chaussées - Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques - Partie 1 Graves traitées aux liants hydrauliques.

NF P 98-114-2

Assises de chaussées - Méthodologie d'étude en laboratoire des matériaux traités aux liants hydrauliques - Partie 2 : Sables traités aux liants hydrauliques.

P 98-115

Assises de chaussées - Exécution des corps de chaussées : Constituants, composition des mélanges et formulation - Exécution et contrôle.

NF P 98-116

Assises de chaussées - Graves-ciment - Définition - Composition - Classification.

NF P 98-117

Assises de chaussées - Graves-pouzzolanes-chaux - Définition - Composition - Classification.

NF P 98-118

Assises de chaussées - Graves-laitier - Définition - Composition - Classification.

NF P 98-119

Assises de chaussées - Graves-cendres volantes-chaux - Définition - Composition - Classification.

NF P 98-120

Assises de chaussées - Graves-cendres volantes hydrauliques - Définition - Composition - Classification.

NF P 98-122

Assises de chaussées - Graves-liant spécial routier - Définition - Composition - Classification.

NF P 98-123

Assises de chaussées - Graves-laitier-cendres volantes-chaux - Définition - Composition - Classification.

NF P 98-128

Assises de chaussées - Bétons compactés routiers et graves traités aux liants hydrauliques et pouzzolaniques à hautes performances - Définition - Composition.

ENROBES GRAVES TRAITÉES AUX LIANTS HYDROCARBONÉS

B.O. / 96-2 TO - CCTG FASCICULE 25

Exécution des corps de chaussées.

B.O. 1 96-4 TO - CCTG FASCICULE 27

Fabrication et mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés.

B.O. / 83-20 - CIRCULAIRE 83-22 DU 22-04-83

Fabrication d'enrobés bitumineux recyclés en centrales à tambour-sécheur-enrobeur.

DR - CIRCULAIRE 83-79 DU 29-12-83

Développement du recyclage en centrale des enrobés bitumineux.

B.O. 1 96-4 TO - CCTG FASCICULE 27

Fabrication et mise en œuvre des enrobés hydrocarbonés.

GRAVES TRAITÉES AUX LIANTS HYDRAULIQUES

B.O. 1 96-2 TO - CCTG FASCICULE 25

Exécution des corps de chaussées.

ENROBES A FROID

NF P 98-121

Assises de chaussées - Graves émulsion cationique. Définition, classification, caractéristiques, mise en œuvre.

NF P 98-139

Enrobés hydrocarbonés - Couches de roulement : bétons bitumineux à froid - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre.

NF P 98-150

Enrobés hydrocarbonés - Exécution des corps de chaussées - Couches de liaison et couches de roulement - Constituants - Composition des mélanges - Exécution et contrôles.

ENROBES A CHAUD

NF P 98-130

Enrobés hydrocarbonés - Couches de roulement et couches de liaison : Bétons bitumineux semi-grenus - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre.

NF P 98-131

Enrobés hydrocarbonés - Bétons bitumineux pour chaussées aéronautiques : Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre.

NF P 98-132

Enrobés hydrocarbonés - Couches de roulement et couches de liaison : Bétons bitumineux minces - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre.

NF P 98-133

Enrobés hydrocarbonés - Couches de roulement : Bétons bitumineux cloutés - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre.

NF P 98-134

Enrobés hydrocarbonés - Couches de roulement : Bétons bitumineux drainants - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre.

NF P 98-136

Enrobés hydrocarbonés - Bétons bitumineux pour couche de surface de chaussées souples à faible trafic : Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre.

NF P 98-137

Enrobés hydrocarbonés - Couches de roulement : Bétons bitumineux très minces - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre.

NF P 98-138

Enrobés hydrocarbonés - Couches d'assises : Graves bitumes - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre.

NF P 98-140

Enrobés hydrocarbonés - Couches d'assises : Enrobés à module élevé - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre.

NF P 98-141

Enrobés hydrocarbonés - Couches de roulement et couches de liaison : Bétons bitumineux à module élevé - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre.

NF P 98-145

Enrobés hydrocarbonés - Asphaltes coulés pour trottoirs et pour couches de roulement de chaussées - Définition - Classification - Caractéristiques - Fabrication - Mise en œuvre.

NF P 98-150

Enrobés hydrocarbonés - Exécution des corps de chaussées - Couches de liaison et couches de roulement - Constituants - Composition des mélanges - Exécution et contrôles.

ENDUITS SUPERFICIELS, COULIS ET PRODUITS SPECIAUX

NF P 98-160

Revêtement de chaussée - Enduits superficiels d'usure - Spécifications

BETONS HYDRAULIQUES

NF P 18-010

Bétons - Classification et désignation des bétons hydrauliques.

FD P 18-011

Bétons - Classification des environnements agressifs.

NF P 18-500

Bétons - Bétons de sable.

NF P 18-501

Additions pour béton hydraulique - Fillers.

NF P 18-502

Additions pour béton hydraulique - Fumées de silice.

NF P 18-506

Additions pour béton hydraulique - Laitier vitrifié moulu de haut-fourneau.

NF P 18-508

Additions pour béton hydraulique - Additions calcaires - Spécifications et critères de conformité.

NF P 98-170

Chaussées en béton de ciment - Exécution et contrôle.

NF P 98-171

Chaussées en béton de ciment - Etude de formulation d'un béton - Détermination de la composition granululaire conduisant à la compacité maximale du béton frais.

NF EN 450

Cendres volantes pour béton - Définitions - Exigences et contrôle de qualité.

METHODES D'ESSAIS & TECHNIQUES OPERATOIRES

Les principales méthodes d'essais mises en œuvre à la faveur de la présente démarche et ne faisant pas l'objet de normes sont synthétisées ci-après, pour ce qui concerne leur principe.

1. ANALYSES CRISTALLO CHIMIQUES

1.1. FLUORESCENCE X

Cette méthode permet de mettre en évidence de façon quantitative ou semi-quantitative, les éléments chimiques présents dans l'échantillon et dont la masse atomique est supérieure à celle de l'élément Oxygène. Le principe est rappelé ci-dessous.

Le rayonnement X primaire émis par un tube est envoyé sur l'échantillon à analyser. L'interaction rayon X incident avec l'échantillon absorbant se traduit par l'ionisation de ce dernier. Compte tenu de la haute énergie du rayonnement incident (50 keV), les ionisations se traduisent par l'éjection d'électrons de la couche K de l'échantillon, qui se trouve ainsi dans un état excité. La durée de vie de ces atomes ionisés est très brève ($< 10^{-11}$ s), ils reviennent dans leur état fondamental : les lacunes sur la couche K sont comblées par des électrons provenant de couches plus éloignées du noyau (couches L ; M...). Ces transitions entre niveaux d'énergie se traduisent par des libérations d'énergie quantifiées auxquelles correspondent les raies caractéristiques d'un élément chimique.

La méthode utilisée durant l'étude est de type semi-quantitatif, avec une erreur relative inférieure à 20 %, basée sur l'interprétation des hauteurs de pics de fluorescence X caractéristiques des divers éléments chimiques. L'appareil utilisé est de marque SIEMENS, modèle SRS 300 AS, équipé d'un tube à anticathode de rhodium.

1.2. DIFFRACTION DES RAYONS X

La diffraction aux rayons X révèle les phases cristallisées d'un échantillon mis en place sous forme de poudre. En effet les composés cristallins ont la propriété de diffracter suivant des angles spécifiques (angle 2θ) et des intensités spécifiques (nombre de coups par seconde). On enregistre alors un spectre de diffraction donnant des pics d'intensité et des angles caractéristiques d'un composé. Par comparaison avec une base de données de produits de référence, nous pouvons déterminer la nature des produits cristallisés présents à condition que leur pourcentage soit suffisant.

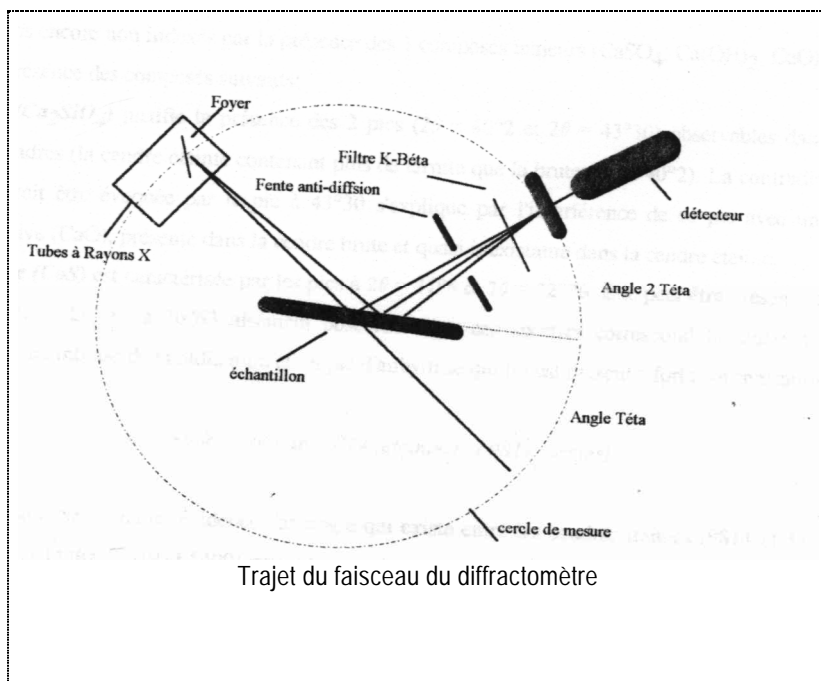
L'appareil utilisé est de marque SIEMENS, modèle D 5000. La source de rayons X est un tube à anticathode au chrome de longueur d'onde $\lambda = 2,2897 \text{ \AA}$. Le schéma de fonctionnement est présenté sur la figure I-1.

Le rayonnement émis par le foyer linéaire du tube à rayons X est diffracté par l'échantillon et capté par le détecteur. L'échantillon subit une rotation à vitesse angulaire constante de sorte que l'angle d'incidence du faisceau primaire se modifie tandis que le détecteur tourne à vitesse angulaire double autour de l'échantillon.

Les spectres de diffraction ont été mesurés, en général, dans le domaine $10^\circ - 100^\circ$ (angle 2θ).

Le porte échantillon étant vertical, les échantillons ont été mis en place sur le support goniométrique de deux façons différentes :

- * soit amalgamé avec une poudre support (Cuivre). Sur les diffractogrammes de ce type apparaîtront donc les deux pics caractéristiques du Cuivre à $2\theta = 66,5$ (intensité relative de 100) et $2\theta = 78,5$ (intensité relative de 46),
- * soit fixé sur une plaque de verre à l'aide d'un film de vaseline.



1.3. DOSAGE DE LA CHAUX LIBRE

Le dosage de la chaux libre a été réalisé selon la méthode Leduc, dite à l'eau sucrée. Elle consiste à complexer la chaux libre par une solution sucrée puis à en réaliser la titrage avec une solution d'acide sulfurique (NF P15-461). Cette méthode permet de doser la somme $\text{CaO}_{\text{vive}} + \text{Ca}(\text{OH})_2$ sans attaquer les silicates de calcium, éventuellement formés lors de la maturation. La différenciation entre CaO_{vive} et $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nécessite le couplage de cette mesure avec l'analyse thermogravimétrique.

Néanmoins, elle ne permet pas de doser les inclusions de chaux situées entre les cristallites de silicate de calcium.

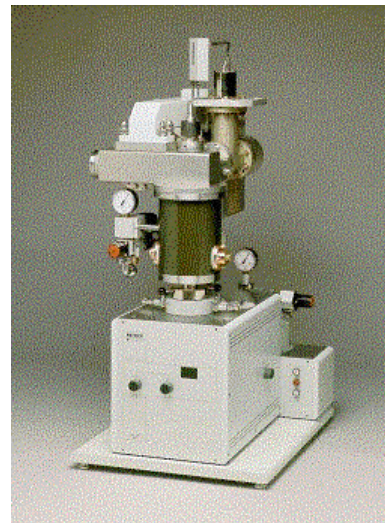
Cette méthode a été appliquée sur certaines classes granulométriques, ou simplement sur la classe 0/20 mm.

1.4. ANALYSE THERMOGRAVIMETRIQUE ET THERMIQUE DIFFERENTIELLE

La structure et la composition chimique d'un matériau évolue au cours d'une variation de température : fusion, cristallisation, oxydation, décomposition.... Le matériel présent au laboratoire permet de mesurer ces transformations en fonction de la température. Différents paramètres sont suivis en fonction du temps et de la température du four :

- * La masse (thermo gravimétrie) : Les pertes correspondent à des émissions de vapeur (H_2O , SO_2 , CO_2 ...) ; les gains correspondent à des fixations de gaz ;
- * La différence de température entre l'échantillon qui subit des transformations endothermiques ou exothermiques et une référence ne subissant aucune transformation dans la gamme de température étudiée. De façon conventionnelle, un phénomène endothermique correspond à une différence de température négative (pic vers le bas) et un phénomène exothermique correspond à une différence de température positive (pic vers le haut).

L'appareil utilisé est un NEZTCH, STA 409 C (figure I-2). Les essais ont été effectués entre 30 et 1 200 °C, sous balayage d'argon (rampe de 10 °C par minute).



1.5. TENEURS EN SULFATES ET CHLORURES SOLUBLES DANS L'EAU

L'essai comporte deux parties majeures :

- la préparation de l'échantillon,
- le dosage en chlorures et sulfates solubles dans l'eau.

Dans les deux cas, l'échantillon (0/20 mm) est préparé et solubilisé selon la norme EN 1744-1. Après diverses opérations, les filtrats ont été analysés par chromatographie ionique.

1.6. MICROSCOPIE OPTIQUE

Les analyses optiques permettent de mettre en évidence la structure des matériaux et d'identifier les diverses phases cristallisées qui présentent des propriétés particulières vis à vis de la réflexion ou de la transmission des rayons lumineux (pléochroïsme, biréfringence,...).

Un ensemble de marque LEICA (microscope polarisant par transmission et réflexion de type DMRXP; loupe stéréoscopique modèle MZ12) a été utilisé pour mener la présente étude. Ce complexe est associé à un système d'acquisition d'images.

Le DMRXP (figure ci-contre) est équipé, tant en transmission qu'en réflexion, d'une platine porte objet pivotant autour de l'axe optique du microscope, d'un polariseur placé avant l'échantillon et d'un analyseur (polariseur amovible) dont le plan de polarisation est perpendiculaire à celui du polariseur, analyseur situé sur le trajet optique après l'échantillon.



Microscope LEICA DM RXP

Ce dispositif permet des études en lumière polarisée non analysée (« lumière naturelle ») et en lumière polarisée-analysée (« lumière polarisée »).

Dans les conditions précédentes, les observations sont réalisées :

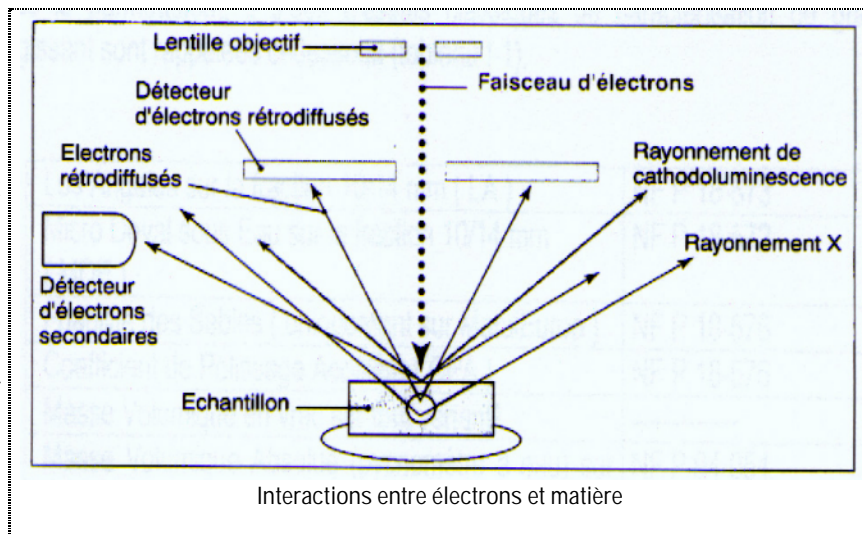
- * soit par transmission au travers de « lames minces » où l'échantillon est réduit à une épaisseur de 30 microns, En lumière naturelle, ceci conduit à l'étude de la structure, de la forme et de la coloration (pléochroïsme éventuel). Les observations en lumière polarisée permettent la détermination des minéraux anisotropes caractérisés par les positions d'extinction et les tentes de biréfringence dues à la disparition de certaines longueurs d'ondes lorsque les rayons réfractés par l'échantillon sont repris par l'analyseur. En présence de phases isotropes ou amorphes, la lumière n'est plus transmise (polariseur et analyseur croisés).
- * soit par réflexion sur des surfaces polies.
Ce type d'étude permet d'accéder à la structure, à la forme et au relief des diverses phases de l'échantillon. Il peut également conduire à l'estimation du pouvoir réflecteur et à l'étude des réflexions internes en vue d'une détermination des minéraux.

Dans le cadre de ce projet, il a été essentiellement réalisé des études par réflexion sur surfaces polies en lumière naturelle ou polarisée. Ces analyses ont pu être complétées par des observations à la loupe binoculaire.

1.7. MICROSCOPIE ELECTRONIQUE A BALAYAGE

Dans ce type d'analyse l'échantillon est bombardé par un faisceau d'électrons. Au point d'impact les électrons primaires donnent naissance à divers rayonnements dont ont recueilli deux composantes

+ des électrons secondaires de faible énergie, issus de la surface de l'échantillon et recueillis par le SED (Secondary Electron Detector) ce qui permet la réalisation d'images à fort grossissement avec une grande profondeur de champ ;



+ des électrons rétrodiffusés ,plus énergétiques, issus d'une partie plus profonde de l'échantillon. Comme précédemment ils permettent la formation d'images mais donnent également des informations relatives aux éléments présents au point d'impact en relation avec leur densité. C'est cette dernière composante qui a été principalement utilisé dans l'étude.

Un microscope électronique à balayage environnemental de type Electroscan été utilisé pour cette étude. Il se différencie des MEB conventionnels par un système complexe permettant d'établir un vide qui, très poussé au niveau du canon à électrons (10^{-7} Torr), décroît progressivement pour atteindre une valeur proche de la pression atmosphérique au niveau du porte échantillon (10 Torr). Ceci permet l'observation d'échantillons dans leur état naturel sans métallisation. Pour ce type de microscope le détecteur est particulier : il s'agit d'un détecteur GSED (Gaseous Secondary Electron Detector) qui utilise l'environnement gazeux de la chambre comme amplificateur. Cette ionisation est également à l'origine d'ions positifs qui neutralisent les charges apparues à la surface de l'échantillon sous l'impact du faisceau primaire.

Le microscope est couplé à une sonde d'analyse à dispersion en énergie EDS (Oxford Instrument Link ISIS) permettant des analyses qualitatives et semi quantitatives.

2. ANALYSES PHYSIQUES ET MECANIQUES

2.1. ANALYSE GRANULOMETRIQUE

Les échantillons reçus ont fait l'objet d'une mesure de la granulométrie. Celle-ci a été effectuée par tamisage manuel selon la norme NF P 18-560.

Pour les produits de TIOXIDE, étant donnée leur finesse, les mesures ont été effectuées à partir d'un granulomètre laser de type COULTER LS230 (4 modèles optiques). Pour éviter les phénomènes d'agglomération durant l'analyse, on utilise l'éthanol comme liquide porteur. De plus, les suspensions ont subi des ultra sons durant trois minutes avant la mesure.

2.2. ESSAIS DE CARACTERISATION

Les tests suivants ont été effectués sur l'ensemble des produits étudiés dès que leurs caractéristiques le permettaient. Il s'agit d'essais classiques de caractérisation de granulats. Les normes les régissant sont rappelées ci-dessous (tableau I-1).

Los Angeles sur la fraction 10/14 mm (LA)	NF P 18-573
Micro Deval sous Eau sur la fraction 10/14 mm (MDE)	NF P 18-572
Friabilité des Sables (uniquement sur MetalEurop)	NF P 18-576
Coefficient de Polissage Accéléré (CPA)	NF P 18-575
Masse Volumique en vrac sur tout venant	-----
Masse Volumique Absolue (pycnomètre à eau) sur distribution FULLER	NF P 94-054
Essai de fragmentabilité (FR)	NF P 94-066
Essai de dégradabilité (DG)	NF P 94-067

3. MESURES DES VARIATIONS DIMENSIONNELLES

Trois essais ont été effectués pour quantifier de façon accélérée les processus d'hydratation des matériaux étudiés :

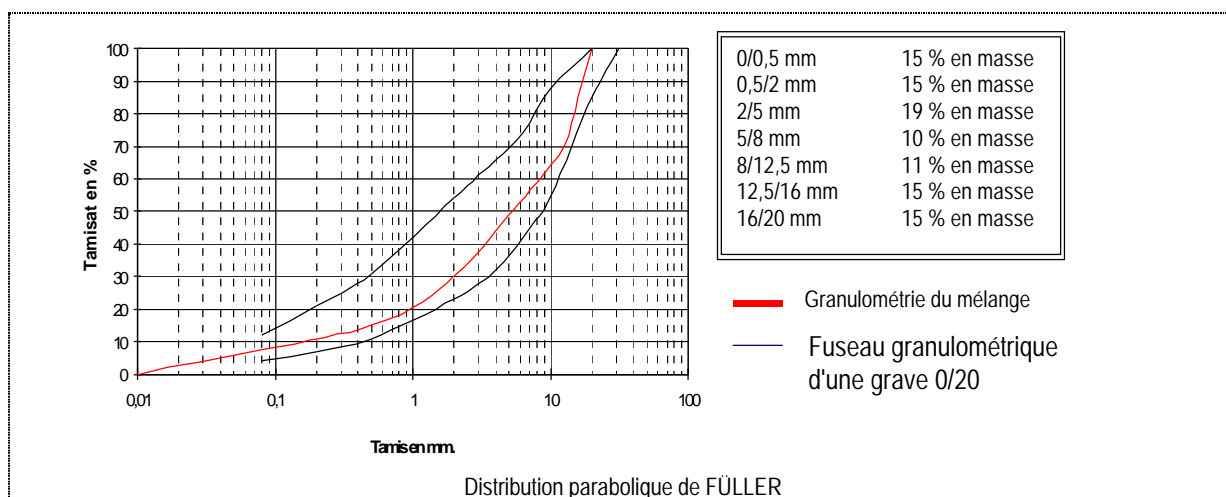
- l'essai dit « essai au Bain Marie »,
- l'essai à la vapeur,
- l'essai de délitement.

3.1. ESSAI AU BAIN MARIE

3.1.1. Préparation de l'échantillon

Pour les essais de gonflement, on utilise un mélange minéral sec de matériau 0/20 mm. Le mélange est composé selon des proportions basées sur la loi parabolique de FULLER. Cette reconstitution nous permet d'obtenir des essais reproductibles pour chaque type de compactage.

Ce mélange entre dans le fuseau granulométrique d'une grave type 0/20 (figure I-5) selon la norme NF P 98-129 des Graves Non traitées.



3.1.2. compactage de l'échantillon

Le mélange de matériau 0/20 mm est mis en place dans des moules type CBR par compactage à l'énergie Proctor Modifié, la teneur en eau du mélange étant de 6% . Cette teneur en eau, déterminée dans la phase 1 du projet (PREDIS, GT5, phase 1), permet un compactage correct, en étant proche de l'OPM (Optimum Proctor Modifié). Cette valeur moyenne a été déterminée afin que chaque matériau soit compacté de façon identique pour cet essai.

La mesure de la densité sèche apparente est effectuée sur chaque éprouvette.

3.1.3. Conduite de l'essai

Cet essai consiste à plonger le moule, muni d'une surcharge de 5 kg, dans une eau déminéralisée à 60°C afin d'accélérer la cinétique des réactions. Les mesures de variations dimensionnelles sont réalisées à l'aide d'un comparateur au 1/100 mm jusqu'à stabilisation. Il s'agit donc d'un gonflement relatif. Pour chaque matériau étudié, il a été réalisé 3 éprouvettes.

3.2. ESSAI A LA VAPEUR

3.2.1. Préparation de l'échantillon

Les matériaux sont reconstitués selon le fuseau granulométrique FÜLLER (voir paragraphe 3.1.1). Le mélange est également amené à 6% de teneur en eau.

3.2.2. Conduite de l'essai

Cet essai consiste à placer un cylindre d'essai à fond perforé, où se trouve l'échantillon compacté, au-dessus d'une chambre de chauffe. Le générateur de vapeur est constitué d'une chambre dans laquelle de l'eau déminéralisée est portée à ébullition. La vapeur d'eau générée doit traverser uniformément de bas en haut l'échantillon.

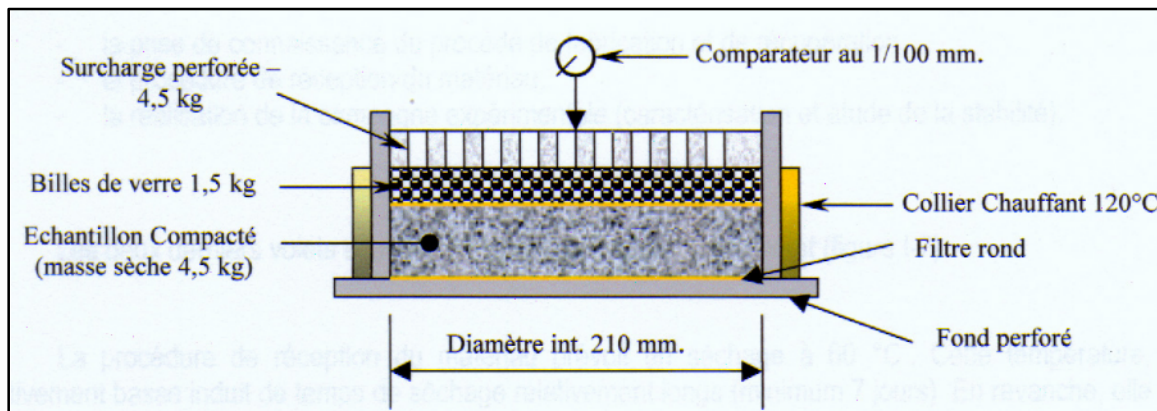
Afin d'éviter la condensation sur les parois internes du cylindre par perte de chaleur, celui-ci est chauffé à 120°C à l'aide d'un collier chauffant adapté sur la paroi extérieure.

L'échantillon humidifié est compacté à la dame Proctor Modifié afin d'approcher les 25% de porosité demandés dans la norme (environ 90 coups).

Les variations de hauteur dans le temps sont mesurées à l'aide d'un comparateur au 1/100 mm, jusqu'à stabilisation (environ 7 jours).

3.2.3. Schéma de principe

Il est représenté sur la figure ci-après



MIEUX GERER LES DECHETS

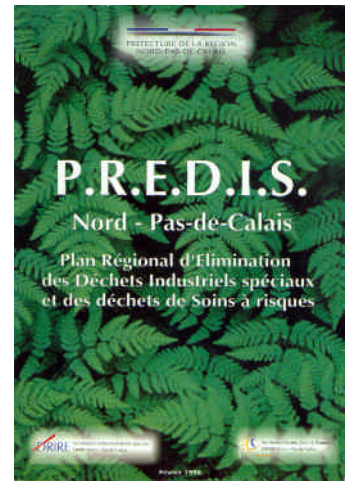
Le PREDIS, Plan Régional d'Élimination des Déchets Industriels Spéciaux

Un outil prospectif

Les lois de 1992 et 1995 fixent des objectifs ambitieux en matière de gestion des déchets. Pour atteindre ces objectifs, la loi a aussi imposé la réalisation de plans territoriaux d'élimination des déchets : déchets ménagers au niveau départemental et déchets industriels au niveau régional.

Dans le Nord-Pas de Calais, le Plan Régional d'Élimination des Déchets Industriels Spéciaux (PREDIS) est entré en vigueur en 1996. C'est un outil prospectif élaboré pour 10 ans. Ce document estime les quantités produites par les activités industrielles, artisanales et de santé.

Le PREDIS définit les besoins en matière de traitement de sorte que la région Nord - Pas de Calais dispose à terme des installations et des capacités de stockage nécessaires à l'élimination de ses propres déchets.



UNE DEMARCHE CONSENSUELLE PERENNE

Le PREDIS doit aujourd'hui se traduire par des actions concrètes. Aussi, dans le cadre de la phase de mise en œuvre et d'évolution du Plan, l'ensemble des partenaires qui ont participé à l'élaboration du PREDIS ont décidé d'un commun accord de poursuivre les travaux sur plusieurs années afin de définir et de mettre en place, en collaboration avec les professions, des filières de valorisation et d'élimination adaptées et opérationnelles.

La concertation et la transparence sont les principes essentiels garants de l'efficacité et de la qualité de cette démarche volontaire.

Les Partenaires

Les partenaires du PREDIS membres de la commission plénière sont :

- ◆ La Préfecture de Région responsable de la démarche.
- ◆ Les services de l'Etat compétents tels que la DRIRE et la DRASS.
- ◆ Le Conseil Régional Nord-Pas de Calais.
- ◆ Les représentants des producteurs de déchets.
- ◆ Les représentants des collecteurs et éliminateurs de déchets.
- ◆ Les organismes publics compétents tels que l'ADEME, l'Agence de l'Eau, le BRGM.
- ◆ Les représentants des associations de défense de l'environnement.

Des personnalités qualifiées.

Ont participé au financement des guides

- ◆ Fond Européen de Développement Régional - FEDER.

◆ Les Industriels

- | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| * ASCOMETAL USINE DES DUNES | * GODEFROOD | * SOTRENOR |
| * B.U.S VALERA | * HECKETT-MULTI SERV | * SURSCHISTE SA |
| * CIMENTS D'ORIGNY | * LAMINES MARCHANDS EUROPEENS - LME | * TERRILS SA |
| * COMILOG FRANCE | * METALEUROP NORD | * TIOXIDE |
| * EDF | * RECYTECH | * UGINE SA |
| * GAGNERAUD INDUSTRIES | ● SOLLAC Atlantique | * VALLOUREC & MANNESMANN |