



Ministère de l'Economie,
des Finances et
de l'Industrie



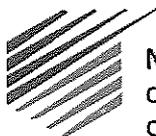
Comité National
de la Charte

**DOCUMENT PUBLIC
A ACCES RESERVE**

*Synthèse technico-économique
sur l'optimisation du recyclage
des eaux de procédé
dans les carrières de granulats*

février 2000
BRGM/RP-50025-FR





Ministère de l'Economie,
des Finances et
de l'Industrie



Comité National
de la Charte

**DOCUMENT PUBLIC
A ACCES RESERVE**

*Synthèse technico-économique
sur l'optimisation du recyclage
des eaux de procédé
dans les carrières de granulats*

H. Gaboriau, P. Le Berre

février 2000
BRGM/RP-50025-FR



Mots clés : Granulat, carrière, eau, recyclage, décantation, filtration, législation.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Gaboriau H ., Le Berre P. (2000) – Synthèse technico-économique sur l'optimisation du recyclage des eaux de procédé dans les carrières de granulats. Rap. BRGM/RP-50025-FR, 69 p., 2 fig., 15 tabl., 1 ann.

© BRGM, 2000, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

L'étude technico-économique concernant le recyclage des eaux de lavage des carrières de granulats a été réalisée dans le cadre des opérations de Service Public 1999 du BRGM avec l'appui du Comité National de la Charte, association créée sous l'égide de l'Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG).

Cette étude a été entreprise pour tenter de répondre aux interrogations engendrées par les termes de l'arrêté du 22 septembre 1994 qui fixe les prescriptions applicables aux carrières pour les rejets d'eau dans le milieu naturel. Cet arrêté prévoit entre autres, que les rejets d'eau de traitement des matériaux à l'extérieur du site autorisé sont interdits et que ces eaux doivent être entièrement recyclées (article 18.2).

Afin de faire un point concernant la mise en application de cet arrêté, une enquête a été entreprise dans dix carrières sélectionnées par le Comité de la charte et des échantillons ont été prélevés pour analyses en laboratoire. Des données complémentaires ont été recueillies auprès des équipementiers et fabricants de flocculants.

La préparation des granulats par voie humide est une technique qui a tendance à se développer pour deux raisons :

- pouvoir répondre aux critères de propreté de plus en plus sévères exigés pour différentes utilisations : granulats pour bétons hydrauliques, ballasts pour voie ferrée des lignes TGV, graviers pour enduits superficiels et certains enrobés,
- pouvoir optimiser l'exploitation des gisements contenant un pourcentage significatif d'argile comme les Calcaires de Beauce, les sables pliocènes de l'Ouest de la France ou les alluvions de haute terrasse.

D'après les données statistiques disponibles, en France, le tonnage de granulats lavés peut-être estimé au voisinage de 200 Mt/an pour une production totale de 350 Mt/an. Les granulats lavés sont principalement des granulats alluvionnaires (75 % du tonnage lavé), mais aussi des granulats éruptifs (15 %) et calcaires (10 %). Ce lavage entraîne une production de l'ordre de 15 à 20 Mt/an de boue (exprimée en tonnage de matière sèche).

Le lavage peut s'effectuer à différents niveaux de l'installation de traitement : débouage du matériau tout-venant dans un tube-débourbeur en tête de l'installation, et rinçage sur des cribles. En fin de traitement, l'eau de procédé associée à la fraction sable (< 5 mm) est généralement envoyée sur un groupe cyclone-essoreur permettant la séparation sable/eau chargée en fines (< 80 microns).

Cette eau chargée en fines qui ne peut-être rejetée en dehors du site d'exploitation est recyclée. Trois types de solutions techniques ont été observés lors des visites en carrière : décantation naturelle dans un bassin, décantation dans un décanteur et transfert

des boues épaissies dans un bassin de décantation, décantation dans un décanteur et compactage des boues dans un filtre-presse.

Le taux de recyclage de l'eau d'une installation de lavage de granulats dépend des pertes qui peuvent se produire tout au long du circuit. Si l'on excepte les fuites, les pertes en eau se situent aux différents niveaux suivants :

- pertes correspondant à l'eau résiduelle piégée dans les sables et graviers,
- pertes correspondant à l'humidité résiduelle des boues,
- pertes au niveau des bassins de décantation, par évaporation ou infiltration.

La décantation naturelle de l'eau de lavage dans un bassin, sans traitement préalable, est la solution la plus utilisée en France (90 % des installations). Ces bassins occupent généralement une vaste superficie (plusieurs hectares). Le taux de recyclage global des carrières visitées est généralement faible (de l'ordre de 30 %), sauf dans une carrière (80 %) où le bassin est probablement rechargé par la nappe. Ces évaluations sont effectuées à partir des prélèvements d'eaux réalisés à l'extérieur des sites d'exploitation (pompage de nappe ou de cours d'eau).

La décantation à l'aide d'un décanteur est réalisée dans seulement 10 % des exploitations lavant des granulats. Cette technique impose l'utilisation de flocculants qui en favorisant l'agglomération des fines en suspension, permettent de réduire la surface de décantation. Les dosages en flocculant sont généralement compris entre 50 et 100 g/t de boue (matière sèche), mais peuvent atteindre 300 g/t dans les cas défavorables. Pour un décanteur fonctionnant correctement, la concentration solide passe généralement de 50 g/l pour les eaux entrant dans le décanteur à 500 g/l pour les boues en sortie, soit un taux de recyclage de 92 % pour cet équipement (taux de recyclage global de 85 %). Dans les carrières visitées, le taux de recyclage mesuré sur les décanteurs varie de 66 à 95 %. En sortie de décanteur, les eaux clarifiées de surverse sont stockées dans une cuve d'eau claire puis recyclées dans l'installation. Les boues épaissies sont stockées dans des bassins de décantation de superficie limitée. Pour la plupart des carrières visitées, la gestion de ces bassins s'intègre alors dans la politique de réaménagement du site (zone agricole).

L'utilisation d'un filtre-presse pour traiter la boue en sortie de décanteur est très rare dans les carrières françaises de granulats (4 carrières seulement). En revanche, cette technique est très utilisée dans les pays voisins (Belgique, Suisse, Italie). Le filtre-presse joue un rôle mineur en terme de recyclage de l'eau, cette fonction étant principalement assurée par le décanteur (90% et plus du recyclage de l'eau). En revanche, il permet de réduire le volume des boues et de les rendre pelletables et ainsi d'éviter la création de bassins de décantation.

Des analyses et essais de laboratoire effectuées sur les boues prélevées lors des visites de carrière ont confirmé la grande variabilité minéralogique de ces boues engendrant des vitesses de décantation et des rendements de filtration très différents. Ces essais confirment que la floculation permet de réduire la surface de décantation d'un facteur 10 à 100. D'autre part, le comportement en séparation solide/liquide peut être

facilement approché par la mesure de la capacité d'absorption de bleu de méthylène qui traduit la teneur en argile et plus particulièrement en smectite de ces boues.

Une estimation du coût de traitement des eaux de lavage des granulats a été effectuée à partir des données fournies par les carriers et les équipementiers. Pour les différentes techniques décrites précédemment, ce coût exprimé en Francs/t de granulats, en supposant un gisement contenant 10 % de fines, est le suivant :

- décantation naturelle dans un bassin : 0,1 F/t
- décantation dans un décanteur : 1 F/t
- décantation dans un décanteur et filtration dans un filtre-presse : 2 à 4 F/t

En conclusion, si l'on compare les termes de l'arrêté du 22 septembre 1994 avec les données recueillies au cours de cette étude, il apparaît clairement que, dans les carrières visitées, les eaux de lavage des granulats ne sont jamais rejetées en dehors du site d'exploitation. D'autre part, la notion de « recyclage intégral des eaux de lavage » doit être considéré comme une orientation et non comme un objectif absolu. Compte tenu des techniques disponibles, un taux de recyclage de 85 à 90 % (hors pertes liées à l'humidité des granulats) est envisageable en utilisant un décanteur et en optimisant la conduite de la floculation.

Une décantation naturelle dans des bassins n'est pas à exclure a priori sous trois réserves : imperméabilisation des bassins, intégration dans le schéma global d'exploitation et de réaménagement de la carrière, aménagement permettant de réduire la surface de décantation et de favoriser le recyclage (digues filtrantes, bassins en cascade,...)

L'utilisation d'un filtre-presse ne se justifie pas en terme de recyclage de l'eau mais devient nécessaire dès lors que la création de bassins de décantation devient problématique (zones urbanisées, vallées encaissées, ...).

Sommaire

Introduction.....	8
1. Rappel du cadre et des objectifs du projet	11
1.1. Cadre général	11
1.2. Liste des carrières visitées	12
1.3. Liste des principaux interlocuteurs.....	13
2. Rappel de la législation concernant les rejets d'eau des exploitations de carrière.....	15
3. Estimation du tonnage de granulats lavés et de boues produites.....	17
3.1. Rappel des estimations antérieures (1979 et 1986)	17
3.2. Essai d'estimation pour la période actuelle	18
4. Techniques de lavage et de recyclage des eaux. Taux de recyclage	21
4.1. Le lavage des granulats.....	21
4.2. Recyclage des eaux de procédé	25
4.2.1. Evaluation du taux de recyclage de l'eau	25
4.2.2. Décantation naturelle dans des bassins.....	27
4.2.3. Décantation en décanteur conventionnel (cylindro-conique) avec transfert des boues épaissies dans un bassin de décantation.....	27
4.2.4. Décantation en décanteur conventionnel avec filtre-pressage des boues	29
4.3. Autres techniques utilisables en séparation solide-liquide	32
4.3.1. Décanteur lamellaire.....	32
4.3.2. Surfloculateurs-compacteurs de boue.....	32
4.3.3. Bandes presseuses.....	32
4.3.4. Centrifugation	33
5. Description des flocculants utilisés dans l'industrie des granulats	35
5.1. Généralités	35

5.2. Utilisation des flocculants dans l'industrie des granulats.....	36
5.4. Impact des flocculants anioniques sur l'environnement	37
6. Etude expérimentale.....	39
6.1. Caractérisation des boues de lavage	39
6.1.1. Caractérisation granulométrique.....	39
6.1.2. Caractérisation minéralogique	40
6.2. Essais de séparation solide-liquide	42
6.2.1. Concentration solide des boues prélevées	42
6.2.2. Essais de décantation	43
6.2.3. Essais de filtration.....	45
7. Estimation du coût de traitement des eaux de procédé.....	49
7.1. Décantation naturelle dans un bassin.....	49
7.2. Utilisation d'un clarificateur	49
7.3. Utilisation d'un filtre-presse.....	50
Discussion – Conclusion	53
Bibliographie.....	57

Liste des figures

Fig. 1 – Fonctionnement schématique de l'installation de traitement Al. Bilan du recyclage de l'eau	31
Fig. 2 – Etude des relations entre la capacité d'absorption du bleu de méthylène et les performances en séparation solide liquide	47

Liste des tableaux

Tabl. 1 - Liste des carrières visitées.....	12
Tabl. 2 - Estimation du pourcentage du nombre de carrières équipées de circuit de lavage des granulats d'après étude TPG 1979	18
Tabl. 3 - Répartition de la production française 1997	19
Tabl. 4 - Estimation de la production de granulats lavés sur un échantillon de 250 carrières (chiffres 1999)	19
Tabl. 5 - Estimation de la production française 1997 de granulats lavés	19
Tabl. 6 - Synthèse des données recueillies lors des visites de carrière. Description des installations de traitement.....	23
Tabl. 7 - Synthèse des données recueillies lors des visites de carrière. Description des méthodes de recyclage des eaux de procédé et calcul des taux de recyclage	24
Tabl. 8 - Analyse granulométrique par tamisage.....	39
Tabl. 9 - Analyse granulométrique par diffractométrie laser de la fraction passant au tamis de 50 µm	40
Tabl. 10 - Caractérisation minéralogique	41
Tabl. 11 - Détermination des concentrations en solide.....	42
Tabl. 12 - Synthèse des données de décantation.....	44
Tabl. 13 - Synthèse des essais de filtration.....	46
Tabl. 14 - Evaluation du coût d'un clarificateur	50
Tabl. 15 - Evaluation du coût d'un filtre-pressé	51

Liste des annexes

Annexe 1 - Textes réglementaires	59
--	----

Introduction

La préparation des granulats par voie humide est une technique qui a tendance à se développer pour deux raisons :

- pouvoir mettre en exploitation des gisements contenant un pourcentage significatif d'argile comme les Calcaires de Beauce, les sables pliocènes ou les alluvions de haute terrasse ;
- pouvoir répondre aux critères de propreté de plus en plus sévères exigés pour les différentes utilisations : fabrication de bétons hydrauliques, mais aussi ballast de voie ferrée et granulats pour enduits superficiels et enrobés bitumineux.

En effet, seul un lavage énergique des granulats permet d'éliminer les produits polluants et notamment les fines argileuses. De plus, seule la voie humide permet de réaliser des coupures granulométriques dans les faibles dimensions et une bonne classification des sables.

Mais ce lavage nécessite l'utilisation de grandes quantités d'eau qui, en sortie des installations de carrières, sont chargées en fines (fraction inférieure à 80 microns) qui ne peuvent être rejetées en dehors des exploitations de carrière.

En effet, l'arrêté du 22 septembre 1994 du Ministère de l'Environnement pris en application de la loi 76-663 du 19 juillet 1976 sur les installations classées pour la protection de l'environnement qui fixe les prescriptions applicables aux carrières stipule que **les rejets d'eau de procédé sont interdits à l'extérieur du site et que ces eaux doivent être intégralement recyclées.**

L'objectif de la présente étude est d'évaluer l'impact technique et économique de ce recyclage imposé par la réglementation.

Cette étude a été menée en 1998-1999 dans le cadre des opérations de Service Public du BRGM et a bénéficié de l'appui du Comité National de la Charte, association créée sous l'égide de l'Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG).

1. Rappel du cadre et des objectifs du projet

1.1. CADRE GENERAL

Selon la nature du gisement, le mode d'exploitation et le schéma d'élaboration, les granulats peuvent être caractérisés par une proportion significative d'éléments fins (limite normative à 80 microns) et d'argile (fraction ≤ 2 microns). La propreté constitue un critère essentiel d'utilisation des granulats, notamment dans le secteur des bétons hydrauliques. Pour améliorer la propreté des granulats, les schémas de traitement peuvent inclure une étape de lavage. En outre, l'exploitation de nouvelles ressources caractérisées par une proportion plus élevée de fines conduit à une généralisation du lavage : c'est l'exemple des carrières qui exploitent le calcaire de Beauce ou les hautes terrasses alluviales. Le lavage génère des eaux de procédé chargées en fines qui ne peuvent pas être rejetées directement à l'extérieur de l'exploitation.

L'arrêté du 22 septembre 1994 du Ministère de l'Environnement pris en application de la loi 76.663 du 19 juillet 1976 sur les installations classées pour la protection de l'environnement, fixe les prescriptions applicables aux carrières et aux installations de premier traitement pour les rejets d'eau dans le milieu naturel. L'article 18.2 de l'arrêté stipule que les rejets d'eau de procédé sont interdits à l'extérieur du site et que les eaux doivent être intégralement recyclées. Le respect de cette réglementation peut conduire les professionnels à modifier le circuit de lavage et de recyclage. Le but de la présente étude est donc d'en évaluer les impacts techniques et économiques

Le programme des travaux à entreprendre a été établi dans le cadre d'une concertation entre le BRGM et le Comité National de la Charte (réunion tenue le 5 février 1999 au siège de l'UNPG). Ces travaux réalisés par les ingénieurs du BRGM ont bénéficié de l'appui technique de Monsieur J. Lot, nommé pilote de cette étude par le Comité de la Charte. L'étude est décomposée en trois phases :

- **Etat des lieux** : l'objectif de cette première phase est de réaliser un état des lieux en matière de recyclage des eaux de procédé. Cette phase a comporté un important travail d'investigation dans une dizaine de carrières « pilotes » sélectionnées par le Comité National de la Charte. Des données complémentaires ont également été recueillies par consultation d'équipementiers. Des données bibliographiques, empruntées à l'industrie minière, ont complété ce travail d'investigation.
- **Etude expérimentale** : les boues de lavage de granulats sont caractérisées par une grande variabilité minéralogique (phases constitutives, pourcentage et nature des argiles) et granulométrique qui induit des comportements très différenciés en terme de séparation solide-liquide. L'objectif des essais de laboratoire a été de préciser cette variabilité des caractéristiques (essais de caractérisation minéralogique et physique) et de quantifier ses conséquences en terme de traitement (essais de séparation solide-liquide). Les essais ont été réalisés sur les échantillons de boues

prélevés dans la dizaine de carrières visitées, représentatives des principaux types de gisements exploités.

- **Synthèse technico-économique.** Outre le recueil de l'ensemble des données et leur interprétation, cette synthèse précise le surcoût induit par l'optimisation du circuit de séparation solide/liquide (et donc son incidence sur le prix de revient des granulats) en fonction des performances visées. Ces conclusions permettront d'ouvrir des pistes de réflexion en matière de recyclage des eaux de procédé en carrière.

1.2. LISTE DES CARRIERES VISITEES

Afin de faire le point de la situation française en matière de recyclage des eaux de lavage des granulats, nous avons visité une dizaine de carrières "pilotes" travaillant en voie humide et représentatives des principaux types de matériaux exploités (alluvionnaire, éruptif, calcaire) et des procédés utilisés (bassin de décantation, clarificateur, filtre-pressé). Ces dix carrières sélectionnées par le Comité National de la Charte appartiennent aux principaux groupes français impliqués sur le marché des granulats : Lafarge, GSM (Italcementi), Morillon Corvol (RMC) et Basaltes.

Cinq carrières exploitent des matériaux alluvionnaires, deux des roches éruptives et trois des roches calcaires, Dans la suite du rapport, ces différentes carrières seront désignées par la référence reportée à la dernière colonne du tableau synthétique 1.

Type de matériau	Dpt	Production annuelle (kt)	Production lavée (% production totale)	Réf.
Alluvions de la Saône	71	230	100	A1
Alluvions de la Loire	45	550-600	100	A2
Alluvions de la Seine	77	500	67	A3
Alluvions de la Seine + galets de silex (chailles)	77	1100 dont chailles 400	100	A4
Sables pliocènes	56	180	100	A5
Grès armoricains	14	1400 à 1500	100	E1
Roches volcaniques	03	800	40	E2
Calcaire de Beauce	28	550	60	C1
Calcaire de Beauce	45	200	60	C2
Calcaire de Château-Landon	77	500	100	C3

Tabl. 1 - Liste des carrières visitées

L'accueil des différents responsables de ces carrières a été excellent et il nous ont transmis l'ensemble des données disponibles concernant les chiffres de production, le mode de traitement de matériaux et le recyclage des eaux de lavage.

Pour d'évidentes raisons de confidentialité, les compte rendus rédigés à l'issue de chaque visite de carrière ne sont pas reproduits dans le présent rapport de synthèse. Ils seront transmis à chaque responsable de carrière rencontré.

1.3. LISTE DES PRINCIPAUX INTERLOCUTEURS

Outre les exploitants de carrière, des visites ont été également organisées auprès d'industriels français intervenant dans le traitement des eaux chargées en carrière.

- **les sociétés SOTRES-LAMEX et MS SA** (Clermont-Ferrand) sont des équipementiers spécialisés dans le domaine du traitement des sables et dans les techniques de recyclage et traitement des eaux de procédé des carrières de granulats ;
- **la société CHOQUENET** (Chauny-Aisne), principal fabricant français de filtres-presses ;
- **la société SNF-FLOERGER** (siège à St-Etienne), principal fabricant français de produits floculants.

2. Rappel de la législation concernant les rejets d'eau des exploitations de carrière

L'arrêté du 22 septembre 1994 du Ministère de l'Environnement pris en application de la loi 76.663 du 19 juillet 1976, relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, fixe les prescriptions applicables aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement de ces matériaux (broyage, concassage, criblage, nettoyage). Une circulaire d'application du 2 juillet 1996 précise les conditions de mise en œuvre de cet arrêté (annexe 1).

L'article 18.2 de l'arrêté concerne les rejets d'eau dans le milieu naturel. Il prévoit que :

- les rejets d'eau de procédé des installations de traitement des matériaux à l'extérieur du site autorisé sont interdits. **Ces eaux sont intégralement recyclées** (article 18.2.1) ;
- les eaux d'exhaure, les eaux pluviales et les eaux de nettoyage peuvent être rejetées dans le milieu naturel (article 18.2.2) dans la mesure où elles respectent les prescriptions suivantes : pH entre 5,5 et 8,5 ; MEST (matières en suspension totale) < 35 mg/l ; DCO (demande chimique en oxygène) < 125 mg/l ; hydrocarbures < 10 mg/l.

La circulaire d'application précise de plus que :

- pour les gisements de matériaux meubles (alluvionnaires) en nappe, le pompage (lors de rabattement de nappe) et donc le rejet d'eau sont interdits sauf **autorisation expresse** ;
- les eaux de ruissellement extérieures doivent être détournées du site d'exploitation ;
- la liste des paramètres envisagés à l'article 18.2.2 n'est pas limitative ; des teneurs en métaux peuvent être imposées, en particulier pour certaines exploitations de roches massives où une altération chimique des minéraux peut se produire ;
- au cas où le niveau de pollution résultant de l'implantation d'une carrière est incompatible avec les objectifs de qualité de l'eau ou certaines utilisations de l'eau, un traitement des rejets très poussé devra être envisagé.

Des projets de modification de cet arrêté et de cette circulaire sont en cours d'élaboration en 1999 mais les prescriptions concernant les rejets d'eau dans le milieu naturel resteront identiques.

3. Estimation du tonnage de granulats lavés et de boues produites

Le lavage a été tout d'abord utilisé pour la production de granulats destinés à la fabrication des bétons hydrauliques. Mais cette technique a actuellement tendance à s'étendre aux autres utilisations des granulats :

- granulats pour ballast des voies de chemin de fer des lignes TGV lavés en totalité ;
- gravillons pour couches de roulement de chaussée (enduits superficiels systématiquement, enrobés dans certains cas) qui sont déjà partiellement lavés et le seront de plus en plus afin d'affiner les formulations.

Cette tendance est renforcée par le fait que l'on exploite et exploitera probablement des gisements de matériaux présentant des pourcentages d'éléments fins de plus en plus élevés (jusqu'à 20 % et peut être plus) dans le cadre :

- du transfert des exploitations alluvionnaires du lit majeur vers les hautes terrasses ;
- de la substitution matériaux alluvionnaires/roches massives et de la nécessaire valorisation des sables concassés produits lors de l'exploitation des roches massives (en particulier, sables à béton) : cas des Calcaires de Beauce activement exploités pour l'alimentation en granulats de la Région parisienne ;
- de la possible mise en exploitation de matériaux locaux (calcaires tendres, argiles à silex, graveluches,...) pour des raisons d'économie de la matière première et de transport.

3.1. RAPPEL DES ESTIMATIONS ANTERIEURES (1979 ET 1986)

Des statistiques ont été effectuées en 1979 et 1986 sur le pourcentage de carrières équipées de circuits de lavage, dans le cadre des études menées pour le compte de la taxe parafiscale sur les granulats (études générales 2EG9 et 41EG98).

Les résultats de l'étude menée en 1979 sur un échantillon de 958 exploitations à partir de données des agences de bassin sont présentés dans le tableau 2.

L'estimation réalisée en 1986 sur un échantillon de 1055 exploitations recensées dans un fichier SETRA-LCPC conduisait à un pourcentage total voisin : 63 % des installations de carrière lavaient des granulats.

Lors de cette étude menée en 1986, la **production totale de boue avait été estimée entre 5,5 et 7 millions** de tonnes (matière sèche) d'après la production 1982 de granulats : 341 Mt dont 211 Mt d'alluvions se répartissant entre 115 Mt pour le bâtiment

et 226 Mt pour les travaux publics. L'estimation avait été effectuée en considérant que seuls les granulats pour bâtiment étaient lavés et que le taux moyen de fines était de 5 à 6 %.

Cette production de boue était supposée provenir à 90 % du lavage de matériaux alluvionnaires et à 10 % de roches massives.

	Nombre total de carrières	Carrières avec circuit de lavage	
		Nombre	Pourcentage
Alluvions	541	486	90
Calcaires	125	16	13
Roches éruptives	292	85	29
Total roches massives	417	101	24
Total tous matériaux	958	587	61

Tabl. 2 - Estimation du pourcentage du nombre de carrières équipées de circuit de lavage des granulats d'après étude TPG 1979

3.2. ESSAI D'ESTIMATION POUR LA PERIODE ACTUELLE

Nous avons tenté d'estimer la production 1997 de granulats lavés en interrogeant différentes sources, l'UNPG et les principaux groupes impliqués sur le marché français des granulats.

D'après les services techniques de l'UNPG qui nous ont fourni les données du tableau 3, la totalité des granulats pour bétons hydrauliques, pour ballasts et pour enduits superficiels de chaussée sont lavés, représentant 126 Mt en 1997. Mais une partie des gravillons destinés aux autres utilisations routières sont également lavés, en particulier ceux utilisés pour la fabrication des enrobés.

Considérons à présent, le taux de lavage en fonction de la nature des granulats. Les matériaux alluvionnaires sont lavés en quasi totalité. Dans le domaine des éruptifs, le lavage se limite généralement au rinçage des gravillons et des ballasts. Le lavage du tout venant est très rare et correspond au cas de la carrière E1 où le gisement est « pollué » par des argiles. Parmi les calcaires, le lavage concerne pour l'essentiel les matériaux tendres type calcaire de Beauce.

	Bétons hydrauliques (Mt)	Ballast (Mt)	Enduits superficiels (Mt)	Autres utilisations routières (Mt)	Total (Mt)
Alluvionnaires	90		2	73	165
Calcaires	15			75	88
Eruptifs et divers	13	3	3	64	93
Total	118	3	5	212	346

Tabl. 3 - Répartition de la production française 1997

Nous avons contacté d'autre part les responsables des groupes Lafarge et GSM et avons obtenu une estimation basée sur un échantillon de 250 carrières (cf. tableau 4).

	Production totale Mt	Production lavée Mt
Alluvionnaires	40	40
Calcaires	15	1
Eruptifs et divers	11	8
Total	68	49

Tabl. 4 - Estimation de la production de granulats lavés sur un échantillon de 250 carrières (chiffres 1999)

A l'échelle de ces deux groupes, le tonnage de granulats lavés serait de l'ordre de 72 % du tonnage total et de 100 % pour les granulats alluvionnaires.

D'après les données fragmentaires à notre disposition, nous pouvons estimer le tonnage de granulats lavés à environ 200 Mt/an pour l'ensemble de la France (cf. tableau 5).

Type de granulats	Production totale Mt	Taux de lavage %	Production lavée Mt	Fines %	Fines Mt
Granulats alluvionnaires	165	90-100	150-165	10	16
Granulats éruptifs	93	30-40	28-37	3	1
Granulats calcaires	88	10-20	9-17	10	1
Total	346		187-229		18

Tabl. 5 - Estimation de la production française 1997 de granulats lavés

Si l'on considère une teneur moyenne en fines éliminées de l'ordre de 10 % pour les alluvions et les calcaire(tendres) et de 3 % pour les éruptifs, la production annuelle de boue issue du lavage des granulats peut être estimée à environ 18 Mt/an (tonnage de matière sèche).

4. Techniques de lavage et de recyclage des eaux. Taux de recyclage

4.1. LE LAVAGE DES GRANULATS

Le lavage a pour objectif de séparer les éléments fins agglomérés entre eux ou collés à la surface des granulats afin de les éliminer avec l'eau ayant servi à cette action, dans le but de récupérer des granulats exempts d'éléments nuisibles.

Le lavage peut s'effectuer à différents niveaux dans l'installation de traitement. Le choix du mode de lavage dépend bien sûr du pourcentage de fines présentes mais également de la nature de ces fines, en particulier la teneur en minéraux argileux :

- *le débouillage* s'effectue en tête d'installation sur le matériau tout venant. Le débouillage peut porter sur l'intégralité du tout venant ou sur la fraction primaire 0/150 mm issue d'un scalpage (fraction la plus riche en fines). Dans ce dernier cas, la fraction grossière du scalpage peut être intégralement traitée en voie sèche dans un circuit séparé ou bien traitée en voie humide après une étape de concassage. Le schéma scalpage + débouillage de la fraction 0/150 est mis en œuvre dans les trois carrières de calcaire visitées. Le débouillage est le plus souvent réalisé dans un tube débouilleur (en moyenne, 6 à 10 m de long - 2,5 à 3 m de diamètre). Le tube débouilleur est généralement alimenté via une goulotte de délayage où est apportée une part importante du flux d'eau. Deux des unités visitées réalisent le débouillage sur crible. Pour la première (matériaux alluvionnaires), le débouillage du tout venant 0/100 sur crible laveur est suivi en cas de besoin d'une attrition complémentaire dans un laveur à palettes. Une autre variante observée est le débouillage de la fraction 0/150 sur crible de délayage, suivi d'un rinçage en trommel.
- *le lavage sur crible*. Dans les cas favorables, le lavage sur crible laveur est suffisant pour atteindre la propreté recherchée sans étape de débouillage préliminaire. Pour mémoire, une des unités traitant de l'alluvionnaire lave le sable TV dans une roue à sable ; ce procédé va être très prochainement abandonné en faveur d'un crible laveur. Dans certains cas, le lavage sur crible (rinçage) peut être limité à une fraction de la production. C'est le cas de la carrière E2 qui ne lave que le ballast et une fraction des granulats routiers (application les plus « nobles ») ; le lavage se réduit à un rinçage sur un crible à balourds à 3 étages.

Après les différentes étapes de broyage/lavage/criblage, l'eau de procédé chargée en fines est associée au flux de sable (fraction inférieure à 5 mm). L'essorage du sable et la séparation granulométrique sable/fine sont réalisés sur des unités associant généralement un cyclone et un essoreur vibrant. A noter que les essoreurs vibrants se substituent aux roues à sable ou aux vis à sable. La pulpe de sable, de fines et d'eau alimente une cuve d'où elle est reprise pour alimenter un cyclone (diamètre

généralement compris entre 500 et 1000 mm) où s'opère la séparation sable/fine. Le diamètre de coupure des cyclones est de l'ordre de 80 μm . Les sables, concentrés à la pointe du cyclone, alimentent un essoreur vibrant où ils s'égouttent ; le filtrat est recyclé dans la cuve d'alimentation des cyclones. La teneur en eau résiduelle du sable égoutté est, suivant la granulométrie, comprise entre 12 et 15%. L'eau de procédé chargée en fines est évacuée à la surverse du cyclone. La concentration solide en fines dans l'eau de procédé est comprise entre 25 et 150 g/l, la moyenne arithmétique étant de 60g /l.

La consommation d'eau de lavage dépend naturellement à la fois de la proportion de fines et de leur nature. Pour l'ensemble des carrières visitées, la consommation est comprise entre 1 et 6 m^3/t granulat produit, la moyenne étant comprise entre 1,5 et 2 m^3/t (tableau 6).

Synthèse sur le recyclage des eaux de procédé dans les carrières de granulats

Référence carrière	Type de Matériau	production annuelle (kt)	production annuelle lavée (kt)	Chaîne de lavage	Débits	Eau consommée (m ³ /t granulat)	Fines éliminées (% TV)	Concentration solide de l'eau de lavage (g/l)	
								Calcul ^a	Mesure ^b
A1	Alluvions	230	230	tube-déboureur, crible, log washer, roue à sable - cyclone	tout-venant : 150 l/h eau de lavage : 220 m ³ /h	1,5	4	27	54
A2	Alluvions	550 - 600	550 - 600	débouillage : crible laveur + log washer + cyclone-essoreur criblage sous eau	tout-venant : 400 - 450 l/h eau de lavage : 400 m ³ /h débouillage 800 m ³ /h criblage	3,5	21	74	15
A3	Alluvions	500	335	roue à sable, crible, cyclone-essoreur	tout-venant : 120 - 130 l/h eau de lavage : 200 m ³ /h	1,5	5	31	38
A4	Alluvions Chailles	1100 dont chailles 400	1100	alluvions : crible sous eau, cyclone-essoreur chailles : tube-déboureur, crible sous eau, cyclone-essoreur	tout-venant : 350 l/h alluvions 350 l/h chailles eau de lavage : 1600 m ³ /h	1,5 (alluvions) 4,5 (chailles)	4 (alluvions) 9 (chailles)	25	14
A5	Sables pliocènes	180	180	tube-déboureur, crible, broyeur à barres, cyclone-essoreur	tout-venant : 200 l/h eau de lavage : 600 m ³ /h	6	20 scalpage à sec 15 lavage	50	23
E1	Quartzite Concassé	1400 à 1500	1400 à 1500	chaîne primaire : déboureur + lavage sur crible, cyclone-essoreur chaîne secondaire : lavage ballast avant chargement Installation annexe : lavage enduits superficiels	tout-venant : 500 - 600 l/h eau de lavage : 600 m ³ /h (chaînes I + II + III) 150 m ³ /h (ballast)	1,2	5	46	40
E2	Roches volcaniques Concassées	800	300 - 350	Installation annexe (lavage ballast + granulats routiers) : crible + cyclone-essoreur		1	3 à 5	40	10
C1	Calcaire Concassé	550	300 - 350	déboureur (tube laveur) + rinçage sur crible + cyclone-essoreur	tout-venant : 250 - 275 l/h eau de lavage : 200 m ³ /h	1	10	130	98
C2	Calcaire Concassé	200	120	tube-déboureur, égoutteur vibrant, crible, essoreur à sable, cyclone	tout-venant : 380 l/h eau de lavage : 400 m ³ /h	2,5	8	76	110
C3	Calcaire Concassé	500	500	tube-déboureur, crible, cyclone-essoreur	tout-venant : 250 l/h eau de lavage : 300 m ³ /h	1,2	20	167	147

^a concentration solide calculée à partir des débits tout-venant, débit d'eau et pourcentage de fines éliminées

^b concentration solide mesurée sur le prélèvement réalisé le jour de la visite

Tabl. 6 - Synthèse des données recueillies lors des visites de carrière. Description des installations de traitement

Synthèse sur le recyclage des eaux de procédé dans les carrières de granulats

Référence carrière	Mode de traitement des eaux de procédé	Floculation	Concentration sousverse décanteur (g/l)	Calcul du taux de recyclage (%)		Origine du prélèvement d'eau (hors site)
				Taux de recyclage du circuit d'équipements industriels ^a	Taux de recyclage global (prise en compte prélèvement d'eau hors site) ^b	
A1	Décanteur + Filtre-presse	Prestol Stockhausen 100g/t boue (matière sèche)	628	98,7	90	pompage dans Saône
A2	Décantation naturelle dans un bassin (1/3) Ancienne carrière (2/3)			Pas d'équipement industriel	33	pompage puits nappe de Beauce
A3	Décanteur + transfert des boues dans un bassin de décantation	Prestol Stockhausen dosage non connu		Décanteur hors fonctionnement le jour de visite	Pas de donnée	pompage dans bassin chargement bateaux (Seine)
A4	Décantation naturelle dans un bassin			Pas d'équipement industriel	80	pompage plan d'eau ouvert sur Seine
A5	Décanteur + transfert des boues dans un bassin de décantation	SNF Floerger An 813 55 g/t boue (matière sèche)	110	80	100	Pas de pompage en dehors du site
E1	Décanteur + transfert des boues dans un bassin de décantation	SNF Floerger An 923 100 g/t boue (matière sèche)	113	70	100	Pas de pompage en dehors du site
E2	Décanteur + transfert des boues dans un bassin de décantation	SNF Floerger An 905 100 g/t boue (matière sèche)	661	95	Pas de donnée	Pas de pompage en dehors du site
C1	Décanteur + transfert des boues dans un bassin de décantation	100 - 125 g/t	243	66	65	pompage forage nappe de Beauce
C2	Décanteur + transfert des boues dans un bassin de décantation	300 g/t	636	87	90	pompage forage nappe de Beauce
C3	Décantation naturelle dans un bassin			Pas d'équipement industriel	33	pompage dans canal du Loing

^a calcul du taux de recyclage à l'échelle du circuit d'équipements industriels. Equation [2], paragraphe 4.2.1.

^b calcul du taux de recyclage global prenant en compte les prélèvements d'eau à l'extérieur du site. Equation [3], paragraphe 4.2.1.

Tabl. 7 - Synthèse des données recueillies lors des visites de carrière. Description des méthodes de recyclage des eaux de procédé et calcul des taux de recyclage

4.2. RECYCLAGE DES EAUX DE PROCÉDE

L'eau de lavage chargée en fines ne doit en aucun cas être rejetée à l'extérieur du site. Trois types de solutions techniques ont pu être observés dans le cadre des visites :

1. Décantation naturelle dans des bassins ;
2. Décantation en décanteur conventionnel (cylindro-conique) avec transfert des boues épaissies dans un bassin de décantation ;
3. Décantation en décanteur conventionnel avec filtre-pressage.

Avant d'aborder en détail les différentes solutions techniques, il nous a paru important d'aborder le problème général du taux de recyclage et plus particulièrement, celui de son évaluation.

4.2.1. Evaluation du taux de recyclage de l'eau

Le taux de recyclage de l'eau d'une installation de lavage dépend directement des « pertes » qui peuvent se produire tout au long du circuit :

$$\text{Taux de recyclage \%} = \frac{\text{consommation totale} - \text{perte}}{\text{consommation totale}} \quad [1]$$

Si l'on excepte les fuites, les pertes en eau se produisent principalement à trois niveaux :

1. *L'humidité résiduelle des sables et graviers.* Elle représente 5 à 15% de la consommation d'eau totale pour une installation voie humide intégrale (sable 15%, gravillon 5%). Elle augmente avec la finesse des granulats produits.
2. *L'humidité résiduelle des boues.* Quelle que soit la solution technique envisagée, une proportion de l'eau reste associée aux fines. La solution avec filtre-pressé en fin de ligne est naturellement celle qui permet 1) de minimiser les pertes dans la boue, 2) de parfaitement quantifier le taux de recyclage en eau de l'installation. Le calcul réalisé dans le paragraphe 4.2.3 montre que le taux de recyclage global d'une installation avec filtre-pressé est voisin de 90%, la majorité des pertes (~ 8%) correspondant à l'humidité résiduelle des granulats.
3. *Les pertes au niveau du bassin de décantation.* Ces pertes sont d'une part l'infiltration, d'autre part l'évaporation. Ces pertes sont les plus difficiles à évaluer.

Les performances de recyclage d'un circuit constitué d'équipements industriels de séparation solide-liquide (décanteurs, filtre-pressés, cuves de stockage) sont faciles à quantifier. La quantité d'eau résiduelle associée aux boues dépend directement des performances d'épaississement du circuit. Connaissant les concentrations solides d'entrée et de sortie et en admettant que la concentration solide de surverse est négligeable, le taux de recyclage d'un circuit de séparation solide/liquide peut se calculer comme suit (hors perte d'eau liée aux granulats) :

$$\text{Taux de recyclage d'un équipement} = \frac{\text{débit d'eau recyclée}}{\text{débit d'eau d'entrée}} = \frac{(C_s^2 - C_s^1)100}{C_s^2 (1 - C_s^1/\rho_s)} \quad [2]$$

où C_s^1 et C_s^2 désignent respectivement les concentrations en g/l de l'eau de lavage et de la boue en pointe de décanteur. ρ_s est la masse volumique du solide en kg/m^3 (généralement, 2700).

Ainsi un décanteur qui épaissit une boue de 50 g/l à 500 g/l assure un taux de recyclage voisin de 92%. Un circuit composé d'un décanteur et d'un filtre-pressé produisant des gâteaux à 20% d'humidité ($C_s = 1612$ g/l) à partir d'une boue de lavage à 50 g/l assure un taux de recyclage de 98,7%. Si l'humidité résiduelle des granulats représente 8% de la consommation d'eau totale, le taux de recyclage global de l'installation est de [(100 - 8) x 98,7%], soit 90,8 %.

Le taux de recyclage de l'eau est toujours beaucoup plus difficile à appréhender lorsque les boues sont transférées dans un bassin de décantation. En effet, bien que les bassins soient partiellement imperméabilisés par la boue qui s'y dépose et s'y compacte progressivement, il subsiste des transferts entre le bassin et le milieu extérieur. Si le bassin est en dehors de la nappe ou en surcharge, le bilan est négatif avec perte d'eau. Si le bassin est dans la nappe, le bilan peut alors être positif avec recharge en eau. Le bilan peut également se compliquer par les phénomènes d'évaporation ou de précipitation.

Ne pouvant pas évaluer simplement le bilan « eau » des bassins, le taux de recyclage global d'une exploitation peut également se calculer en considérant le prélèvement d'eau à l'extérieur du site qui vient compenser les pertes :

$$\text{Taux de recyclage global \%} = \frac{\text{consommation totale} - \text{prélèvement hors du site}}{\text{consommation totale}} \quad [3]$$

Néanmoins les visites montrent que ce mode calcul peut conduire à un bilan « biaisé ». C'est le cas de deux carrières qui n'effectuent aucun prélèvement en dehors du site, d'où un taux calculé de 100%. Ces carrières qui possèdent un circuit fermé avec décanteur complètent leur besoin en eau par des pompages dans le bassin de décantation ou dans des bassins annexes situés à l'intérieur du site. Le taux de recyclage de 100% implique obligatoirement un apport d'eau soit via une nappe, soit via les précipitations.

Ce développement préliminaire sur le recyclage sera complété par les données recueillies lors des visites d'installation. Il montre qu'il convient de discerner le taux de recyclage d'un circuit constitué d'équipements industriels de séparation solide-liquide (décanteurs, filtre-presses, cuves de stockage) du taux de recyclage global d'une installation. Ce dernier est difficile à quantifier dès lors qu'elles utilisent un bassin de décantation.

4.2.2. Décantation naturelle dans des bassins

Dans trois des carrières visitées (A2,A4,C3), les eaux de procédé chargées en fines sont transférées sans aucun traitement dans des bassins de décantation. Ces bassins occupent généralement une grande superficie (plusieurs ha) qui dépend du débit traité (10 à 20 m³/m³ d'eau de lavage). Selon les équipementiers, cette solution technique est celle en cours dans environ 90 % des installations de traitement de granulats.

Les bassins de décantation correspondent à d'anciennes zones d'extraction ou à des bassins aménagés (digues en stérile de carrière) dans ces anciennes zones d'extraction. Compte tenu du fonctionnement gravitaire de ces bassins, il se produit une importante ségrégation granulométrique qui se traduit par un enrichissement en fines argileuses dans les sédiments « aval ». Cette ségrégation granulométrique peut poser problème dans le cas où les bassins, d'une superficie limitée, doivent être curés.

Une fraction de l'eau nécessaire à l'installation est généralement repompée dans le bassin, dans la zone aval où l'eau est suffisamment clarifiée. Cette zone de pompage peut être isolée du reste du bassin par des aménagements complémentaires de type digue filtrante (par exemple digue en gravier 5/40). L'eau pompée peut également être transférée dans un second bassin, type bassin d'eau claire. Une des carrières visitée est équipée de trois bassins en série d'une superficie unitaire de 8500 m². L'eau chargée alimente le bassin n°1 qui se déverse par trop plein dans le bassin n°2 qui se déverse lui même dans le dernier bassin. Les boues s'accumulent préférentiellement dans le premier bassin ; le pompage a naturellement lieu dans le dernier bassin où l'eau est suffisamment clarifiée.

Le taux de recyclage des trois carrières visitées a été calculé selon la formule [3] en considérant le débit d'eau prélevé en dehors du site d'exploitation.

Le taux de recyclage de deux des trois carrières (A2, C3) est faible avec une valeur de 33%. Cette valeur indique un bilan eau négatif avec des pertes d'eau par infiltration (faute de quoi, les bassins déborderaient rapidement).

A l'opposé, le taux de recyclage calculé de la troisième carrière (A4) est de 80%. Cette valeur est très élevée pour une solution de ce type. Rappelons qu'un équipement qui épaissirait de 25 g/l à environ 400 g/l (valeurs déduites des essais de décantation en laboratoire) assurerait un taux de recyclage d'environ 94%. En admettant, une perte en eau dans les sables et graviers de 8%, le taux de recyclage global serait de $(100 - 8) \times 94\%$, soit 86,5%. Le bassin de la carrière A4 étant dans la nappe, il n'est pas exclu qu'il soit partiellement rechargé par cette dernière.

4.2.3. Décantation en décanteur conventionnel (cylindro-conique) avec transfert des boues épaissies dans un bassin de décantation

Cette technique est appliquée dans la moitié des carrières visitées (A3,A5,E1,E2,C1,C2). Cette statistique n'est pas représentative de la situation nationale ; selon les équipementiers rencontrés, il existe actuellement 160 installations de traitement de ce type, soit environ 10% des installations de traitement pratiquant un lavage des granulats.

Après conditionnement par un flocculant, l'eau de lavage alimente un décanteur dont les deux fonctions seront de clarifier l'eau (clarification) et d'épaissir les boues (épaississement). L'ensemble des carrières visitées sont équipées de décanteurs conventionnels (par opposition aux décanteurs lamellaires) d'un diamètre généralement compris entre 9 et 20 mètres. Les surfaces spécifiques de décantation (exprimées en m² de surface de décantation par tonne (matière sèche) / heure de boue traitée) sont comprises entre 3 et 27 m²/(t/h), avec une valeur moyenne de 10 m²/(t/h). L'eau clarifiée est évacuée par débordement en surverse, alors que la boue épaissie est soutirée à la pointe du décanteur et transférée par pompage vers des bassins de décantation.

Les progrès réalisés en décantation sont liés d'une part à une plus grande maîtrise de la floculation (choix des flocculants, multiplicité des points d'injection, optimisation de la concentration solide de l'effluent), et à la conception même des décanteurs (géométrie, système de raclage et de compactage du lit de boue). Ces progrès ont permis d'améliorer significativement l'épaississement des boues et corrélativement le recyclage de l'eau.

Le conditionnement par le flocculant (généralement, des copolymères acrylamide / acrylate) peut être totalement automatisé. Sous réserve d'un minimum de soin dans le suivi et l'entretien, ces systèmes automatisés permettent donc de maîtriser en continu le dosage en flocculant et d'éviter la présence de flocculants résiduels dans le circuit d'eau. La qualité de la floculation est analysée en permanence de façon à ajuster le dosage en flocculant à la qualité de la boue à traiter et aux variations de charge. La vitesse de décantation est mesurée automatiquement à travers un tube en verre à l'aide d'une cellule optique. Un automate programmable compare la vitesse de sédimentation des floccs à la vitesse de consigne et régule le dosage en flocculant en agissant directement sur la pompe doseuse. Les dosages en flocculants sont généralement compris entre 50 et 100 g/t de boue (matière sèche), mais peuvent atteindre 300 g/t dans certains cas très défavorables. Après floculation, la vitesse de sédimentation des floccs est généralement comprise entre 30 et 100 cm/min.

La concentration solide des boues en pointe d'épaississeur dépend naturellement de la nature des fines. Elle est généralement comprise entre 400 et 700 g/l. La moitié des installations visitées limitent volontairement l'épaississement des boues par rapport aux performances du décanteur en raison de problème de transfert entre le décanteur et les bassins de décantation. En effet, lorsque la distance décanteur/bassin augmente (> 500 mètres), la puissance des pompes de transfert devient un facteur limitant qui impose de réduire la concentration des boues. Les eaux claires en surverse d'épaississeur sont généralement stockées dans une cuve d'eau claire avant d'être pompées et recyclées dans le circuit de lavage.

Les boues transférées dans les bassins de décantation vont continuer progressivement à s'épaissir et à s'assécher. Une partie de l'eau nécessaire au fonctionnement de l'installation peut être pompée dans le bassin de décantation. C'est en particulier le cas des carrières où les décanteurs fonctionnent en dessous de leur capacité maximale d'épaississement. Les moindres performances du décanteur en terme de recyclage de l'eau sont alors partiellement compensées par le pompage dans le bassin. Certaines carrières ont développé une stratégie de gestion des bassins de décantation permettant un réaménagement agricole coordonné : 1) création en zone déjà exploitée de quatre bassins de décantation en ligne, d'une superficie unitaire de 1 ha, délimités par des

dignes de stérile, 2) remplissage successif des bassins sur une épaisseur limitée de 1 à 2 m compatible avec un séchage optimal, 3) séchage des bassins pendant 1 à 2 ans, 4) recouvrement par du stérile, régalage de la terre végétale puis retour à l'exploitation agricole. La solution technique adoptée par Barytine de Chaillac pour la gestion des schlamms illustre les progrès réalisés en matière de décantation gravitaire et constitue une piste de réflexion pour l'industrie des granulats. L'optimisation de la décantation a permis d'augmenter la concentration des boues entre 800 et 1000 g/l. La boue ainsi épaissie est stabilisée à la chaux ou au ciment. Le matériau devient ainsi pelletable et est utilisé directement en réaménagement de l'exploitation. Cette solution technique qui les satisfait pleinement a conduit à l'abandon des filtres-presses.

Comme nous l'avons indiqué dans le paragraphe 4.2.1., les performances d'un équipement en terme de recyclage d'eau dépendent directement de ses performances d'épaississement et se calculent par l'équation [2]. Pour les différentes carrières visitées, le taux de recyclage à l'échelle des décanteurs s'établit entre 66 et 95% (rappelons, à titre de comparaison, qu'un décanteur qui épaissit une boue de 50 g/l à 500 g/l recycle 92% de l'eau).

Le taux de recyclage global de l'eau de ces carrières a été calculé par l'équation [3] qui prend en compte le volume d'eau prélevé en dehors du site. Il est de 65% et 91% respectivement pour les carrières C1 et C2. Ces deux valeurs sont cohérentes avec les valeurs de taux de recyclage des décanteurs (respectivement, 66 et 99%) dans la mesure où il n'y a pas de pompage complémentaire dans les bassins. Dans le cas des carrières A5 et E1 qui ne prélèvent pas d'eau en dehors des limites de site, le taux de recyclage global (calculé selon [3]) est de 100 %. Ce résultat indique que les pertes en eau sont partiellement compensées par des précipitations et/ou l'écoulement d'une nappe. Dans le cas de la carrière A5 dont les bassins (2 x 4 ha) sont au-dessus de la nappe, il s'agit très vraisemblablement de la contribution des eaux de pluie. Dans le cas de la carrière E1, une partie des besoins en eau est assurée par un pompage en fond de carrière qui reprend une partie de l'eau d'infiltration du bassin de décantation, l'eau de ruissellement de la fosse et l'écoulement d'une nappe « fossile ».

En résumé, ces différentes visites confirment qu'un décanteur performant assure un recyclage significatif de l'eau, supérieur à 90%. En revanche, cette technique ne permet pas de s'affranchir du problème des boues qui doivent être stockées dans des bassins de décantation.

4.2.4. Décantation en décanteur conventionnel avec filtre-pressage des boues

L'une des carrières visitées utilise un circuit de recyclage comportant un filtre-presse. Cette carrière a constitué à certains égards une installation pilote en France pour l'utilisation d'un filtre-presse dans le secteur des granulats. Il est important de préciser que l'emploi de filtres-presses en carrière de granulats est tout à fait marginal en France. Selon nos informations, seules 4 carrières françaises de granulats utilisent un filtre-presse. Il s'agit dans tous les cas de filtres-presses conventionnels (par opposition aux filtres-presses à membranes ; le principe de fonctionnement de ces derniers est décrit dans le paragraphe 6.2.3.). Les filtres-presses sont beaucoup plus largement utilisés par

certains de nos voisins européens comme la Belgique, la Suisse, l'Italie ou l'Espagne. Ils sont également très utilisés dans de nombreux autres secteurs de l'industrie minérale.

La boue en sousverse de clarificateur de concentration moyenne 650 g/l est stockée dans un silo tampon de 50 m³ qui assure l'alimentation d'un filtre-presse conventionnel équipé de 95 plateaux (1200 mm x 1200 mm). Les gâteaux, d'une épaisseur de 32 mm, présentent une humidité résiduelle de 26%. Le filtre permet de traiter 6,4 tonnes de matière sèche (correspondant à 8 t de matériau humide) par pressée d'une durée de 1h16min. Le rendement net de filtration (y compris rebâtissage-débâtissage) est d'environ 17 kg/m²/h. La quantité de boue pressée est de 46 tonnes (matière sèche)/jour pour une production de sables et graviers de 1100 t /jour (ratio de 4 % de fines). Le filtre-presse a dû être placé dans un bâtiment spécifique équipé d'un système de chauffage pour éviter les risques de gel. Les gâteaux produits présentent une compacité suffisante pour être facilement manipulés avec un chargeur et avant d'être repris pour le réaménagement des berges de la zone exploitée en mélange avec la terre de découverte. Les opérations de réaménagement ne peuvent pas être réalisées en hiver ; au cours de cette période, les gâteaux de filtration sont stockés en extérieur et résistent parfaitement aux intempéries.

Le choix de la technique du filtre-presse est lié à l'emplacement de l'installation qui dispose d'une superficie limitée en zone portuaire ; par conséquent la création d'un bassins de décantation était inenvisageable.

Le bilan du recyclage de l'eau pour la carrière visitée permet de bien évaluer les contributions respectives de la décantation et de la filtration dans la gestion des boues de lavage. Le circuit des eaux de procédé est représenté schématiquement sur la figure 1. Le taux de recyclage global de l'installation de traitement est de 90%. Les 10% de perte sont principalement liés à l'humidité résiduelle des sables et graviers (8 % de perte). Ces pertes sont compensées par un pompage dans la Saône. Le recyclage de l'eau de procédé est principalement assuré par le décanteur : le décanteur assure 95,3 % du recyclage global, le filtre 4,5% seulement. Si la filtration sous pression contribue relativement peu au recyclage de l'eau, elle simplifie considérablement la gestion des boues. En réduisant leur volume (dans le cas présent, la filtration réduit par deux le volume des boues de sousverse du décanteur) et *en les rendant pelletables*, cette technique permet de supprimer les bassins de décantation.

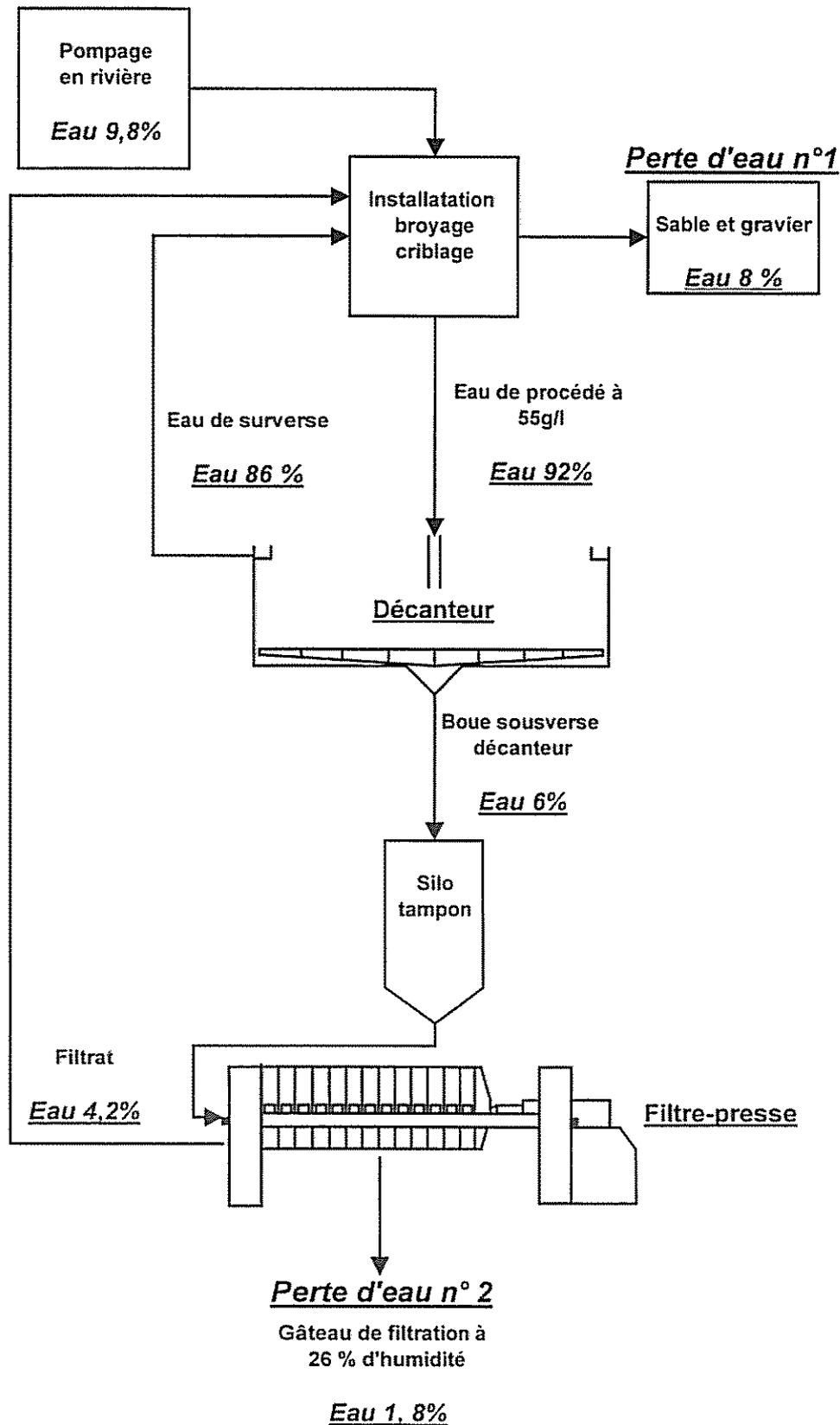


Fig. 1 – Fonctionnement schématique de l'installation de traitement Al. Bilan du recyclage de l'eau

4.3. AUTRES TECHNIQUES UTILISABLES EN SEPARATION SOLIDE-LIQUIDE

4.3.1. Décanteur lamellaire

Ces équipements de décantation sont basés sur le principe de la «sédimentation lamellaire» qui décrit la sédimentation de particules dans un liquide au-dessus d'une plaque inclinée, désignée plaque lamellaire. L'empilement des faisceaux de lame conduit à multiplier dans un même ouvrage les surfaces de séparation eau-boue tout en limitant l'encombrement au sol. Il existe également des équipements mixtes intermédiaires entre un décanteur gravitaire conventionnel et un décanteur lamellaire (« Combi » SVEDALA ; Delta-StakTM EIMCO).

Ce type de décanteur est très largement utilisé en traitement des eaux résiduaires, industrielles et municipales. Un de ces principaux avantages est de disposer d'une très importante surface de clarification/décantation en limitant l'encombrement au sol. En revanche, les performances des décanteurs lamellaires sont très sensibles à des variations des conditions d'alimentation (débit, concentration solide). Ce facteur est naturellement une limite à leur emploi en carrière de granulats et conduit à préférer les décanteurs conventionnels qui peuvent en outre assurer le rôle de cuve tampon.

4.3.2. Surfloculateurs-compacteurs de boue

Comme les appareils de filtration, ces appareils permettent de traiter des boues pré-épaissies dans un décanteur conventionnel ou dans des épaisseurs à double étage type Clariflux Neyrtec. Dans la partie supérieure des compacteurs de boues, la boue pré-épaissie est refloculée (surfloculation) pour obtenir des floccs de grandes dimensions. Un système mécanique situé en partie inférieure réalise la compression des floccs qui conduit à la libération de l'eau. L'agitation et la compression des floccs sont assurées par une rotation très lente des pales. La boue de plus en plus compactée, circule de haut en bas de l'appareil jusqu'au système d'extraction. Le Taaster[®] de chez Neyrtec fonctionne selon ce principe. Il peut théoriquement épaisir les boues jusqu'à 1200 g/l, de telles boues étant en principe pelletables.

Cet appareil n'est pas utilisé dans le secteur des granulats, exception faite des Carrières du Boulonnais (8 Tasster[®] en fonctionnement). La principale limitation est la consommation élevée en flocculant (> 200 g/t matière sèche)

4.3.3. Bandes presseuses

Dans ce type d'appareil qui fonctionne en continu, la boue est progressivement comprimée entre deux bandes (pression exercée de 3 à 4 bars).

Actuellement les filtres presses tendent à s'imposer dans de nombreux pays européens par rapport aux bandes presseuses malgré un coût d'investissement plus faible. Les trois principales raisons en défaveur des bandes presseuses sont 1) la consommation de flocculant (nécessité d'une flocculation supplémentaire avant pressage), 2) des coûts

d'entretien plus élevés (toiles, mécanique), 3) de moindre performance en terme de siccité finale de la boue.

4.3.4. Centrifugation

La centrifugation est un procédé de séparation qui utilise l'action d'un champ centrifuge. Cette technique peut être utilisée pour opérer une classification des ultra-fines (par exemple, classification des kaolins), réaliser des séparations liquide/liquide/solide (par exemple, huile/eau/sédiment) ou solide/liquide. Cette dernière application est la plus répandue ; elle est utilisée couramment dans la déshydratation des boues résiduelles urbaines. Les appareils industriels utilisés sont des décanteuses continues à bol plein équipées d'une vis racleuse qui évacue le sédiment épaissi. Ces décanteuses à axe horizontal sont caractérisées par des champs centrifuges compris entre 500 et 3000 g.

Ce type d'équipement n'est utilisable que si les boues ne sont pas ou peu abrasives. Dans le cas contraire, l'usure est telle que les coûts de maintenance deviennent prohibitifs. Outre de moindres performances que les filtres-presses en terme de siccité des boues et des coûts d'investissement supérieurs, l'usure est la principale raison qui explique l'absence de centrifugeuses dans les installations de traitement de granulats.

5. Description des flocculants utilisés dans l'industrie des granulats

5.1. GENERALITES

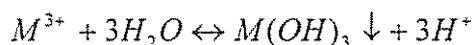
La coagulation-floculation est en général utilisée pour éliminer des matières en suspension ou des matières colloïdales qui décantent difficilement. L'optimisation de cette technique, en particulier la synthèse de molécules spécifiques, a représenté un progrès considérable pour optimiser les procédés de séparation solide/liquide en réduisant les surfaces de décantation.

Il est nécessaire de différencier les produits coagulants des produits flocculants.

Coagulants

Ce sont des produits qui neutralisent ou inversent les charges de surface des matières en suspension (diminution ou inversion du potentiel Zeta). Ils déstabilisent ainsi les particules et favorisent leur agglomération. Lorsqu'elles est mise en œuvre en traitement des eaux, la coagulation précède la floculation. Il existe deux principaux types de coagulants :

- Les *coagulants minéraux* sont principalement des sels métalliques à base d'aluminium ou de fer (sels d'aluminium, chlorure d'aluminium, chlorure ferrique, chaux, chlorure de calcium, sulfate ferreux, chlorure de magnésium,...). Les coagulants minéraux, par suite de leur hydrolyse, modifient les caractéristiques physico-chimiques de l'eau (acidification, conductivité) :



La coagulation conduit de plus à la production d'importants volumes de boue liés à la formation d'hydroxydes métalliques formés au cours de l'hydrolyse.

- Les *coagulants organiques de synthèse* sont des molécules cationiques de masse moléculaire moyenne (10^4 à 10^5). Il existe trois familles principales : mélamineformaldéhyde, épichlorhydrine diméthylamine (EPI.DMA) et les polychlorures de diallyldiméthyl-ammonium (POLYDADMAC).

Les coagulants sont moins utilisés que les flocculants dans le domaines des carrières. Ils sont mis en œuvre lorsque des problèmes de clarification des eaux se posent. L'acidification, et dans une moindre mesure les importants volumes de boue générés, limitent l'utilisation des coagulants minéraux en recyclage des eaux dans les carrières. Les risques liés à l'utilisation de sels d'aluminium (des concentrations résiduelles en aluminium seraient susceptibles de provoquer chez certaines personnes âgées la maladie d'Alzheimer) sont donc hors de propos. On préfère les coagulants organiques de synthèse qui neutralisent directement les charges sans modifier le pH et réduisent considérablement le volume des boues. Si la filtration se généralisait, les coagulants

minéraux de type sels ferriques couplés avec de la chaux pourraient être plus largement utilisés en conditionnement de la boue de sousverse de décanteur avant filtration.

Floculants

Les floculants sont des composés permettant d'agglomérer les particules en suspension en vue d'obtenir une taille unitaire plus grande (le floc) et donc des vitesses de séparation liquide-solide plus élevées. Ce sont des produits qui ont des actions inter-particules par pontage.

Il existe également différentes familles de floculants. Nous citerons pour mémoire les floculants minéraux (silice activée) et les floculants organiques naturels (extraits de substances végétales comme par exemple les amidons, les polysaccharides ou les alginates). Ces deux familles de produits ne sont pas utilisées dans le secteur des carrières.

Les floculants utilisés appartiennent à la famille des *floculants organiques de synthèse*. Ce sont des macromolécules à longue chaîne obtenues par association de monomères synthétiques dont certains possèdent des charges électriques ou des groupements ionisables. Ce sont des produits de très hautes masses molaires (10^6 à 10^7) qui ont permis d'atteindre des performances remarquables, généralement très supérieures à celles des polymères naturels.

La principale famille de floculants de synthèse est celle des *polyacrylamides* qui ont des dérivés de l'acrylamide. Les polyacrylamides sont des dérivés de l'acrylamide, et par conséquent de caractère *non ionique*. La fonction amide très polaire permet des pontages avec les matières en suspension par liaison de Van Der Waals. Toute une série de dérivés a été préparée à partir de cette structure de base par copolymérisation :

- soit avec des composés acides comme l'acide acrylique pour donner des copolymères *anioniques*. Ces dérivés sont les plus utilisés dans l'industrie des carrières ;
- soit avec des composés du type amine comme l'acrylate de diméthylaminoéthyle pour donner des copolymères *cationiques*. Les floculants cationiques sont généralement réservés au traitement des boues riches en matière organique.

Les différents produits se distinguent entre eux par le type et la proportion de monomère ionique, le poids moléculaire moyen et la répartition moléculaire. Un nombre très élevé de molécules polymères a été synthétisé pour arriver le plus souvent à une meilleure spécificité vis-à-vis de la suspension à traiter.

5.2. UTILISATION DES FLOCULANTS DANS L'INDUSTRIE DES GRANULATS

Comme mentionné dans le paragraphe précédent, les floculants les plus utilisés dans l'industrie des granulats sont des copolymères anioniques produits par polymérisation de l'acrylamide et d'un comonomère anionique, principalement le sel de sodium de l'acide

acrylique ou acrylate de sodium. Les produits les plus couramment utilisés contiennent 30 à 35% de fonctions anioniques. Si les eaux à traiter sont faiblement chargées, on utilise préférentiellement des floculants faiblement anioniques pour éviter que les eaux recyclées se chargent progressivement (An 905 de SNF à 5 % anionicité, par exemple).

Le prix de vente des floculants pour le traitement des eaux de lavage des granulats qui était de 17 à 18 F/kg en 1996, a baissé pour atteindre actuellement 13 à 13,5 F/kg. Les floculants pour le recyclage des eaux de lavage des granulats sont utilisés à un dosage moyen de 75 à 120 g/t boue (matière sèche). Mais cette concentration peut dans certains cas spécifiques aller bien au delà (250 g/t pour les calcaires de Beauce ; 350 g/t pour des chailles).

Un mauvais dosage peut engendrer des désordres dans le fonctionnement du clarificateur :

- une sous-floculation entraîne une diminution des performances du décanteur : la diminution de la vitesse de précipitation des floes entraîne des « remontées de boue », d'où une surverse chargée et inutilisable ;
- une surfloculation augmente la viscosité du milieu empêchant les fines particules de décanter d'où un rejet d'eau plus ou moins sale. Si du floculant reste dans le circuit de lavage, les particules s'agglomèrent au niveau des cyclones et restent dans le sable qui devient sale. De plus, le floculant résiduel présent dans le sable peut également engendrer des problèmes de rhéologie des bétons.

L'efficacité de la floculation dépend aussi de la concentration solide des eaux de procédé :

- une pulpe peu concentrée obligera à surdoser le polymère ;
- de même, un effluent trop concentré empêchera une bonne diffusion du floculant, d'où également un surdosage.

La multiplication des points d'injection du floculant dans le circuit est également un important facteur d'optimisation.

5.4. IMPACT DES FLOCULANTS ANIONIQUES SUR L'ENVIRONNEMENT

Les floculants de la famille des polyacrylamides anioniques ne présentent aucune toxicité systémique envers les organismes aquatiques et les microorganismes (polymère beaucoup trop volumineux pour être absorbé dans les tissus et cellules). De plus, ces produits ne peuvent s'accumuler dans l'environnement, car ils se dégradent sous l'action des ultraviolets en oligomères attaquables par les microorganismes. Des études récentes menées aux Pays-Bas et au Royaume-Uni ont confirmé que les polyacrylamides ne présentent qu'un très faible impact sur l'environnement.

Seuls les monomères d'acrylamide ou d'acrylate présentent un caractère cancérigène avéré. Les fabricants garantissent des concentrations en monomères résiduels très faibles dans les poudres. Elles sont inférieures à 1000 ppm pour les qualités de

floculants destinées au traitement des eaux résiduaires et inférieures à 500 ppm pour celles destinées aux eaux potables.

Les risques évoqués impliquent que le floculant soit présent à des concentrations élevées dans le circuit des eaux de recyclage. Or, *un floculant correctement dosé* et mis en œuvre est intégralement adsorbé sur les fines et *se retrouve de ce fait éliminé de l'eau*. Outre la réduction des coûts de consommable, une conduite rigoureuse de la floculation est une garantie supplémentaire 1) en terme de protection de l'environnement, 2) en terme de qualité des sables produits.

6. Etude expérimentale

L'objectif des essais de laboratoire est de quantifier la variabilité des caractéristiques physiques et minéralogiques des boues et d'en évaluer les conséquences en terme de séparation solide-liquide.

Les échantillons d'eau de procédé ont été prélevés 1) en amont du décanteur, avant floculation, dans les carrières équipées d'un décanteur, 2) avant rejet dans le bassin de décantation dans les autres carrières. Pour les carrières équipées d'un décanteur, un échantillon de boue épaissie a également été prélevé.

6.1. CARACTERISATION DES BOUES DE LAVAGE

6.1.1. Caractérisation granulométrique

L'analyse granulométrique des boues de lavage a été réalisée par tamisage en voie humide jusqu'à 50 μm . La granulométrie du passant au tamis de 50 μm a été mesurée par diffractométrie laser en voie humide sur un diffractomètre MALVERN MASTERSIZER S. Pour cette dernière mesure, les échantillons sont dispersés à une concentration de 5 g/l par passage aux ultrasons pendant 15 secondes, en présence de DISPEX (5 mg/g) et d'hexamétaphosphate (5 mg/g) Les résultats sont présentés synthétiquement dans les tableaux 8 et 9.

Référence carrière	Granulométrie par tamisage – poids (%)		
	+100 μm	-100 μm +50 μm	-50 μm
A1	1,89	15,66	82,45
A2	2,47	8,39	89,14
A3	0,11	5,45	94,42
A4	0,43	5,14	94,43
A5	5,74	14,01	80,25
E1		15,45 ^a	84,55
E2	0,82	16,83	82,35
C1	0,41	6,14	93,45
C2		10,83 ^a	89,17
C3	11,00	8,45	80,55

^a fraction + 50 μm

Tabl. 8 - Analyse granulométrique par tamisage

Référence carrière	Granulométrie par diffractométrie laser de la fraction passant au tamis de 50 μm		
	d_{90}^a (μm)	d_{50} (μm)	d_{10} (μm)
<i>A1</i>	37,36	6,70	1,28
<i>A2</i>	25,22	5,29	1,44
<i>A3</i>	26,16	3,06	0,91
<i>A4</i>	24,18	4,47	1,04
<i>A5</i>	33,79	6,64	1,51
<i>E1^b</i>	65,95	15,06	2,04
<i>E2</i>	34,74	6,30	1,34
<i>C1</i>	23,48	3,57	0,84
<i>C2</i>	49	28,29	1,8
<i>C3</i>	23,20	3,60	0,99

^a d_{90} (μm) : 90 % de la masse est d'une granulométrie inférieure à d_{90}

^b Granulométrie par diffractométrie laser de la fraction passant au tamis de 80 μm

Tabl. 9 - Analyse granulométrique par diffractométrie laser de la fraction passant au tamis de 50 μm

D'une manière générale, les différentes boues de lavage présentent des granulométries très voisines avec un diamètre moyen généralement compris entre 3 et 7 μm . Ce résultat est cohérent, les boues de lavage correspondant à une surverse d'hydrocyclone dont le diamètre de coupure est d'environ 80 μm . Les échantillons E1 et C2 se différencient par une granulométrie sensiblement plus grossière.

6.1.2. Caractérisation minéralogique

L'analyse minéralogique est déterminée par diffractométrie des rayons X à partir du diagramme de poudre. Ces analyses sont réalisées sur un appareillage SIEMENS D 5000 automatisé. La teneur en calcite a été précisée par des mesures de calcimétrie (norme NF B 31-105).

Des essais d'absorption de bleu de méthylène ont été réalisés selon le mode opératoire du «test de la tache». Cet essai d'usage courant, en particulier en géotechnique permet de quantifier l'indice de nocivité des fines. La capacité d'absorption de bleu de méthylène augmente lorsque l'on est en présence de minéraux colloïdaux développant d'importantes surfaces spécifiques : c'est le cas des minéraux argileux ou des colloïdes type oxy/hydroxyde de fer. C'est souvent l'indicateur de la présence d'argile de la famille des smectites (montmorillonite, par exemple) Une capacité d'absorption élevée est indicatrice d'un comportement difficile en séparation solide-liquide.

Référence carrière	Diffraction des rayons X	Calcite %	Absorption de Bleu de méthylène mg/g
A1	Quartz faible (~20%) ; Calcite faible ; Feldspath-plagioclase faible ; Illite/mica trace ; Smectite faible ; Kaolinite trace ; Chlorite trace	13,8	26,2
A2	Quartz en trace (~5 à 10%) ; Microcline, Plagioclase : faibles (10 à 15%) ; Calcite en traces (2 à 3%) ; Smectite* faible ; Illite/mica faible ; Kaolinite faible ; Pyrite en infratrace ; Phillipsite (probable) en trace	2,6	71,1
A3	Calcite abondante (~75 à 80%) ; Quartz en infratrace (~2 à 3%) ; Illite/Mica faible ; Kaolinite en trace ; Microcline en trace	87,1	7,5
A4	Quartz en trace ($\leq 10\%$) ; Calcite présente (~40%) ; Kaolinite faible ; Smectite* (probable) trace/faible ; Illite/Mica en trace ; Orthose, Plagioclase : en trace (~5%)	31,9	48,6
A5	Quartz faible (~25 à 30%) ; Kaolinite abondante ; Illite/Mica en trace	1,7	11,2
E1	Quartz présent ; Orthose trace ; Muscovite/Illite présent ; Kaolinite faible ; Oxyhydroxyde de fer traces	1,0	
E2	Quartz en trace ($\leq 10\%$) ; Calcite faible (~15%) ; Chlorite présente ; Illite/mica présent ; Plagioclase, Orthose : faibles (~15%)	11,9	11,2
C1	Calcite assez abondante (~55 à 60%) ; Quartz en infratrace (~1%) ; Smectite* (probable) très faible ; Illite/Mica en infratrace ; Kaolinite en infratrace ; Plagioclase en infratrace	75,9	41,1
C2	Calcite assez abondante (~55 à 60%) ; Quartz en infratrace (~1 à 2%) ; Smectite* (probable) très faible ; Kaolinite en infratrace	74,6	15,0
C3	Calcite ~100% ; Quartz en infratrace ($\leq 1\%$)	98,3	7,5

* Les argiles, et en particulier les smectites, pourraient être précisées sur lames orientées (normales-glycolées-chauffées)

Très abondant ~ > 95 %

Abondant ~ 75 % \pm 10 %

Présent ~ 50 % \pm 10 %

Faible ~ 25% \pm 10 %

Traces ~ 5 à 10 %

Tabl. 10 – Caractérisation minéralogique

Cette caractérisation minéralogique sommaire souligne l'importante variabilité minéralogique des boues de lavage. Les échantillons comportant une teneur significative en argiles de la famille des smectites (A1, A2, A4, C1) présentent corrélativement une forte capacité d'absorption de bleu de méthylène.

6.2. ESSAIS DE SEPARATION SOLIDE-LIQUIDE

Les essais de séparation solide-liquide réalisés à l'échelle du laboratoire ne visent en aucun cas à dimensionner une installation industrielle. Une telle approche dépasse le cadre de notre étude et aurait nécessité de s'assurer de la représentativité des échantillons prélevés. L'objectif était de comparer le comportement en séparation solide-liquide de boues de natures très différentes par des méthodologies classiques de dimensionnement.

6.2.1. Concentration solide des boues prélevées

Nous rappellerons à nouveau que ces valeurs sont indicatives, l'échantillon correspondant à un prélèvement ponctuel et n'ayant donc pas un caractère représentatif. C'est notamment le cas de l'installation E1 qui n'était pas en pleine charge au moment du prélèvement. Le décanteur de l'exploitation A3 n'assurait pas sa fonction d'épaississeur le jour de la visite.

Référence carrière	Concentration solide des eaux de lavage (surverse cyclone) g/l	Concentration solide des boues en sousverse du décanteur	
		g/l	%
A1	54	628	45
A2	15		
A3	38	41	4
A4	14		
A5	23	110	10
E1	~ 40	113	10
E2	10	661	47
C1	98	243	21
C2	110	636	45
C3	147		

Tabl. 11 – Détermination des concentrations en solide

6.2.2. Essais de décantation

Les essais de décantation ont été réalisés dans des pistons en verre d'un volume de 2 litres. La variation en fonction du temps de la hauteur de l'interface entre la zone de clarification et la suspension en décantation est notée. Les essais ont été réalisés selon un protocole unique, l'objectif n'étant pas d'optimiser les conditions opératoires spécifiques à chaque échantillon mais de procéder à une étude comparative. La concentration de départ des boues a été ramenée par dilution ou par concentration à 50 g/l. Les caractéristiques de décantation ont été déterminées sans et avec addition d'un flocculant. Le polymère retenu est couramment utilisé dans le secteur des carrières. Il s'agit d'un copolymère FLOERGER AN934 de type acrylamide/acrylate à 34% d'anionicité. Le dosage retenu était de 75 et 150 g/t. Les essais de décantation ont systématiquement été réalisés avec l'eau du site.

Les données expérimentales ont été traitées selon les méthodologies classiques de Kynch-Roberts (recherche du point de compression, des concentrations et vitesses de sédimentation dans la zone de compression), Talmage et Fitch pour les estimations des surfaces spécifiques de décantation. Ces dernières sont exprimées en m² de surface de décantation pour un débit de boue de 1 tonne(matière sèche)/heure. Ces méthodologies sont reconnues pour les dimensionnements des épaisseurs alimentés par des suspensions fines donnant des sédiments fortement compressibles.

Les valeurs de concentration obtenues après 24 heures de sédimentation en éprouvette piston de 2 litres sont inférieures à celles obtenues dans un décanteur industriel pour deux raisons : 1) charge plus faible due à une moindre hauteur de sédiment, 2) absence de compactage des floccs par les pales.

Les caractéristiques d'épaississement des boues varient très largement (tableau 12). De mauvaises caractéristiques d'épaississement se traduisent par une vitesse de sédimentation des floccs faible, un épaississement limité et une surface spécifique de décantation élevée. Bien que le choix et le dosage du flocculant n'aient pas été optimisés pour chaque échantillon, les données sur boue non flocculée et flocculée illustre très clairement le rôle clé de la flocculation en séparation solide/liquide. La flocculation permet de réduire les surfaces de décantation d'un facteur 10 à 100. Les surfaces après flocculation (dosage > 50 g/t) sont inférieures à 10 m²/(t/h) exceptées pour les échantillons A2, A4, C1 et C2 caractérisés par des capacités d'absorption de bleu de méthylène élevées.

Référence carrière	Floculant	Vitesse de sédimentation ^a	Point de compression	C _{inf} ^b	Surface spécifique de décantation
	g/t	cm/min	min	g/l	m ² /(t/h)
A1	0	0,4	170,0	402,8	296,5
A1	75	9,3	4,2	395,8	7,5
A1	150	62,2	0,6	382,1	1,4
A2	0	0,1	192,0	154,4	250,8
A2	150	0,3	75,0	179,4	173,7
A3	0	1,4	40,0	777,3	83,4
A3	150	56,4	0,8	469,6	1,7
A4	0	0,1	260,0	279,4	407,2
A4	75	0,5	80,0	312,7	146,3
A4	150	2,7	17,0	313,7	36,7
A5	0	0,4	110,0	369,4	190,0
A5	75	7,4	5,0	362,7	8,9
A5	150	15,0	2,5	384,3	3,9
E1	50	19,1	1,8	561,0	3,0
E2	0	4,0	14,0	487,5	34,8
E2	75	40,8	1,3	466,7	2,4
C1	0	0,2	180,0	415,3	232,7
C1	50	0,9	55,0	479,2	76,7
C1	150	1,9	32,0	327,1	61,3
C2	0	0,3	155,0	316,6	283,7
C2	50	0,6	70,0	418,2	139,4
C3	0	1,5	40,0	1020,2	67,6
C3	75	37,3	2,0	626,7	3,3
C3	150	96,0	0,6	667,1	1,5

^a vitesse de sédimentation dans la zone de sédimentation libre

^b concentration de la boue après 24 h de sédimentation.

Tabl. 12 - Synthèse des données de décantation

6.2.3. Essais de filtration

Comme pour les essais de décantation, les essais de filtration ont été réalisés selon un protocole unique permettant de comparer les performances en filtration des différents échantillons de boue. Pour cette raison, les résultats obtenus doivent être considérés comme un ordre de grandeur et non comme un dimensionnement d'installation industrielle.

- Pour les sites non équipés d'un décanteur, la boue de lavage a été floculée (dosage de 75 g/t ; floculant Floerger AN934) et épaissie en éprouvette de 2 litres suivant les conditions opératoires de l'essai de décantation en laboratoire. Après 24 h de décantation, l'eau surnageante était siphonnée et la boue prélevée. La concentration solide d'alimentation du filtre était donc celle obtenue lors des essais de décantation en laboratoire.
- Pour les sites équipés d'un épaisseur, les essais de filtration ont été réalisés sur la boue épaissie prélevée en sousverse de décanteur. Ces boues ayant déjà été flocuées, aucun ajout complémentaire de floculant n'a été réalisé. Par souci de cohérence avec les essais précédents, ces boues ont été redispersées ou concentrées pour atteindre la concentration solide obtenue par décantation au cours des précédents essais.

Les boues n'ont pas été coagulées par des coagulants minéraux type sels ferriques couplés à la chaux avant passage sur filtre.

L'objectif de ces essais est de caractériser le comportement des boues lors d'une séparation mécanique solide-liquide par filtration sous pression à l'aide d'un filtre de laboratoire à volume de chambre variable d'une surface filtrante de 100 cm². Les essais sont réalisés sous une pression constante de 15 bars. Le volume de filtrat écoulé en fonction du temps de filtration est enregistré automatiquement.

Le processus de filtration peut être décomposé en deux phases successives :

- **période de filtration libre** pendant laquelle la pression s'exerce directement sur la suspension de boue. Au fur et à mesure de la progression de la filtration, un gâteau se forme sur la toile filtrante. Cette phase s'achève lorsque la totalité de la suspension est filtrée et que le gâteau occupe tout le volume de la chambre de filtration. Dans le cas des filtres-presses conventionnels sans membranes tels que ceux utilisés dans les carrières de granulats, seule la filtration libre intervient.
- **période de consolidation**, pendant laquelle une contrainte mécanique s'exerce directement sur le gâteau formé par filtration libre. Cette contrainte conduit à l'expulsion d'une partie de l'eau et améliore ainsi la siccité finale du gâteau. Dans les filtres industriels, la contrainte mécanique est exercée par des membranes polymères (d'où le terme de filtres-presses à membranes) qui se dilatent par injection d'eau sous pression ou d'air comprimé.

Les données de filtration sont reportées dans le tableau 13. La résistance spécifique à la filtration est une grandeur physique qui augmente lorsque la filtrabilité d'un échantillon diminue. La filtration libre (cas d'un filtre-presse conventionnel) permet d'atteindre des

teneurs en eau comprises entre 17 et 38%. La consolidation (filtres-presses à membranes) diminue significativement le teneur en eau résiduelle qui est en moyenne inférieure à 20%. Les rendements de filtration obtenus en laboratoire sont très vraisemblablement inférieurs à ceux d'un circuit industriel 1) par augmentation de la concentration solide des boues en alimentation du filtre (les essais en laboratoire conduisent à des concentrations inférieures à celles obtenues dans un décanteur industriel), 2) par coagulation préalable des boues.

Les performances en filtration varient également dans une large fourchette. Ces essais confirment que la capacité d'absorption du bleu de méthylène est un excellent indicateur de l'aptitude à la séparation solide/liquide. Les échantillons A2, A4 et C1 caractérisés par les valeurs au bleu les plus élevées (> 40 mg/g) présentent de mauvaises caractéristiques de décantation et de filtration. La figure 2 où sont reportées les performances de séparation solide/liquide en fonction de la valeur au bleu en est l'illustration.

Référence carrière	Concentration alimentation g/l	Phase de filtration libre			Consolidation Teneur en eau du gâteau %
		Teneur en eau du gâteau %	Résistance spécifique à la filtration m/kg	Rendement filtration ^a kg /m ² /h	
A1	367	19,3	$3,93 \cdot 10^{13}$	5,3	16,2
A2	156	37,9	$2,22 \cdot 10^{14}$	0,6	26,5
A3	588	21,0	$1,90 \cdot 10^{12}$	221,0	19,1
A4	276	25,9	$5,42 \cdot 10^{13}$	3,3	21,2
A5	357	24,6	$1,03 \cdot 10^{13}$	23,1	22,1
E1	376	23,7	$1,16 \cdot 10^{13}$	22,8	16,3
E2	483	20,5	$4,09 \cdot 10^{12}$	76,1	18,5
C1	329	25,0	$2,95 \cdot 10^{13}$	7,4	20,9
C2	489	21,6	$3,21 \cdot 10^{13}$	10,3	18,4
C3	606	17,2	$5,02 \cdot 10^{11}$	717,6	15,5

^a rendement brut de filtration libre non compris temps de bâtissage/débatissage des gâteaux

Tabl. 13 – Synthèse des essais de filtration

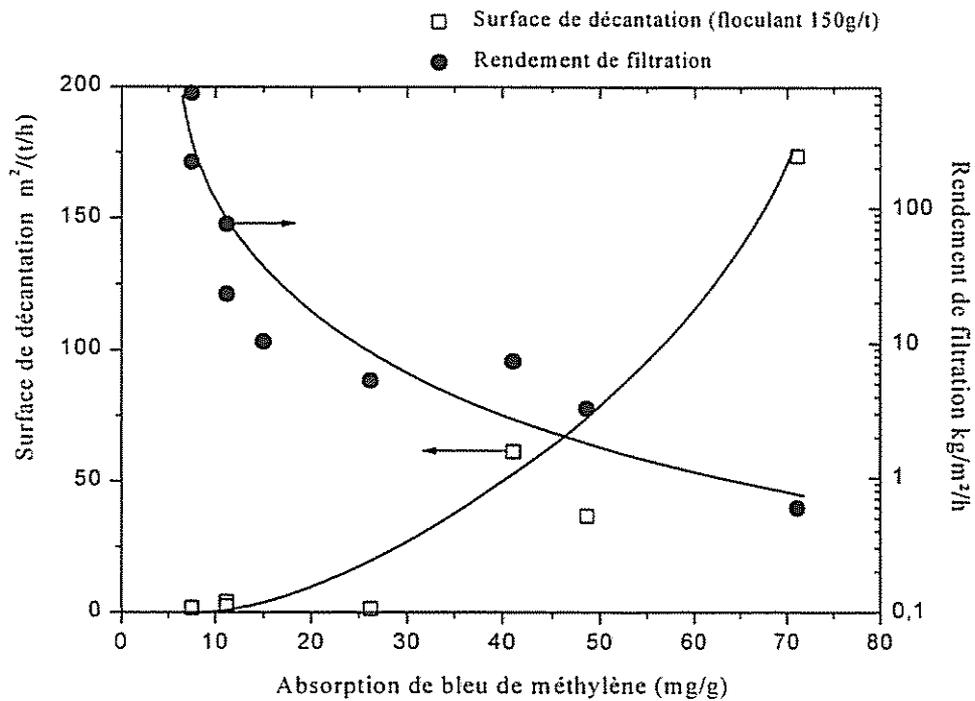


Fig. 2 – Etude des relations entre la capacité d'absorption du bleu de méthylène et les performances en séparation solide liquide

7. Estimation du coût de traitement des eaux de procédé

Les estimations de coût correspondent soit à des données issues de l'expérience de carrières, soit de calculs réalisés à partir de données fournies par les différents équipementiers.

7.1. DECANTATION NATURELLE DANS UN BASSIN

L'avantage de cette technique réside dans le montant très faible des investissements correspondant à la construction de digues et à l'achat des pompes de transfert. Il faut également tenir compte de l'immobilisation de surfaces importantes à proximité de la carrière mais qui peuvent être ensuite rendues à l'agriculture.

Le coût de traitement des eaux de procédé par décantation naturelle dans des bassins peut être considéré comme faible mais est très difficile à évaluer (de l'ordre de 1 F/t de boue (matière sèche), soit 0,10 F/t de granulat pour un gisement à 10% de fines).

7.2. UTILISATION D'UN CLARIFICATEUR

Deux coûts de traitement sont présentés. Le premier est calculé moyennant les hypothèses présentées ci-après, le second provient de l'une des carrières visitées. Par respect de la confidentialité, la source ne sera pas mentionnée.

Hypothèse de calcul

1. Carrière réalisant le lavage intégral du tout-venant
2. Débit tout venant de l'installation de 250 t/h
3. Pourcentage de fines dans le tout-venant de 7 %, soit 17,5 t/h
4. Débit d'eau de 250 m³/h, soit une concentration solide en fines de 70 g/l.
5. Achat d'un clarificateur de 9 m de diamètre représentant un investissement de l'ordre de 1 MF (montage et génie civil compris). Pour mémoire, le prix de vente d'un décanteur varie entre 300 kF (débit : 40 m³/h) et 1,5 MF (débit 1500 m³/h).
6. Amortissement de l'investissement sur 10 ans (calcul de l'amortissement hors frais bancaires éventuels)
7. Dosage en flocculant de 100 g/t de boue (matière sèche). Prix de vente du flocculant de l'ordre de 15 F/kg.
8. Puissance consommée par le décanteur de 30 kW (0,40 F/kWh)
9. 1200 heures de fonctionnement par an.
10. Entretien 1/8 poste. Coût du personnel d'entretien : 250 000 F /poste/an

Les prix de revient s'établissent comme suit :

	Calcul		Carrière visitée	
	F/t boue (MS)	F/t granulat ^a	F/t boue (MS)	F/t granulat ^a
Amortissement	4,76		5,25	
Energie	0,86		0,83	
Suivi, entretien	1,20		1,67	(8% fines)
Floculant	1,40		3,50	
Bassin de décant.	1,00		non évalué	
Total	9,22 F/t	0,69 F/t	11,25 F/t	0,97 F/t

^a prix à la tonne de granulat commercialisé

Tabl. 14 – Evaluation du coût d'un clarificateur

La valeur de 10 F/t de boue (matière sèche) paraît cohérente. Les deux principaux postes sont l'amortissement de l'installation et la consommation de floculant.

7.3. UTILISATION D'UN FILTRE-PRESSE

Le coût de l'utilisation d'un filtre-pressé a été calculé pour la carrière « modèle » présentée dans le paragraphe précédent. Le résultat de ces calculs sera comparé avec le coût global constaté pour la carrière A1 qui utilise un filtre-pressé.

Scénario 1 (scénario « favorable ») : rendement de filtration élevé de 60 kg/m²/h

1. Un filtre à 80 plateaux 1200x1200 (volume de gâteau par pressée de 3,1 m³)
2. Investissement (FP + silo de stockage + pompe) de 1000 kF
3. Frais de montage + génie civil + hangar de 500 kF
4. Epaisseur du gâteau de 38 mm
5. Fonctionnement du filtre sur 2 postes
6. Puissance consommée de 30 kW (0,40 F/kWh)
7. Entretien 1/4 poste. Coût du personnel d'entretien : 250 000 F /poste/an
8. Prix d'une toile de 500 F. Changement tous les ans

Scénario 2 (scénario « défavorable ») : rendement de filtration faible de 15 kg/m²/h

1. Deux filtres à 80 plateaux 1500x1500 (volume de gâteau par pressée et par filtre de 3,4 m³)
2. Investissement (FP + silo de stockage + pompe) de 2 x 1300 kF
3. Frais de montage + génie civil + hangar de 800 kF
4. Epaisseur du gâteau de 25 mm
5. Fonctionnement des filtres sur 2 postes
6. Puissance consommée de 2 x 30 kW (0,40 F/kWh)
7. Entretien 1/4 poste par filtre. Coût du personnel d'entretien : 250 000 F /poste/an
8. Prix d'une toile de 500 F. Changement tous les ans

	Scénario 1		Scénario 2	
	F/t boue (MS)	F/t granulat ^a	F/t boue (MS)	F/t granulat ^a
Amortissement	7,10		16,20	
Energie	1,50		3,00	
Suivi, entretien	2,97		5,95	
Toiles	3,81		7,62	
Total	15,38 F/t	1,16 F/t	32,77 F/t	2,47 F/t

^a prix à la tonne de granulat commercialisé

Tabl. 15 – Evaluation du coût d'un filtre-presse

Ces données sont cohérentes avec celles fournies par l'exploitant de la carrière A1. Selon ce dernier, le coût complet de la séparation solide-liquide (décantation + filtration) est de 35 F/t de boue, soit 1,85 F/t de granulats produits. En admettant que l'étape de décantation représente 10 F/t de boue, le coût de la filtration est de 25 F/t, soit un coût intermédiaire entre les deux scénarios envisagés.

Discussion – Conclusion

Le lavage

Le lavage des granulats est nécessaire pour produire des sables et graviers qui respectent les critères de propreté liés aux différentes utilisations (fabrication de bétons hydrauliques, mais aussi ballast de voie ferrée et granulats pour enduits superficiels et enrobés bitumineux.). Les évolutions en matière de politique d'exploitation des ressources minérales conduisent à une généralisation de cette technique. Le transfert des exploitations alluvionnaires du lit majeur vers les hautes terrasses, la substitution des matériaux alluvionnaires par des roches massives (développement de l'exploitation des calcaires de Beauce) ou la possible mise en exploitation de matériaux locaux, conduisent à exploiter des matériaux présentant des pourcentages de fines de plus en plus élevés. Le lavage découle également de la volonté d'optimiser l'exploitation de ces nouvelles ressources dans un double souci d'économiser la ressource et de préserver l'environnement. L'exemple des carrières de calcaire de Beauce illustre cette évolution. L'une des carrières visitées écartait 50 à 60% du matériau extrait dans une précédente installation de voie sèche ; le circuit de lavage a permis de rationaliser l'exploitation de la ressource en réduisant le refus à 20% du volume abattu.

Le recyclage

La décantation naturelle des eaux de lavage dans des bassins de décantation est la solution technique adoptée dans 90% des installations de traitement. Cette solution qui nécessite de faibles investissements immobilise de grandes surfaces. Une fraction de l'eau de procédé peut y être pompée pour alimenter l'installation de traitement. Les taux de recyclage sont très variables d'une installation à l'autre ; leur évaluation est souvent difficile du fait des transferts entre le bassin et le milieu extérieur (perte ou recharge en eau). La solution décantation naturelle en bassin peut représenter une alternative technique qui respecte « l'esprit » de la réglementation sous trois réserves :

- les parois et le fond du bassin doivent être suffisamment imperméables pour limiter les transferts. Des aménagements préalables (compactage d'un fond de forme, traitement à la bentonite,...) permettraient, à moindre coût (20 000 à 50 000 F/ha à affiner), de partiellement imperméabiliser les bassins ;
- la gestion des bassins doit s'intégrer dans stratégie générale de réaménagement (en particulier, en zone agricole)
- de réaliser des aménagements type digue filtrante qui favorisent le recyclage et limitent la surface de décantation.

Un circuit d'équipements industriels (décanteurs, filtres-presses) améliore incontestablement le taux de recyclage de l'eau et apporte une meilleure maîtrise du circuit de lavage :

- la solution « décantation en décanteur conventionnel avec transfert des boues dans un bassin de décantation » est adoptée par environ 10% des installations de traitement. Le taux de recyclage d'un décanteur (débit d'eau de surverse/débit d'eau d'entrée) peut atteindre 90% et plus. Rappelons simplement qu'un décanteur qui épaissit une boue de 50 g/l à 500 g/l recycle 92% de l'eau. Si un décanteur utilisé dans les règles de l'art permet de recycler l'eau, il ne permet pas de s'affranchir totalement du problème des boues qui doivent être transférées dans un bassin de décantation. Dans la mesure où les pertes en eau liées aux boues de sousverse seront alors faibles (5 à 10 %), une imperméabilisation des bassins est inutile. De plus la superficie des bassins est considérablement réduite et leur gestion peut s'intégrer dans une stratégie globale de réaménagement du site (notamment dans les zones à vocation agricole).
- le bilan du recyclage de l'eau pour une installation équipée d'un décanteur et d'un filtre-presse permet de bien évaluer l'apport spécifique du filtre-presse. La filtration sous pression contribue peu au recyclage de l'eau (environ 5%). En revanche, elle permet de produire des boues pelletables, d'un volume réduit, d'où l'abandon des bassins de décantation. L'investissement dans un filtre-presse ne peut se justifier que par l'impossibilité de créer des bassins de décantation (topographie accidentée, zone écologique sensible, contraintes liées à un environnement péri-urbain,...). Lorsqu'il existe des débouchés industriels (matière première pour terre cuite, matériau d'étanchéité,...), la filtration permet d'atteindre des siccités compatibles avec le cahier des charges de l'utilisateur. Force est de reconnaître que ce cas de figure très favorable où la vente du sous-produit couvre l'investissement est marginal, faute de débouchés suffisants à proximité immédiate des carrières.

Les évaluations économiques montrent que le coût de la décantation est en moyenne de 10 F/t boue (matière sèche). Le coût ramené à la tonne de granulat dépend naturellement du pourcentage de fines dans le tout-venant. Pour des gisements comportant 5 à 10% de fines, il sera compris entre 0,50 et 1,00 F/t.

L'utilisation d'un filtre-presse amène un surcoût évalué entre 15 et 35 F/t boue ; pour des teneurs en fines de 5 à 10 %, le surcoût à la tonne de granulat est compris entre 1,00 et 2,50 F/t. Cette analyse économique sommaire montre que l'effort d'investissement dans un filtre-presse ne se justifie pas par le gain en terme de recyclage des eaux ; il s'avère nécessaire pour les carrières où l'installation de bassins de décantation pose des problèmes.

Les flocculants

L'utilisation des coagulants/flocculants appelle les remarques suivantes :

- Les progrès réalisés en coagulation/floculation (apport des coagulants et des flocculants organiques de synthèse, optimisation des systèmes de préparation, automatisation et régulation du dosage) ont largement contribué à l'optimisation des performances des décanteurs. Dans l'état actuel de la technique, le recyclage de l'eau dans un circuit d'équipements industriels impose l'usage des flocculants.

- Les principaux flocculants utilisés dans l'industrie des carrières sont des flocculants synthétiques de la famille des polyacrylamides anioniques (copolymères acrylamide/acrylate). Cette famille de produits, également utilisés dans la purification des eaux potables, ne présente aucune toxicité systémique envers les organismes aquatiques ou les micro-organismes. Seuls les monomères d'acrylamide ou d'acrylate présentent un caractère cancérigène avéré. Les fabricants garantissent des concentrations résiduelles en monomères très faibles dans les poudres (< 5000 ppm), d'où des concentrations en solution largement inférieures à celles présentant à risque pour l'environnement.
- *Un flocculant correctement dosé* et mis en œuvre est intégralement adsorbé sur les fines et *se retrouve de ce fait éliminé de l'eau*. Outre la réduction des coûts de consommable, une conduite rigoureuse, et par conséquent maîtrisée, de la floculation constitue donc une garantie supplémentaire 1) en terme de protection de l'environnement, 2) en terme de qualité des sables produits. En effet, en cas de surdosage, les flocculants résiduels qui recirculent dans le circuit d'eau de lavage peuvent s'adsorber sur les sables et ainsi poser des problèmes pour les applications mortiers/bétons (modification de la maniabilité).

En conclusion, l'arrêté du 22 septembre 1994 prévoit que les rejets d'eau de procédé de traitement des matériaux de procédé à l'extérieur du site autorisé sont interdits. C'est effectivement le cas dans toutes les carrières que nous avons visitées. Cet arrêté précise que les eaux de procédé doivent être intégralement recyclées. S'agissant d'un texte qui fixe l'esprit de la réglementation, il est raisonnable de considérer la notion d'intégralité comme une orientation et non comme un objectif absolu. Cette étude met en lumière des situations très disparates en terme de recyclage de l'eau. Quelle que soit la solution adoptée pour le recyclage, il est important que chaque exploitant puisse en préalable 1) établir un schéma du circuit de lavage des granulats et de recyclage des eaux de procédé, 2) produire un bilan des cubages. Compte tenu des techniques disponibles, un taux de recyclage de 85-90 % (hors pertes liées à l'humidité résiduelle des granulats) est techniquement envisageable. Pour les carrières non équipées, l'investissement d'une installation performante de décantation représenterait en moyenne un surcoût voisin de 0,50 à 1,00 F/t granulat. Pour lever toute ambiguïté sur la lecture des textes réglementaires, une transcription de type instruction ou guide technique prenant en compte les équipements disponibles actuels et les contraintes économiques des exploitants paraît nécessaire.

Bibliographie

- Brun J.J., Misrellany A., Terme G., Vecoven J. (1988) - Les boues de lavage de carrière. Un sous-produit de l'industrie des granulats. Bull. liaison Labo. P. et Ch., 156, juil-août, pp 5-12.
- Chouanard Y. (1998) – Installation MS de traitement d'eau et de pressage de boue en carrière, ballastière, travaux publics et industries minérales. Journée d'études de la SRBII du 19 mars 1998, Bruxelles, 29 p.
- Degrémont (1989) – Mémento technique de l'eau. Tome 1, Chap 3.1 : processus élémentaires du génie physico-chimique du traitement de l'eau, Ed. Lavoisier, p. 131-279.
- Entat M. (1993) – Décantation. Techniques de l'Ingénieur, vol. J 2 II, A5450, 27 p.
- Gaboriau H., Baudet G., Seron A., Baticle P., Binet M. (1999) – Potentiel d'application de la séparation solide-liquide pour la valorisation des co-produits finement divisés de l'industrie minérale. Exemple des boues de lavage de granulats. *Les Techniques de l'Industrie Minérale*, n°2, p. 39-52.
- Godet J.P. (1998) – Traitement des effluents : optimiser la floculation. Notice SNF FLOERGER. 4p.
- Küpfer P. (1997) – Dewatering sludges from gravel works with membrane filter presses. *Aufbereitungs Technik*, 38, n°5, p. 237-244.
- Linden H., Walther N., Kieser J., Witzsche R. (1997) – High performance closed wash water circuits in gravel and sand works. *Aufbereitungs Technik*, 38, n°11, p. 575-584.
- Lucion C. (1999) – Traitement des eaux chargées en carrière : quelques techniques disponibles. *Les Techniques de l'Industrie Minérale*, n°2, p. 9-37.
- Luckhardt R. (1997) – Practice-oriented flocculant application for wash water clarification and water recovery in the gravel and sand industry. *Aufbereitungs Technik*, 38, n°4, p. 194-204.
- Nadeau Isabelle (1999) – Comment choisir un coagulant ou un flocculant ? *Environnement Magazine*, n°1573, p. 41-43.
- Raturat B. (1996) – L'expérience SOTRES dans le traitement et le recyclage des eaux de carrières et sablières. Congrès de l'industrie minérale de Montpellier, octobre 1998.
- Schubert H. (1998) – On the design of thickeners. *Aufbereitungs Technik*, 39, n°12, p. 593-606.
- SNF FLOERGER – Polyacrylamide anionique, données environnementales. 6 p.

Annexe 1

Textes réglementaires

dudit mandat, la durée du mandat de son remplaçant ne couvre que la période restant à courir entre la date de cessation de fonctions du représentant remplacé et la date d'échéance du mandat de ce dernier.

Art. 3. — Le président du comité technique pour le secteur de la banane est nommé par arrêté du ministre chargé de l'agriculture et du ministre chargé des départements d'outre-mer, après consultation des membres du comité technique.

Il siège de droit au conseil de direction de l'office avec voix consultative s'il n'est pas lui-même membre du conseil de direction. Le président du comité technique peut soumettre à l'approbation des ministres la désignation d'un vice-président à l'effet de le suppléer, en cas d'empêchement à la présidence du comité technique.

Art. 4. — Le directeur, le contrôleur d'Etat et l'agent comptable de l'office assistent de droit aux séances des comités techniques.

Les représentants des pouvoirs publics, mentionnés à l'article 9 du décret susvisé, assistent avec voix consultative aux travaux du comité technique.

Le président du comité technique peut convoquer, pour une séance déterminée ou pour un point particulier de l'ordre du jour, tout expert dont il juge la présence nécessaire ; sur autorisation du président, un membre peut se faire assister d'un expert pour une séance déterminée ou pour un point particulier de l'ordre du jour.

Art. 5. — Le comité technique pour le secteur de la banane se réunit sur convocation de son président. La convocation du comité est de droit si elle est demandée par la moitié de ses membres ou par le ministre chargé de l'agriculture ou le ministre chargé des départements d'outre-mer, dans les limites du budget de l'établissement.

Art. 6. — Les convocations aux réunions comportent l'indication détaillée de l'ordre du jour. A titre exceptionnel et en raison de l'urgence, le président peut modifier l'ordre du jour de sa propre initiative ou à la demande du directeur de l'office.

Art. 7. — Le comité technique pour le secteur de la banane étudie toutes questions relatives au secteur de la banane, et notamment celles qui lui sont confiées par le conseil de direction de l'office.

Cependant, le ministre chargé de l'agriculture et le ministre chargé des départements d'outre-mer peuvent, en tant que de besoin, saisir directement le comité technique d'affaires particulières.

Chaque membre du comité dispose d'une voix.

Tout membre du comité empêché d'assister à une réunion peut déléguer par écrit ses pouvoirs à un autre membre du comité. Aucun membre ne peut, toutefois, détenir plus d'un mandat, indépendamment de ses pouvoirs propres.

Le comité technique ne peut valablement délibérer que si le nombre de ses membres présents ou représentés est supérieur à la moitié des membres en exercice.

Si ce quorum n'est pas atteint, le comité technique est à nouveau convoqué dans un délai de quinze jours ; il peut alors valablement délibérer sur le même ordre du jour quel que soit le nombre des membres présents ou représentés.

Les délibérations sont acquises à la majorité simple des membres présents ou représentés. En cas de partage égal des voix, celle du président est prépondérante.

Les votes s'effectuent au scrutin public ; toutefois, ils peuvent être effectués à bulletin secret à la demande d'un ou de plusieurs membres du comité technique et sur décision du président.

Art. 8. — Le directeur de l'office informe le conseil de direction, au cours de la plus proche séance, des avis exprimés par le comité technique. A la fin de chaque exercice, le directeur de l'office présente au conseil de direction un rapport d'activité du comité technique.

Art. 9. — Le directeur de la production et des échanges du ministère de l'agriculture et de la pêche et le directeur des affaires économiques, sociales et culturelles de l'outre-mer du ministère des départements et territoires d'outre-mer sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 10 octobre 1994.

Le ministre de l'agriculture et de la pêche,
JEAN PUECH

Le ministre de l'économie,
EDMOND ALPHANDÉRY

Le ministre du budget,
porte-parole du Gouvernement,
NICOLAS SARKOZY

Le ministre des départements
et territoires d'outre-mer,
DOMINIQUE PERBEN

Arrêté du 10 octobre 1994 portant homologation d'un label

NOR : AGRG9401957A

Par arrêté du ministre de l'économie et du ministre de l'agriculture et de la pêche en date du 10 octobre 1994, est homologué, pour une période probatoire d'un an, le règlement technique du label n° 10-94 « poularde fermière » détenu par le Syndim, 46, rue du Hurepoix, 91470 Limours.

Ce règlement technique peut être consulté au siège de l'organisme certificateur ou au ministère de l'agriculture et de la pêche.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT

Arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières

NOR : ENVP9430348A

Le ministre de l'environnement,

Vu la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 modifiée relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, et notamment son article 7 ;

Vu la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau ;

Vu le décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 modifié pris pour l'application de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées ;

Vu l'avis du Conseil supérieur des installations classées ;

Vu les avis des organisations professionnelles concernées.

Arrête :

Art. 1^{er}. — Le présent arrêté fixe les prescriptions applicables aux exploitations de carrières (rubrique 2510 de la Nomenclature des installations classées) — à l'exception des opérations de dragage des cours d'eau et des plans d'eau et des affouillements du sol — et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières (broyage, concassage, criblage, nettoyage, etc., opérations correspondant à la rubrique 2515 de la Nomenclature des installations classées) qui sont implantées dans une carrière ou en dehors et qui relèvent du régime de l'autorisation.

L'arrêté d'autorisation peut fixer, en tant que de besoin, des dispositions plus contraignantes que celles prescrites ci-après.

Sauf mention expresse, sont soumises aux dispositions qui suivent, en ce qui concerne les carrières, les exploitations à ciel ouvert et les exploitations souterraines.

CHAPITRE I^{er}

Dispositions générales

Art. 2. — Les carrières et les installations de premier traitement des matériaux sont exploitées et remises en état de manière à limiter leur impact sur l'environnement, notamment par la mise en œuvre de techniques propres.

Art. 3. — L'arrêté d'autorisation mentionne :

- les nom, prénoms, nationalité et adresse du bénéficiaire et, s'il s'agit d'une société, les renseignements en tenant lieu ;
- la ou les rubriques des nomenclatures (installations classées et eau) pour lesquelles l'autorisation est accordée ;
- les tonnages maximaux annuels à extraire et/ou à traiter ;
- les mesures pour prévenir les pollutions et nuisances inhérentes à l'exploitation des installations ;
- dans le cas des carrières :
 - la superficie, les limites territoriales, la référence cadastrale des terrains et la durée de l'autorisation d'exploiter ;

- la ou les substances pour lesquelles l'autorisation est accordée ;
- les modalités d'extraction et de remise en état du site (les plans de phasage des travaux et de remise en état du site sont annexés à l'arrêté d'autorisation).

CHAPITRE II

Dispositions particulières aux carrières

Section 1

Aménagements préliminaires

Art. 4. - L'exploitant est tenu, avant le début de l'exploitation, de mettre en place sur chacune des voies d'accès au chantier des panneaux indiquant en caractères apparents son identité, la référence de l'autorisation, l'objet des travaux et l'adresse de la mairie où le plan de remise en état du site peut être consulté.

Art. 5. - Préalablement à la mise en exploitation des carrières à ciel ouvert, l'exploitant est tenu de placer :

1° Des bornes en tous les points nécessaires pour déterminer le périmètre de l'autorisation ;

2° Le cas échéant, des bornes de nivellement.

Ces bornes doivent demeurer en place jusqu'à l'achèvement des travaux d'exploitation et de remise en état du site.

Art. 6. - Lorsqu'il existe un risque pour les intérêts visés à l'article 2 de la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau, un réseau de dérivation empêchant les eaux de ruissellement d'atteindre la zone en exploitation est mis en place à la périphérie de cette zone.

Art. 7. - L'accès à la voirie publique est aménagé de telle sorte qu'il ne crée pas de risque pour la sécurité publique.

Art. 8. - La déclaration de début d'exploitation telle qu'elle est prévue à l'article 23-1 du décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 susvisé est subordonnée à la réalisation des prescriptions mentionnées aux articles 4 à 7.

Section 2

Conduite des exploitations à ciel ouvert

Art. 9. - Sans préjudice de la législation en vigueur, le déboisement et le défrichage éventuels des terrains sont réalisés progressivement, par phases correspondant aux besoins de l'exploitation.

Art. 10. - 10.1. Technique de décapage :

Le décapage des terrains est limité au besoin des travaux d'exploitation.

Le décapage est réalisé de manière sélective, de façon à ne pas mêler les terres végétales constituant l'horizon humifère aux stériles. L'horizon humifère et les stériles sont stockés séparément et réutilisés pour la remise en état des lieux.

10.2. Patrimoine archéologique :

L'arrêté d'autorisation fixe, le cas échéant, la nature et la forme des informations à fournir au service chargé du patrimoine archéologique préalablement aux opérations de décapage ainsi que les délais d'information.

Art. 11. - 11.1. Épaisseur d'extraction :

L'arrêté d'autorisation fixe l'épaisseur d'extraction maximal et les cotes minimales NGF d'extraction.

11.2. Extraction en nappe alluviale :

I. - Les extractions de matériaux dans le lit mineur des cours d'eau et dans les plans d'eau traversés par des cours d'eau sont interdites.

Le lit mineur est le terrain recouvert par les eaux coulant à pleins bords avant tout débordement.

Si des extractions sont nécessaires à l'entretien dûment justifié ou à l'aménagement d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau, elles sont alors considérées comme un dragage.

II. - Les extractions en nappe alluviale dans le lit majeur ne doivent pas faire obstacle à l'écoulement des eaux superficielles.

L'arrêté d'autorisation fixe la distance minimale séparant les limites de l'extraction des limites du lit mineur des cours d'eau ou des plans d'eau traversés par un cours d'eau. Cette distance ne peut être inférieure à 35 mètres vis-à-vis des cours d'eau ayant un lit mineur d'au moins 7,50 mètres de largeur.

11.3. Exploitation dans la nappe phréatique :

Dans le cas où l'exploitation de la carrière est conduite dans la nappe phréatique, des mesures tendant au maintien de l'hydraulique et des caractéristiques écologiques du milieu sont prescrites. Le pompage de la nappe phréatique pour le décapage, l'exploitation et la remise en état des gisements de matériaux alluvionnaires est interdit, sauf autorisation expresse accordée par l'arrêté d'autorisation après que l'étude d'impact en a montré la nécessité.

11.4. Abattage à l'explosif :

Dans le cas où l'abattage du gisement est réalisé avec des substances explosives, l'exploitant définit un plan de tir.

L'exploitant prend en compte les effets des vibrations émises dans l'environnement et assure la sécurité du public lors des tirs.

Les tirs de mines ont lieu les jours ouvrables.

Art. 12. - 12.1. Élimination des produits polluants en fin d'exploitation :

En fin d'exploitation, tous les produits polluants ainsi que tous les déchets sont valorisés ou éliminés vers des installations dûment autorisées.

12.2. Remise en état :

L'exploitant est tenu de remettre en état le site affecté par son activité, compte tenu des caractéristiques essentielles du milieu environnant. La remise en état du site doit être achevée au plus tard à l'échéance de l'autorisation, sauf dans le cas de renouvellement de l'autorisation d'exploiter.

Elle comporte au minimum les dispositions suivantes :

- la mise en sécurité des fronts de taille ;

- le nettoyage de l'ensemble des terrains et, d'une manière générale, la suppression de toutes les structures n'ayant pas d'utilité après la remise en état du site ;

- l'insertion satisfaisante de l'espace affecté par l'exploitation dans le paysage, compte tenu de la vocation ultérieure du site.

12.3. Remblayage de carrière :

Le remblayage des carrières ne doit pas nuire à la qualité et au bon écoulement des eaux. Lorsqu'il est réalisé avec apport de matériaux extérieurs (déblais de terrassements, matériaux de démolition...), ceux-ci doivent être préalablement triés de manière à garantir l'utilisation des seuls matériaux inertes.

Les apports extérieurs sont accompagnés d'un bordereau de suivi qui indique leur provenance, leur destination, leurs quantités, leurs caractéristiques et les moyens de transport utilisés et qui atteste la conformité des matériaux à leur destination.

L'exploitant tient à jour un registre sur lequel sont répertoriés la provenance, les quantités, les caractéristiques des matériaux et les moyens de transport utilisés ainsi qu'un plan topographique permettant de localiser les zones de remblais correspondant aux données figurant sur le registre.

L'arrêté d'autorisation fixe la nature, les modalités de tri et les conditions d'utilisation des matériaux extérieurs admis sur le site. Il prévoit, le cas échéant, la mise en place d'un réseau de surveillance de la qualité des eaux souterraines et la fréquence des mesures à réaliser.

Section 3

Sécurité du public

Art. 13. - Durant les heures d'activité, l'accès à la carrière est contrôlé. En dehors des heures ouvrées, cet accès est interdit.

L'accès de toute zone dangereuse des travaux d'exploitation à ciel ouvert est interdit par une clôture efficace ou tout autre dispositif équivalent. Le danger est signalé par des pancartes placées, d'une part, sur le ou les chemins d'accès aux abords des travaux, d'autre part, à proximité des zones clôturées.

Les dispositions ci-dessus sont applicables aux orifices des puits et aux ouvertures de galeries qui donnent accès aux travaux souterrains.

Art. 14. - 14.1. Exploitations à ciel ouvert :

Les bords des excavations des carrières à ciel ouvert sont tenus à distance horizontale d'au moins 10 mètres des limites du périmètre sur lequel porte l'autorisation ainsi que de l'emprise des éléments de la surface dont l'intégrité conditionne le respect de la sécurité et de la salubrité publiques.

De plus, l'exploitation du gisement à son niveau le plus bas est arrêtée à compter du bord supérieur de la fouille à une distance horizontale telle que la stabilité des terrains voisins ne soit pas compromise. Cette distance prend en compte la hauteur totale des excavations, la nature et l'épaisseur des différentes couches présentes sur toute cette hauteur.

14.2. Exploitations souterraines :

L'exploitant d'une carrière souterraine, lorsque la profondeur de l'exploitation comptée à partir de la surface est inférieure à 100 mètres, informe le préfet un mois avant que les travaux n'arrivent à une distance horizontale de 50 mètres des éléments de la surface à protéger mentionnés à l'article 14-1 ci-dessus.

Le préfet fixe, s'il y a lieu, les massifs de protection à laisser en place ainsi que les conditions dans lesquelles ceux-ci peuvent, le cas échéant, être traversés ou enlevés ; il notifie sa décision à l'exploitant dans le délai d'un mois à compter de la date de la réception de l'information.

14.3. Modification des distances limites et des zones de protection :

Le préfet peut, sur proposition de l'inspection des installations classées et après avoir éventuellement consulté les autres administrations intéressées, atténuer ou renforcer les obligations résultant des articles 14-1 et 14-2 ci-dessus.

Section 4

Registres et plans

Art. 15. - Pour chaque carrière à ciel ouvert est établi un plan d'échelle adapté à sa superficie.

Sur ce plan sont reportés :

- les limites du périmètre sur lequel porte le droit d'exploiter ainsi que de ses abords, dans un rayon de 50 mètres ;
- les bords de la fouille ;
- les courbes de niveau ou cotes d'altitude des points significatifs ;
- les zones remises en état ;
- la position des ouvrages visés à l'article 14-1 ci-dessus et, s'il y a lieu, leur périmètre de protection institué en vertu de réglementations spéciales.

Ce plan est mis à jour au moins une fois par an.

Art. 16. - 16.1. Plans et registres :

Un plan de l'ensemble des travaux, à l'échelle du 1/2 000, du 1/2 500 ou du 1/5 000, est établi pour chaque carrière souterraine. Ce plan indique les cotes des points principaux ainsi que les parties abandonnées des travaux.

Ce plan d'ensemble est mis à jour au moins une fois tous les six mois.

Un plan de surface et un registre d'avancement des travaux sont également établis et tenus à jour par l'exploitant.

16.2. Communication des plans :

Les exploitants tiennent à la disposition des propriétaires les plans des travaux souterrains effectués sous leur propriété ou sous les abords de celle-ci, ainsi que le plan de la surface permettant de connaître la situation desdits travaux.

CHAPITRE III

Prévention des pollutions

Art. 17. - L'exploitant prend toutes les dispositions nécessaires dans la conduite de l'exploitation pour limiter les risques de pollution des eaux, de l'air ou des sols et de nuisance par le bruit et les vibrations et l'impact visuel.

L'ensemble du site et ses abords placés sous le contrôle de l'exploitant sont maintenus en bon état de propreté. Les bâtiments et installations sont entretenus en permanence.

Les voies de circulation internes et aires de stationnement des véhicules sont aménagées et entretenues.

Les véhicules sortant de l'installation ne doivent pas être à l'origine d'envois de poussières ni entraîner de dépôt de poussière ou de boue sur les voies de circulation publiques.

Art. 18. - 18.1. Prévention des pollutions accidentelles :

I. - Le ravitaillement et l'entretien des engins de chantier sont réalisés sur une aire étanche entourée par un caniveau et reliée à un point bas étanche permettant la récupération totale des eaux ou des liquides résiduels.

II. - Tout stockage d'un liquide susceptible de créer une pollution des eaux ou des sols est associé à une capacité de rétention dont le volume est au moins égal à la plus grande des deux valeurs suivantes :

- 100 p. 100 de la capacité du plus grand réservoir ;
- 50 p. 100 de la capacité des réservoirs associés.

Cette disposition ne s'applique pas aux bassins de traitement des eaux résiduaires.

Lorsque le stockage est constitué exclusivement en récipients de capacité inférieure ou égale à 250 litres, la capacité de rétention peut être réduite à 20 p. 100 de la capacité totale des fûts associés sans être inférieure à 1 000 litres ou à la capacité totale lorsqu'elle est inférieure à 1 000 litres.

III. - Les produits récupérés en cas d'accident ne peuvent être rejetés et doivent être soit réutilisés, soit éliminés comme les déchets.

18.2. Rejets d'eau dans le milieu naturel :

18.2.1. Eaux de procédés des installations :

Les rejets d'eau de procédé des installations de traitement des matériaux à l'extérieur du site autorisé sont interdits. Ces eaux sont intégralement recyclées. Le circuit de recyclage est conçu de telle manière qu'il ne puisse donner lieu à des pollutions accidentelles.

Un dispositif d'arrêt d'alimentation en eau de procédé de l'installation, en cas de rejet accidentel de ces eaux, est prévu.

18.2.2. Eaux rejetées (eaux d'exhaure, eaux pluviales et eaux de nettoyage) :

I. - Les eaux canalisées rejetées dans le milieu naturel respectent les prescriptions suivantes :

- le pH est compris entre 5,5 et 8,5 ;
- la température est inférieure à 30 °C ;
- les matières en suspension totales (MEST) ont une concentration inférieure à 35 mg/l (norme NFT 90 105) ;
- la demande chimique en oxygène sur effluent non décanté (D.C.O.) a une concentration inférieure à 125 mg/l (norme NFT 90 101) ;
- les hydrocarbures ont une concentration inférieure à 10 mg/l (norme NFT 90 114).

Ces valeurs limites sont respectées pour tout échantillon prélevé proportionnellement au débit sur vingt-quatre heures ; en ce qui concerne les matières en suspension, la demande chimique en oxygène et les hydrocarbures, aucun prélèvement instantané ne doit dépasser le double de ces valeurs limites.

Ces valeurs doivent être compatibles avec les objectifs de qualité du milieu récepteur, les orientations du schéma d'aménagement et de gestion des eaux et la vocation piscicole du milieu. Elles sont, le cas échéant, rendues plus contraignantes.

L'arrêté d'autorisation peut, selon la nature des terrains exploités, imposer des valeurs limites sur d'autres paramètres.

La modification de couleur du milieu récepteur, mesurée en un point représentatif de la zone de mélange, ne doit pas dépasser 100 mg Pt/l.

II. - Le ou les émissaires sont équipés d'un canal de mesure du débit et d'un dispositif de prélèvement.

III. - L'arrêté d'autorisation précise le milieu dans lequel le rejet est autorisé ainsi que les conditions de rejet. Lorsque le rejet s'effectue dans un cours d'eau, il précise le nom du cours d'eau, ainsi que le point kilométrique du rejet.

Il fixe la fréquence des mesures du débit et des paramètres à analyser.

Art. 19. - I. - L'exploitant prend toutes dispositions utiles pour éviter l'émission et la propagation des poussières.

II. - Les dispositifs de limitation d'émission des poussières résultant du fonctionnement des installations de traitement des matériaux sont aussi complets et efficaces que possible.

Les émissions captées sont canalisées et dépoussiérées. La concentration du rejet pour les poussières doit être inférieure à 30 mg/Nm³ (les mètres cubes sont rapportés à des conditions normalisées de température, 273 Kelvin, et de pression, 101,3 kilopascals, après déduction de la vapeur d'eau, gaz sec).

Les périodes de pannes ou d'arrêts des dispositifs d'épuration pendant lesquelles les teneurs en poussières des gaz rejetés dépassent le double des valeurs fixées ci-dessus doivent être d'une durée continue inférieure à quarante-huit heures et leur durée cumulée sur une année est inférieure à deux cents heures.

En aucun cas, la teneur en poussières des gaz émis ne peut dépasser la valeur de 500 mg/Nm³. En cas de dépassement de cette valeur, l'exploitant est tenu de procéder sans délai à l'arrêt de l'installation en cause.

Les valeurs limites s'imposent à des prélèvements d'une durée voisine d'une demi-heure.

L'arrêté d'autorisation fixe une valeur limite pour le débit gazeux et le flux des poussières.

Il fixe la périodicité des contrôles qui est au moins annuelle pour déterminer les concentrations, les débits et les flux de poussières des émissions gazeuses. Ces contrôles sont effectués selon des méthodes normalisées et par un organisme agréé.

III. - Pour les carrières de roches massives dont la production annuelle est supérieure à 150 000 tonnes, un réseau approprié de mesure des retombées de poussières dans l'environnement est mis en place.

Le nombre et les conditions d'installation et d'exploitation des appareils de mesure sont fixés par l'arrêté d'autorisation.

Art. 20. - L'installation est pourvue d'équipements de lutte contre l'incendie adaptés et conformes aux normes en vigueur. Ces matériels sont maintenus en bon état et vérifiés au moins une fois par an.

Art. 21. - Toutes dispositions sont prises pour limiter les quantités de déchets produits, notamment en effectuant toutes les opérations de valorisation possibles. Les diverses catégories de déchets sont collectées séparément puis valorisées ou éliminées vers des installations dûment autorisées.

Art. 22. - L'exploitation est menée de manière à ne pas être à l'origine de bruits aériens ou de vibrations mécaniques susceptibles

de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage ou de constituer une gêne pour sa tranquillité.

22.1. Bruits :

En dehors des tirs de mines, les bruits émis par les carrières et les installations de premier traitement des matériaux ne doivent pas être à l'origine, à l'intérieur des locaux riverains habités ou occupés par des tiers, que les fenêtres soient ouvertes ou fermées et, le cas échéant, en tous points des parties extérieures (cour, jardin, terrasse...) de ces mêmes locaux, pour les niveaux supérieurs à 35 dB (A), d'une émergence supérieure à :

- 5 dB (A) pour la période allant de 6 h 30 à 21 h 30, sauf dimanches et jours fériés ;
- 3 dB (A) pour la période allant de 21 h 30 à 6 h 30, ainsi que les dimanches et jours fériés.

L'émergence est définie comme étant la différence entre les niveaux de bruit mesurés lorsque l'ensemble de l'installation est en fonctionnement et lorsqu'il est à l'arrêt. Elle est mesurée conformément à la méthodologie définie dans la deuxième partie de l'instruction technique annexée à l'arrêté du 20 août 1985 (J.O. du 10 novembre 1985) relatif aux bruits aériens émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement.

L'arrêté d'autorisation fixe des niveaux limites de bruit à ne pas dépasser en limite de la zone d'exploitation autorisée pour les différentes périodes de la journée (diurne et nocturne). Ces niveaux limites, qui ne peuvent excéder 70 dB (A), sont déterminés de manière à assurer les valeurs maximales d'émergence à une distance de 200 mètres du périmètre de l'exploitation.

En outre, le respect des valeurs maximales d'émergence est assuré dans les immeubles les plus proches occupés ou habités par des tiers et existant à la date de l'arrêté d'autorisation et dans les immeubles construits après cette date et implantés dans les zones destinées à l'habitation par des documents d'urbanisme opposables aux tiers publiés à la date de l'arrêté d'autorisation.

Les différents niveaux de bruit sont appréciés par le niveau de pression continu équivalent pondéré L_{Aeq} .

L'évaluation du niveau de pression continu équivalent incluant le bruit particulier de l'ensemble de l'installation est effectuée sur une durée représentative du fonctionnement le plus bruyant de celle-ci.

Les véhicules de transport, les matériels de manutention et les engins de chantier utilisés à l'intérieur des carrières, et susceptibles de constituer une gêne pour le voisinage, doivent être conformes à la réglementation en vigueur. En particulier, les engins utilisés dans la carrière et mis pour la première fois en circulation moins de cinq ans avant la date de publication du présent arrêté doivent, dans un délai de trois ans après cette date, répondre aux règles d'insonorisation fixées par le décret n° 69-380 du 18 avril 1969.

L'usage de tous appareils de communication par voie acoustique (sirènes, avertisseurs, haut-parleurs, etc.) gênants pour le voisinage est interdit, sauf si leur emploi est réservé à la prévention ou au signalement d'incidents graves ou d'accidents ou à la sécurité des personnes.

Un contrôle des niveaux sonores est effectué dès l'ouverture de la carrière pour toutes les nouvelles exploitations et ensuite périodiquement, notamment lorsque les fronts de taille se rapprochent des zones habitées.

22.2. Vibrations :

I. - Les tirs de mines ne doivent pas être à l'origine de vibrations susceptibles d'engendrer dans les constructions avoisinantes des vitesses particulières pondérées supérieures à 10 mm/s mesurées suivant les trois axes de la construction.

La fonction de pondération du signal mesuré est une courbe continue définie par les points caractéristiques suivants :

BANDE DE FRÉQUENCE en Hz	PONDÉRATION du signal
1	5
5	1
30	1
80	3/8

On entend par constructions avoisinantes les immeubles occupés ou habités par des tiers ou affectés à toute autre activité humaine et les monuments.

Pour les autres constructions, des valeurs limites plus élevées peuvent être fixées par l'arrêté d'autorisation, après étude des effets des vibrations mécaniques sur ces constructions.

Le respect de la valeur ci-dessus est vérifié dès les premiers tirs réalisés sur la carrière, puis par campagnes périodiques dont la fréquence est fixée par l'arrêté d'autorisation.

En outre, le respect de la valeur limite est assuré dans les constructions existantes à la date de l'arrêté d'autorisation et dans les immeubles construits après cette date et implantés dans les zones autorisées à la construction par des documents d'urbanisme opposables aux tiers publiés à la date de l'arrêté d'autorisation.

II. - En dehors des tirs de mines, les prescriptions de la circulaire du 23 juillet 1986 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement sont applicables.

Art. 23. - L'arrêté d'autorisation peut fixer les modes de transport des matériaux (voie routière, voie ferrée, voie fluviale) au départ de l'exploitation, pour totalité ou pour partie de la production.

CHAPITRE IV

Modalités d'application

Art. 24. - 24.1. Date d'application :

Les dispositions du présent arrêté s'appliquent aux carrières et aux installations de premier traitement des matériaux dont l'autorisation (initiale ou d'extension) interviendra à partir du 1^{er} janvier 1995 ainsi qu'aux renouvellement d'autorisations de carrières qui interviendront à partir du 1^{er} janvier 1996.

Les dispositions de l'article 11.2.1 sont d'effet immédiat pour toute autorisation ou renouvellement d'autorisation.

24.2. Carrières autorisées :

I. - Les dispositions des articles 4 à 7, 9, 10, 11.1, 11.4 et 12 à 22 du présent arrêté sont applicables à compter du 1^{er} janvier 1997 aux carrières et aux installations de premier traitement des matériaux dont l'arrêté d'autorisation aura été publié entre le 1^{er} janvier 1993 et le 1^{er} janvier 1995 (et le 1^{er} janvier 1996 pour les renouvellements).

II. - Les dispositions des articles 4 à 7, 9, 10, 11.1, 11.4 et 12 à 22 du présent arrêté sont applicables à compter du 1^{er} janvier 1999 aux carrières et aux installations de premier traitement des matériaux dont l'arrêté d'autorisation a été publié avant le 1^{er} janvier 1993.

Art. 25. - Des dérogations aux dispositions du présent arrêté peuvent être accordées après avis du Conseil supérieur des installations classées.

Art. 26. - A l'article 1^{er} de l'arrêté ministériel du 1^{er} mars 1993 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux rejets de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation, les mots : « des carrières » sont remplacés par les mots : « des carrières et des installations de premier traitement des matériaux de carrières ».

Art. 27. - Le directeur de la prévention des pollutions et des risques est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 22 septembre 1994.

Pour le ministre et par délégation :
Le directeur de la prévention
des pollutions et des risques,
délégué aux risques majeurs,
G. DEFRANCE

Circulaire n° 96-52 du 2 juillet 1996 relative à l'application de l'arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières

NOR : ENVP9650231C

Références des documents sources :

Loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement ;

Décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 ;

Arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières.

Document modifié ou abrogé : néant.

Pièces jointes : deux annexes.

Destinataires :

Pour exécution : préfet, DIRE.

Pour information : DIRE.

Le ministre de l'environnement à Mmes et MM. les préfets : M. le préfet de police.

La présente circulaire et ses annexes ont pour objet de vous préciser les conditions d'application de l'arrêté du 22 septembre 1994 pris en application de l'article 7 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement.

Cet arrêté fixe les prescriptions techniques pour les exploitations de carrières visées à la rubrique n° 2510 de la nomenclature des installations classées (à l'exception des opérations de dragage et des affouillements du sol) et pour les installations de premier traitement des matériaux de carrières relevant du régime de l'autorisation visées à la rubrique n° 2515 de la nomenclature précitée, et cela, quel que soit le lieu d'implantation de ces dernières (sur un site de carrière ou non).

Ces prescriptions techniques s'imposent de plein droit, c'est-à-dire qu'elles s'appliquent directement aux installations concernées, que l'arrêté préfectoral d'autorisation ou un arrêté complémentaire reprenne ou non ces prescriptions.

Les dates d'application aux installations nouvelles et aux installations existantes sont précisées à l'article 24 de l'arrêté.

Les dispositions de l'arrêté s'appliquent à des carrières très diverses situées dans des milieux aux caractéristiques variées. Il convient en conséquence que l'arrêté autorisant l'exploitation d'une carrière soit complété et renforcé, le cas échéant, par les prescriptions que vous jugerez appropriées.

En plus des dispositions générales de la législation des installations classées, l'arrêté d'autorisation devra prendre en compte les dispositions suivantes particulières aux carrières :

- les articles 16-1 à 16-5 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées ;
- les articles 23-2 à 23-7 du décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977 (garanties financières et autorisation de changement d'exploitant) applicables à partir du 14 décembre 1995 ;
- l'article 34-1 du décret précité (fin d'exploitation).

Les circulaires du 9 juin 1994 relative au décret n° 94-484 du même jour (J.O. du 12 juin 1994) et du 14 février 1996 relatives aux garanties financières pour la remise en état des carrières apportent des précisions sur la mise en œuvre de ces différentes dispositions.

Il me semble par ailleurs souhaitable de souligner certains aspects majeurs à prendre en compte dans les autorisations de carrières que vous délivrerez.

Une installation classée ne peut être autorisée qu'à la condition que les intérêts visés à l'article 1^{er} de la loi du 19 juillet 1976 et à l'article 2 de la loi sur l'eau du 9 janvier 1992 soient respectés.

Compte tenu de la consommation de l'espace causée par les extractions de granulats, il convient d'être particulièrement attentif à la protection du paysage. A cet effet, l'étude d'impact doit démontrer que l'intégration de la carrière dans le paysage est réalisée de façon satisfaisante. Dans le cas contraire, une autorisation ne doit pas être délivrée.

Il ne suffit pas en effet qu'un projet de carrière concerne une zone dépourvue de toute protection juridique au titre du paysage et de l'environnement pour être autorisé. De nombreux paysages de qualité ne bénéficieraient pas de protection et il importe que leur préservation soit assurée.

Le présent arrêté ne mentionne pas de distances particulières à respecter vis-à-vis des tiers. Cette absence de contraintes techniques au niveau de l'arrêté ministériel doit vous conduire à examiner attentivement l'habitat environnant le projet et à apprécier vous-même les distances à imposer le cas échéant afin d'éviter toute gêne à l'égard des tiers, notamment en matière de bruit.

L'autorisation de carrière doit être compatible avec, s'ils existent, le schéma départemental des carrières élaboré conformément au décret n° 94-603 du 11 juillet 1994 relatif aux schémas départementaux de carrières et, s'il s'agit d'une extraction en nappe alluvionnaire, le schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux et le schéma d'aménagement et de gestion des eaux.

Les annexes ci-jointes concernent pour l'annexe I la mise en œuvre de certaines dispositions de l'arrêté du 22 septembre 1994 et pour l'annexe II la méthode de mesure des vibrations.

Vous voudrez bien m'informer sous le timbre de la direction de la prévention des pollutions et des risques des éventuelles difficultés rencontrées dans la mise en œuvre de ces dispositions.

Pour le ministre et par délégation :
Le directeur de la prévention des pollutions
et des risques délégué aux risques majeurs.
G. DEFRANCE

ANNEXE I

Article 1^{er}

Domaine d'application

Un seul arrêté préfectoral doit autoriser la carrière de l'installation du premier traitement des matériaux extraits, lorsque la demande d'autorisation concerne les deux catégories d'installations.

Cet arrêté préfectoral unique peut également autoriser d'autres activités (tel que l'enrobage) d'un même exploitant implantées sur le site de la carrière.

Dans tous les cas, l'étude d'impact doit prendre en compte les nuisances engendrées par l'ensemble des activités implantées sur le site (autorisées par ailleurs dans d'autres arrêtés, ou déclarées) et les activités telles que le trafic généré par l'exploitation.

Article 2

Limitation de l'impact des exploitations sur l'environnement

Par techniques propres, il faut entendre tout mode opératoire permettant de réduire au minimum l'impact des exploitations sur l'environnement.

Article 3

Arrêté d'autorisation

L'article 3 indique les dispositions qui doivent obligatoirement figurer dans l'arrêté d'autorisation d'exploiter.

Cet article prévoit également que les plans d'exploitation et de remise en état du site de la carrière sont annexés à l'arrêté. Ces plans exposent les différents stades de l'exploitation et de la remise en état (en cas de remise en état coordonnée). Ils sont ceux fournis par l'exploitant dans son dossier de demande d'autorisation ou bien de nouveaux plans modifiées à la demande du préfet. Il faut souligner que ces plans doivent être matériellement annexés à l'arrêté et présentés dans une forme aisément consultable et lisible.

L'arrêté fixe la durée de l'autorisation. Elle débute avec la notification de l'arrêté à l'exploitant. La durée de l'autorisation inclut la phase de remise en état, remise en état définie par l'arrêté d'autorisation et couverte par les garanties financières (cf. la circulaire du 14 février 1996 relative aux garanties financières pour la remise en état des carrières).

Articles 4 à 8

Aménagements préliminaires

Les articles 4 à 7 énumèrent les aménagements préliminaires de la carrière qui permettent à l'exploitant, ceux-ci achevés, d'adresser au préfet, selon les dispositions de l'article 23-1 du décret du 22 septembre 1977, une déclaration de début d'exploitation. La publication par deux journaux d'un avis annonçant le dépôt de la déclaration de début d'exploitation constitue le point de départ du délai de recours contentieux de six mois de l'arrêté autorisant la carrière prévu par l'article 14 de la loi du 19 juillet 1976.

Il convient que l'arrêté autorisant une carrière énumère clairement ces aménagements préliminaires et mentionne le dépôt de la déclaration de début d'exploitation.

Ces dispositions s'appliquent à une autorisation initiale et à une autorisation d'extension.

Pour les autorisations de renouvellement, on peut considérer que la date de publication de l'arrêté autorisant la poursuite de l'exploitation est équivalente à la déclaration de début d'exploitation.

Le bornage du périmètre d'exploitation (art. 5) doit permettre, lors des contrôles de l'inspection, de vérifier que les travaux sont bien conduits à l'intérieur des emprises autorisées. Ces bornes peuvent être des bornes de géométrie classiques, mises en place à la périphérie du chantier, ou encore des points fixes et inamovibles tels que support électrique, angle de bâtiment, etc.

Le débouché des carrières sur les voies publiques doit être signalé et sans danger pour la circulation (art. 7). Ainsi des aménagements tels que des voies d'accélération et de dégagement peuvent dans certains cas constituer les conditions satisfaisantes d'accès aux carrières.

Article 9

Déboisement et défrichage

L'article L. 311-2 du code forestier prévoit les cas où l'exploitant est dispensé de l'autorisation de défrichage.

Il importe, même si aucune autorisation n'est nécessaire, que le défrichage soit réalisé selon les besoins de l'exploitation.

Les conditions de l'autorisation de défrichage sont fixées par l'article L. 311-1 du code forestier.

Article 10

2. Patrimoine archéologique

Suivant la richesse de la zone en la matière, il peut être imposé à l'exploitant :

- d'informer le service chargé du patrimoine archéologique de la date des opérations de décapage pour que ce service puisse, si besoin est, assister aux dites opérations.
- d'utiliser une technique particulière de décapage (utilisation de pelles travaillant en rétro, godets sans dent) permettant, le cas échéant, une bonne reconnaissance archéologique.

Article 11

Extraction

2. Extraction en nappe alluviale

Les extractions en nappe alluviale peuvent avoir un impact notable sur l'environnement, notamment sur l'eau et le paysage. C'est pourquoi il est essentiel que l'étude d'impact décrive d'une façon complète et approfondie les conséquences de l'exploitation dans ces domaines et les mesures prises afin d'éviter toute nuisance et pollution. L'arrêté d'autorisation ne doit être délivré qu'à la condition que les intérêts visés à l'article 2 de la loi n° 93-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau soient respectés, à savoir :

- la préservation des écosystèmes aquatiques et des cours d'eau, desites et des zones humides ;
- la protection contre toute pollution ;
- la protection de la ressource en eau ;
- la conservation du libre écoulement des eaux et la protection contre les inondations.

L'impact de la carrière après l'exploitation doit également être évalué avec soin. Ainsi, un projet aboutissant à la dégradation du paysage ou à son mitage par une série de plans d'eau ne doit pas être autorisé.

La distance séparant les limites d'extraction des bords du cours d'eau qui est fixée par l'article 11-2 qu'une distance minimale qu'il convient d'adapter en fonction de la sensibilité et de l'importance du cours d'eau et de la qualité du paysage.

Par ailleurs les petites rivières (dont la largeur est inférieure à 7,5 mètres) doivent être également préservées. La distance doit être suffisante pour maintenir le fonctionnement de l'écosystème (rôle de la végétation du bord de rivière et des zones humides...) ainsi que pour éviter la « capture » de la rivière par la carrière lors de crues.

Certains cours d'eau ont un lit mineur qui se déplace naturellement. Il s'agit d'une richesse et d'un potentiel importants qu'il convient de conserver en n'autorisant pas de carrières dans ces zones de mobilité.

D'autres cours d'eau ont un lit naturellement fixé. Pour ceux-là, il faut prioritairement éviter le risque de capture de la rivière par la carrière (la rupture de la berge et l'envahissement de la carrière par les eaux pouvant survenir pendant l'exploitation ou plusieurs années après la remise en état). Lorsque des mesures de protection (des berges ou de la carrière) sont indispensables, elles ne doivent pas modifier les capacités de stockage des zones inondables ni augmenter le risque d'inondation tant à l'amont qu'à l'aval du site.

Les exploitations conduites dans le lit majeur des cours d'eau ne doivent pas constituer un obstacle à l'écoulement des crues ni réduire les surfaces des zones inondables. Il convient notamment de ne pas autoriser les extractions dans les zones de grand écoulement identifiées dans les plans de prévention des risques ou les atlas de zones inondables. (On considérera comme telles les zones soumises à des vitesses de l'ordre d'un mètre par seconde ou plus, pour les plus forte crue historique - de fréquence au moins centennale - ou, à défaut d'éléments suffisamment précis, de l'étendue de la crue décennale).

Lorsque les extractions sont autorisées dans un lit majeur, il convient :

- d'interdire à la périphérie de la carrière, sauf avis motivé des services assurant la police du cours d'eau, les levées de terre qui se seraient pas dans le sens de l'écoulement des eaux ;
- d'éviter, lorsqu'elles peuvent aggraver les conséquences des inondations, l'implantation des installations de traitement sur le site d'exploitation ainsi que celle des stockages de matériaux en période hivernale. Ces derniers, en cas d'impossibilité ou de nécessité de disposer de stockages tampons (égouttage des matériaux avant leur transport), doivent être réduits au minimum et disposés en dépôts longitudinaux, parallèlement au sens du courant en régime de crue.

Par ailleurs, lorsque le projet d'extraction dans une nappe est situé à moins de 10 kilomètres d'un aéroport recevant des avions à réaction et à moins de 5 kilomètres dans les autres cas, il importe lors de l'instruction du dossier de demande d'autorisation de consulter les services de l'aviation civile, et cela compte tenu des risques pour les aéronefs causés par les oiseaux aquatiques.

3. Exploitation dans la nappe phréatique

Dans le cas de carrière en nappe phréatique, une technique consiste à exonder totalement ou partiellement le gisement et à l'exploiter ainsi comme une carrière hors d'eau au moyen d'engins de terrassement classiques avec tous les avantages que cela implique.

Ces rabattements, réalisés sans précautions particulières, peuvent engendrer à des distances de plusieurs centaines de mètres des effets sur la stabilité des ouvrages (tassements différentiels des horizons supérieurs) ou sur les milieux naturels (assèchements de zones humides).

Cette technique ne doit aujourd'hui être utilisée qu'à titre exceptionnel. Lorsque cette pratique est autorisée expressément par l'arrêté d'autorisation, elle doit être limitée dans l'espace (superficie des zones exondées) et dans le temps (limitée aux travaux de découverte ou de remise en état par exemple). Elle peut s'accompagner des mesures suivantes :

- pour réduire les apports d'eau dans la zone à extraire et minimiser l'importance du pompage et des rejets, le chantier est ceinturé d'un voile semi-étanche, voire étanche, jusqu'au substratum ;
- la zone exondée est ceinturée vers l'aval et/ou l'amont hydraulique d'un fossé de réhydratation dans lequel sont envoyées les eaux d'exhaure qui doivent faire l'objet, en tant que de besoin, d'un traitement pour atteindre l'objectif de qualité fixé en application de l'article 18.2.2. du présent arrêté ;
- en fin d'exploitation et lors de l'arrêt du pompage, des brèches sont réalisées dans le voile pour permettre la remise en eau progressive.

Article 12

Remise en état du site

2. Remise en état

La remise en état s'applique aux sites et installations de toute nature affectés par les travaux. Elle doit permettre une intégration satisfaisante du site exploité dans le paysage. Elle comporte habituellement la suppression des installations de traitement des matériaux, des rampes d'accès, des pistes de circulation, de toutes les structures n'ayant pas d'utilité pour la remise en état des lieux.

Elle ne doit pas être confondue avec l'aménagement qui peut certes en constituer le prolongement mais qui est une opération distincte ayant pour effet de valoriser les lieux par la création d'équipements ou d'infrastructures et de leur donner une affectation nouvelle souvent différente de l'affectation originelle (ex. : base de loisirs, golf, etc.). L'aménagement suppose l'intervention d'autres acteurs.

Sauf dans les cas dûment justifiés par le dossier de demande d'autorisation, la remise en état doit être coordonnée à l'exploitation du gisement.

Le respect du plan d'exploitation et de remise en état est l'une des conditions essentielles pour minimiser l'impact des carrières sur l'environnement. Les photographies aériennes constituent un excellent moyen d'en assurer le suivi.

Les volumes de matériaux (terres végétales, stériles, déblais) nécessaires à la remise en état du site doivent être clairement quantifiés dans le dossier de demande d'autorisation. Leurs origines (interne ou externe) et emplois sont précisés.

3. Remblayage

Le remblayage des excavations doit être réalisé exclusivement au moyen de matériaux minéraux inertes et - pour les carrières en nappe alluviale - ne doit pas perturber l'hydrodynamique de la nappe.

Les matériaux extérieurs et notamment ceux de démolition ne peuvent être utilisés qu'après un tri rigoureux à l'amont. Il est utile d'ailleurs de rappeler aux fournisseurs (producteurs, intermédiaires) de matériaux destinés au remblayage, leur responsabilité quant à la conformité des produits.

Doivent être interdits pour le remblayage les matériaux putrescibles (bois, papier, cartons, déchets verts, etc.), les matières plastiques, les métaux. Certains éléments doivent être évités : il s'agit en particulier du plâtre, notamment dans le cas de remblais réalisés sous le niveau de la nappe. Les matériaux qui pourraient être valorisés (bétons, enrobés routiers) doivent également être écartés lorsqu'il existe des possibilités de recyclage.

Sur les carrières acceptant des déblais extérieurs, il est élémentaire de prendre certaines dispositions afin de vérifier que les déblais ne contiennent pas de déchets interdits : ainsi les matériaux ne doivent pas être bennés directement en fond de fouille ; avant enfouissement, les déblais doivent subir un examen visuel et un triage qui permet de détecter des éléments indésirables (bidons, fûts, ferrailles) ; ils sont ensuite poussés par un buteur ; une benne pour la récupération des refus est à prévoir.

Article 14

Distances limites et zones de protection

1. Exploitation à ciel ouvert

Les principaux éléments de la surface dont l'intégrité est essentielle à la sécurité et à la salubrité publiques sont toutes les constructions, ouvrages, infrastructures.

2. Exploitations souterraines

L'information à adresser à l'inspection des installations classées en application de l'article 14.2 concerne la protection de certains des éléments de la surface dont les mouvements, même de faible amplitude, pourraient compromettre la sécurité et la salubrité publiques. La liste de l'article 14.1 n'est pas limitative et l'article 14.3 donne la possibilité au préfet d'y ajouter d'autres éléments dont la stabilité ne saurait être compromise sans danger.

En règle générale, la zone de protection doit avoir une largeur de 10 mètres augmentée de la moitié de la différence de cote entre le niveau de base de l'exploitation et le niveau du sol au droit de cette distance de 10 mètres, sans qu'il soit nécessaire de dépasser au total 50 mètres.

3. Modification des distances limites et des zones de protection

L'article 14.3 donne la possibilité au préfet de moduler la distance prévue à l'article 14.1, tant dans le sens d'une augmentation que dans celui d'une diminution.

L'augmentation de la distance au-delà de 10 mètres s'avère nécessaire, notamment pour des motifs :

- de sécurité ;
- de salubrité publique. Une distance de 10 mètres n'est appropriée que lorsque le voisinage est inhabité.

La réduction de la distance de 10 mètres, et même sa suppression peut être retenue dans le cas de projets jouxtant d'autres carrières en cours d'exploitation ou non, dès lors qu'elle permet d'améliorer l'environnement général de la zone.

Article 16

Carrières souterraines

1. Plans et registres

Un plan des travaux doit être établi dans toute exploitation souterraine, pour chaque gîte, couche ou filon ou pour chaque tranche. Ce plan repéré par rapport à la surface est divisé en carreaux de 10 centimètres de côté. Les cotes de niveau des points principaux et la hauteur des excavations y sont inscrites. Les quartiers abandonnés, et notamment les zones foudroyées, remblayées ou inondées, y sont reportés. Il en est de même des massifs de protection laissés en place sous chaque gîte.

Un plan de la surface, établi sur support transparent et superposable au plan précité, est établi et mis à jour au moins une fois tous les six mois. Ce plan indique en particulier :

- les courbes de niveau ou cotes d'altitude des points significatifs ;
- les orifices des puits ou galeries débouchant au jour ;
- les limites de propriétés de surface ou des parcelles cadastrales ;
- le périmètre sur lequel porte l'autorisation d'exploiter ;
- la position des ouvrages et objets visés à l'article 9.1 ci-dessus (et, s'il y a lieu, leur périmètre de protection) institués en vertu de réglementations spéciales.

Le registre d'avancement mentionne la méthode d'exploitation et le degré d'avancement des travaux, les variations d'allure du gîte, le jaugeage des eaux, les circonstances de fermeture des puits, galeries ou quartiers et, d'une façon générale, la situation, la nature et l'importance des incidents portés à la connaissance de l'inspection des installations classées.

Article 18

Pollution des eaux

Les seuls rejets d'eau autorisés dans le milieu naturel sont constitués par les eaux d'exhaure, les eaux de nettoyage et les eaux pluviales. Il faut souligner que :

- dans le cas d'exploitations de gisements de matériaux meubles, et plus particulièrement dans le cas de gisements alluvionnaires en nappe, le pompage (lors de rabattement de nappe) et donc le rejet d'eau sont interdits sauf autorisation expresse ;
- les eaux de ruissellement extérieures doivent être détournées du site (art. 6) si elles présentent un risque pour les intérêts visés à l'article 2 de la loi sur l'eau ;
- les eaux de lavage des véhicules ou des matériaux ne sont normalement chargées que de matières en suspension et, compte tenu de leur utilisation, peuvent être intégralement recyclées après traitement ; en ce qui concerne les eaux de lavage des

matériaux, l'article 7 de l'instruction technique du 29 janvier 1986 relative aux installations de broyage, concassage, criblage de substances minérales prévoyait déjà que les eaux de procédé devaient être recyclées.

Pour ces rejets, l'arrêté d'autorisation fixe des valeurs limites pour les flux et les concentrations des principaux polluants.

La liste des paramètres visés à l'article 18.2.2 n'est pas limitative. Dans certaines exploitations de roche massive, les eaux météoriques, en percolant au travers des fissures et des micro-fissures, produisent une altération des minéraux constitutifs par le biais de divers mécanismes chimiques. Dans ce cas, il peut être utile de fixer des valeurs limites, par exemple pour les métaux ; celles fixées par l'arrêté du 1^{er} mars 1993 (J.O. du 28 mars 1993) relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux rejets de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation peuvent être imposées.

Lorsque le rejet s'effectue dans un milieu très sensible, notamment un cours d'eau à très faible débit, les flux de pollution envisagés peuvent se révéler incompatibles avec les objectifs de qualité ou certaines utilisations de l'eau.

Aussi, ayant déterminé les flux de pollution maximum résultant des valeurs limites prévues, il convient de vérifier la compatibilité de ces flux avec les objectifs de qualité du milieu. Dans le cas d'un cours d'eau, on prendra comme débit d'étiage de référence le débit moyen minimal sur trente jours consécutifs (V.C.N. 30) de fréquence quinquennale. Ces données sont disponibles à la banque de données Hydro pour un grand nombre de cours d'eau.

Cela permet de déterminer pour chacun des polluants une valeur de référence de la pollution ajoutée (exprimé en mg/l). En additionnant cette valeur à la pollution initiale du cours d'eau, on peut déterminer la valeur de référence de la pollution du cours d'eau après implantation de la carrière.

Cette valeur doit être comparée à la valeur limite correspondante définie soit par l'objectif de qualité du cours d'eau, soit en fonction d'un usage particulier.

Dans le cas où le niveau de pollution résultant de l'implantation de la carrière est incompatible avec l'objectif de qualité ou certaines utilisations de l'eau, l'autorisation ne peut être accordée dans les conditions initialement envisagées. Elle doit en conséquence fixer des prescriptions permettant le respect de la qualité du milieu, par exemple, grâce à l'emploi d'un traitement des rejets beaucoup plus poussé.

Le respect de valeurs limites de rejet doit être vérifié. C'est pourquoi l'arrêté d'autorisation fixe les conditions de leur surveillance. Les mesures sur le débit et les concentrations doivent être au moins de fréquence annuelle pour tout rejet autre que les eaux pluviales.

Article 19

Pollution de l'air

Les rejets canalisés, après épuration, doivent être évacués par un conduit dont la hauteur est déterminée conformément aux dispositions des articles 52 à 57 de l'arrêté du 1^{er} mars 1993 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux rejets de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

Comme pour les rejets liquides, les rejets gazeux doivent bénéficier de mesures de débit et de concentrations dont la fréquence doit être au moins annuelle.

Article 20

Incendie et explosion

Les moyens de lutte contre l'incendie doivent être adaptés au risque et peuvent être constitués :

- d'extincteurs placés à l'intérieur des locaux ou sur les aires extérieures, sur les engins de chargement et de transport ;
- d'un réseau d'adduction d'eau ou, à défaut, d'une réserve permettant d'alimenter, avec un débit et une pression suffisants, des robinets d'incendie, des prises d'eau ou tous autres matériels fixes ou mobiles ;
- des réserves de sable.

En matière de prévention, il y a lieu de prévoir, dans les zones présentant des risques d'incendie ou d'explosion, pour tous les travaux de réparation ou d'aménagement nécessitant l'emploi d'une flamme ou d'une source de chaleur, la délivrance d'un permis de feu et des consignes particulières fixant les règles d'intervention. Le permis de feu et les consignes doivent être établis et visés par l'exploitant. Lorsque les travaux sont effectués par une entreprise extérieure, le permis de feu et les consignes particulières peuvent être établis soit par l'exploitant, soit par l'entreprise extérieure, mais

doivent être signés à la fois par l'exploitant et par l'entreprise extérieure. A la fin des travaux et avant reprise de l'activité, une vérification des installations ayant subi les travaux doit être effectuée.

Article 21

Déchets

Les terres de découverte et les stériles normalement destinés à la remise en état du site ne sont pas des déchets.

Les déchets produits dans la carrière (pièces d'usure des engins et des installations, etc.) doivent être stockés dans des conditions limitant les risques de pollution (prévention des envols, des infiltrations dans le sol, des odeurs).

Les déchets banals (bois, papier, verre, plastique, caoutchouc, etc.) et non contaminés par des substances toxiques ou polluantes peuvent être valorisés ou éliminés dans les mêmes conditions que les ordures ménagères.

Selon le décret n° 94-609 du 13 juillet 1994, les seuls modes d'élimination autorisés pour les déchets d'emballage sont la valorisation par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir des matériaux utilisables ou de l'énergie. Cette disposition n'est pas applicable aux détenteurs de déchets d'emballage qui en produisent un volume hebdomadaire inférieur à 1 000 litres et qui les remettent au service de collecte et de traitement des communes.

Les dispositions du décret susvisé ne sont pas applicables aux déchets d'emballages de produits soumis aux dispositions des articles 75 et suivants du décret du 28 septembre 1979 sur le traitement des déchets et effluents de matières explosives.

Cependant, quelle qu'en soit leur quantité, les emballages vides ayant contenu des produits toxiques ou susceptibles d'entraîner des pollutions doivent être renvoyés au fournisseur lorsque leur réemploi est possible ; dans le cas contraire, ils doivent être éliminés comme des déchets spéciaux.

Les déchets industriels spéciaux (huiles...) doivent être éliminés dans des installations autorisées à recevoir ces déchets. L'exploitant doit être en mesure d'en justifier l'élimination : les documents justificatifs doivent être conservés trois ans.

Article 22

Bruits et vibrations

1. Les bruits

Dans la mesure où des habitations sont proches et risquent d'être gênées par l'exploitation de la carrière, l'étude d'impact du dossier de demande d'autorisation doit présenter un contrôle du niveau sonore initial. Elle doit prendre en compte l'ensemble des bruits générés par la carrière et les autres activités qui y sont implantées, et notamment les bruits dus aux avertisseurs de recul et aux tirs de mines. Dans le cas où l'étude d'impact souligne par exemple une nuisance notable subie par les tiers du fait des avertisseurs de recul, il convient de mettre en œuvre des solutions des mesures prévenant les nuisances (convoyeurs, écran, aménagement du site, etc.), par exemple, des convoyeurs.

Par ailleurs, afin d'éviter la gêne due aux tirs des mines, il peut être nécessaire, dans certains cas, d'imposer une valeur limite. En l'état actuel des connaissances, il apparaît que le niveau de pression acoustique de crête peut être limité à 125 décibels linéaires.

2. Les vibrations

Lorsque l'environnement présente une sensibilité très forte (tunnels, monuments, habitations, etc.), l'inspection des installations classées peut demander la mise en place d'appareils de mesure des vibrations sur les points critiques situés sur ou à proximité des ouvrages précités.

La méthode de mesure des vibrations et les valeurs limites admissibles sont définies par la circulaire n° 86-23 du 23 juillet 1986. À l'exception des tirs de mines pour lesquels des prescriptions spécifiques sont fixées (voir l'annexe II concernant la méthode de mesures des vibrations dues aux tirs de mines).

Article 23

Les transports

L'étude d'impact doit analyser les conséquences des transports des matériaux sur l'environnement. L'arrêté d'autorisation peut préciser des prescriptions sur le mode de transport des matériaux. Il peut notamment prévoir, pour les carrières importantes (de plus de 300 000 tonnes/an), qu'un certain pourcentage de matériaux sera expédié par voie ferrée ou par voie d'eau lorsque la carrière, ou une partie notable de sa production, n'a pas une vocation locale.

Lorsque le transport est réalisé par camion, les prescriptions doivent permettre que les véhicules ne soient pas sources de nuisances ou dangers. Il s'agit par exemple du bûchage, du nettoyage systématique des roues, du respect du poids total autorisé en charge. Il est par ailleurs utile de rappeler aux chauffeurs (par exemple, par un panneau pédagogique à l'endroit de la pesée) l'importance du respect du code de la route, notamment lors des traversées de villages et hameaux.

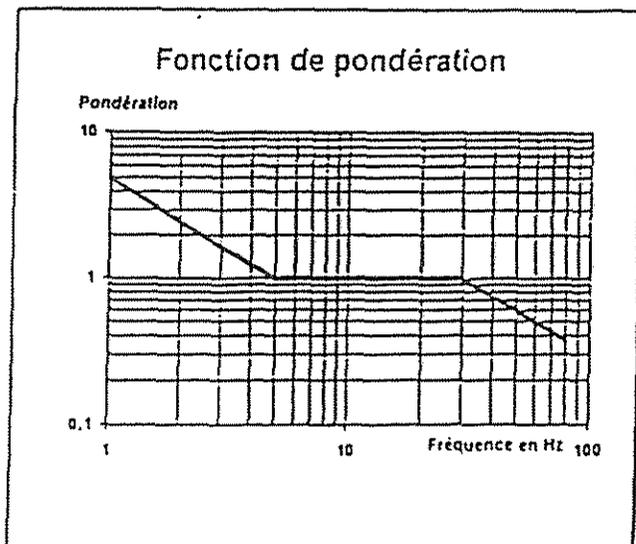
ANNEXE II

Cette annexe a pour objet la description technique de la méthode de mesures des vibrations dues aux tirs de mines.

Les principes de mesurage doivent être conformes à la circulaire n° 86-23 du 23 juillet 1986 (§ 1.1.2. appareils, § 1.1.3., précautions opératoires). En revanche, la méthode et les critères d'évaluation des nuisances sont différents. Par ailleurs, les valeurs-limites s'appliquent aux éléments porteurs de la structure situés au-dessus des fondations.

Le contrôle de la valeur-limite calculée sur la valeur crête nécessite l'utilisation d'un filtrage qui est réalisé en appliquant une fonction de pondération à l'amplitude de la transformée de Fourier de chaque composante du signal vibratoire.

La fonction de pondération est caractérisée, dans un diagramme bilogarithmique du facteur de pondération, en fonction de la fréquence, par 3 segments de droites (cf. schéma ci-dessous).



Cette pondération conduit, pour chacune des 3 composantes, à un signal pondéré obtenu par la transformée inverse de Fourier pour lequel les basses fréquences sont amplifiées et les hautes fréquences atténuées. On ne retient, pour chaque composante, que l'amplitude maximale du signal pondéré correspondant, et finalement la valeur la plus élevée des maxima de chaque composante. Cette méthode de mesurage conduit donc à une valeur unique (comme c'est le cas pour la mesure du bruit).

Cette valeur est comparée à la limite de 10 mm/s.

Cette méthode d'évaluation revient à appliquer des limites plus sévères pour les basses fréquences, inférieures à 5 Hz (où les effets sur des tirs sont les plus néfastes) et plus larges pour les fréquences supérieures à 30 Hz (où les effets des tirs sont les moins néfastes). Ainsi, un signal vibratoire monofréquentiel, brut de mesurage, sera limité à 2 mm/s si sa fréquence est de 1 Hz, à 10 mm/s si sa fréquence est de 10 Hz, à 15 mm/s si sa fréquence est de 45 Hz. Pour un signal théorique composé de deux fréquences, c'est la somme des deux maximales qui devra être inférieure à 10 mm/s. Par exemple, 7 mm/s à 10 Hz n'est pas acceptable. De même, 3 mm/s à 2 Hz (qui donne 7,5 mm/s après application de la pondération de 2,5) et 5 mm/s à 5 Hz est au-delà de la limite.

L'appareillage de mesure doit pouvoir effectuer l'enregistrement de l'évolution du signal temporel non pondéré. La pondération du signal peut être réalisée de manière analogique ou numérique. La méthode de pondération choisie doit garantir une déformation minimale du signal reconstitué.

La chaîne de mesure doit avoir une dynamique d'au moins 54 dB et une résolution inférieure à 0,1 mm/s dans la gamme 1 Hz, 150 Hz. Elle doit avoir une précision supérieure à 8 p. 100 de la valeur mesurée dans la gamme 2 Hz, 80 Hz, ce qui suppose des étalonnages réguliers.

Cette méthode d'évaluation n'exclut pas les analyses plus fines qui peuvent être nécessaires à la compréhension des phénomènes et à leur réduction.