Matériaux de carrière/ sous produit de carrière

Mise à jour de la version : 04/04/2013

1. Définition 1
2. Lois, normes, guides 2
3. Origine, élaboration, stockage 4
4. Caractéristiques physico-chimiques 14
5. Caractéristiques géotechniques 16
6. Caractéristiques environnementales 19
7. Aspects sanitaires 25
8. Usages 26
9. Référence bibliographiques 29
10. Auteurs et relecteurs 31

1. Définition

Les carrières sont des zones d'extraction de la ressource naturelle (sol ou roche) dont une grande majorité est dédiée à la production de granulats pour les travaux publics ou le bâtiment. Les autres carrières sont dédiées aux cimenteries, aux exploitations de pierre à chaux, de pierre de taille, aux exploitations de minéraux ou de métaux... Ces exploitations peuvent être enterrées ou à ciel ouvert.
La ressource naturelle extraite est rarement commercialisable ou utilisable en l'état et nécessite des traitements permettant d'aboutir à des produits finis respectant des spécifications d'usage. Les opérations de préparation et d'élaboration de la ressource naturelle conduisent à l'élimination d'une certaine quantité de matériaux formant le vaste ensemble des sous-produits de carrière, aujourd'hui assimilés à des déchets au sens des définitions des directives européennes.
L'exploitation des matériaux naturels dédiés à la production énergétique (pétrole, charbon, uranium…) ou à la production de certains métaux, est régie par le code minier. Les déchets produits par les mines sont traités sous une autre rubrique d'OFRIR.

Parmi les sous-produits de carrière objets de cette rubrique, on distinguera :

- les matériaux provenant de la découverte : ce sont des sols ou des roches situés en général dans la tranche supérieure du gisement et qui sont de nature très différente du matériau recherché par l'exploitant ; cette partie du gisement est souvent qualifiée de « terre non polluée » (directive 2006/21/CE) ;
- les sous-produits provenant de l'élaboration et du traitement des matériaux : ces opérations conduisent à éliminer la fraction la moins bonne du matériau pour élaborer un produit fini ; ces sous-produits doivent être identifiés par l'exploitant comme des « déchets d'extraction » par opposition au produit qu'il est autorisé à produire par l'arrêté d'exploitation de la carrière ;
- les excédents : il s'agit de produits finis qui ne trouvent pas de débouchés commerciaux dans les conditions du marché du moment et qui finissent par former des stocks importants;

- les sous-produits résultant de l'amélioration des conditions de travail et de la protection de l'environnement, le plus souvent constitués par des fines de dépoussiérage et des boues provenant du traitement des eaux de lavage.

La distinction entre produit et déchet se fait sur l'usage recherché pour l'utilisation des matériaux extraits par l'exploitant et sur les critères imposés pour cet usage (normes, DTU…). Les directives européennes et leurs déclinaisons françaises imposent une clarification du processus de la part de l'exploitant et l'identification de la production des déchets avec la mise en place d'un plan de gestion des déchets propre à la carrière.

Les autres déchets produits sur le site de la carrière ne sont pas traités dans le cadre de cette rubrique. On pourra utilement consulter le site de l'Unicem pour plus d'information concernant le plan de gestion des déchets de la carrière …

2. Lois, normes, guides

2.1– Lois

- l'arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et installations de premier traitement des matériaux de carrières, modifié par arrêté du 5 octobre 2010 ; et la circulaire d'application en date du 22 août 2011, ces deux dernières prenant en compte la directive 2006/21/CE.
  - Arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives
  - Circulaire du 22 août 2011 relative à la définition des déchets inertes pour l'industrie des carrières au sens de l'arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières
- la circulaire n°96-52 du 2 juillet 1996 : exploitation de carrières et installations de premier traitement des matériaux de carrières ;
- la circulaire du 9 juin 1994 relative aux garanties financières pour la remise en état des carrières ;
- l'instruction technique du 29 janvier 1986 relative aux installations de broyage, concassage, criblage de substances minérales, concernant le recyclage des eaux de procédé ;
- la loi sur l'eau du 9 janvier 1992 et plus précisément l'application du code de l'environnement
- la directive européenne 2006/21/CE du 15 mars 2006 relative à la gestion des déchets des industries extractives
- la décision 2009/359/CE du 30 avril 2009

Déchets et sous-produits : éléments de clarification

La réglementation européenne a introduit depuis les années 90 des notions très fortes en ce qui concerne la production des déchets et la responsabilité des producteurs avec l'application du principe maintenant bien connu de « pollueur-payeur ».
Pour définir exactement la notion de déchet alors de jusqu'alors le terme de sous-produit était couramment utilisé au sein d'une carrière il convient au préalable de revenir aux définitions fondamentale de mot "déchet" qui correspond à toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire. Il est clair qu'au cours du processus d'élaboration des produits visés par l'exploitant et selon la définition qui vient d'être citée (2006/21/CE), il y a productions de déchets et les sous-produits sont des déchets au sens des textes. Tous les produits issus du processus d'élaboration peuvent ne pas devenir des déchets sous réserve que l'exploitant engage une réflexion spécifique sur la gestion des produits et sous-produits issus de sa carrière et que l'autorisation d'exploitation de la carrière prévoit bien cette finalité.
Les « sous-produits » de carrière sont dorénavant couverts par la directive 2006/21/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 mars 2006 relative à la gestion des déchets de l'industrie extractive, l'arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et installations de premier traitement des matériaux de carrières, modifié par arrêté du 5 octobre 2010 ; l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives et la circulaire d'application en date du 22 août 2011.
Les opérations de traitement permettant de séparer les fractions du matériau extrait impropres à l'usage recherché génèrent ainsi un ou plusieurs déchets si l'exploitant cherche à s'en défaire. L'absence de substances chimiques ou autres que celle résultant du tri mécanique permet de considérer le déchet comme inerte et apte à être valorisé. La découverte d'une carrière est clairement distingué des autres sous-produits (« terre non polluée ») et n'est pas assimilé à un déchet sous réserve du maintien de son intégrité (absence de pollution extérieure, mélange avec d'autres matériaux, malveillance…).

Les matériaux issus de l'exploitation qui restent au sein de la carrière, identifiés et gérés spécifiquement en vue du réaménagement du site en fin d'exploitation ne sont pas considérés comme des déchets.

2.2 - Normes

Les normes de classification correspondent aux normes des domaines d'emploi visés pour la valorisation du sous-produit. Les choix s'orienteront selon les grands domaines d'emploi suivant (voir l'entrée textes de réference/normes)

2.3 – Guides

Pour la valorisation des sous-produits de carrière, on pourra utilement se reporter aux documents suivants qui permettent d'orienter le choix des domaines de réemploi en structure de chaussée ou en terrassements (purges, remblais, couches de formes) selon les performances obtenues, documents argumentés par de nombreux retours d'expérience :

- SETRA, 1985. « Sables excédentaires de carrières » note d'information n°17 de décembre 1985
- Guides techniques pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile de France, 1996. « Les calcaires » 1996, « les chailles » 1996, « les limons » 1996, « les

sablons » 1996, « valorisation des excédents de déblais de travaux publics » 2003, « catalogue des structures de chaussées » 2003 - co-production Conseil Régional Ile de France, Préfecture Ile de France, SPRIR Ile de France, UNICEM Ile de France

- Guides techniques et monographies pour l'utilisation des matériaux de Haute-Normandie, 2000. « Les sables albiens » – « Les calcaires lutétiens » – « Les granulats marins » - « les limons ».
- Guides techniques régionaux de Champagne-Ardenne « les graveluches » 2004, « les craies » 2004.
- Guides techniques régionaux de Lorraine « les calcaires » 2009, « les schistes houillers » 2009.

3. Origine, élaboration, stockage

3.1 - Matière première

Les carrières exploitent des sols et des roches. Les sous-produits issus de la transformation de ces sols et roches correspondent donc à des matériaux naturels dont les caractéristiques (minéralogie, pétrographie…) résultent de l'histoire géologique du site.
Selon le contexte de sédimentation ou de formation des roches et des minéraux (la mer, le milieu terrestre, les lacs ou les rivières, les volcans ou l'activité magmatique profonde) les sous-produits auront une nature pétrographique ainsi qu'une géométrie qu'il appartient au géologue d'identifier.
On distingue classiquement :

- les extractions de roches issues de formation magmatique (volcanique ou plutonique) ou métamorphique. Dans leur grande majorité, les carrières qui exploitent ces formations pour élaborer des granulats les qualifient de roches « dures ». Ces formations géologiques permettent également d'obtenir des pierres ornementales recherchées pour la statuaire, le bâtiment… comme illustré en Figure 1 ; on citera également les exploitations de talc, de pouzzolane… qui entrent également dans la catégorie des roches métamorphiques et magmatiques mais qui visent d'autres emplois que les granulats ou les pierres ornementales.
- les extractions de roches sédimentaires (calcaires, grès, argile…) ;
- les extractions de « roches » meubles issues de la sédimentation en milieu terrestre (alluvions) comme illustrée en Figure 2.

On se reportera à la rubrique d'OFRIR traitant des « granulats de référence » pour plus de renseignement sur la matière première et la géologie.

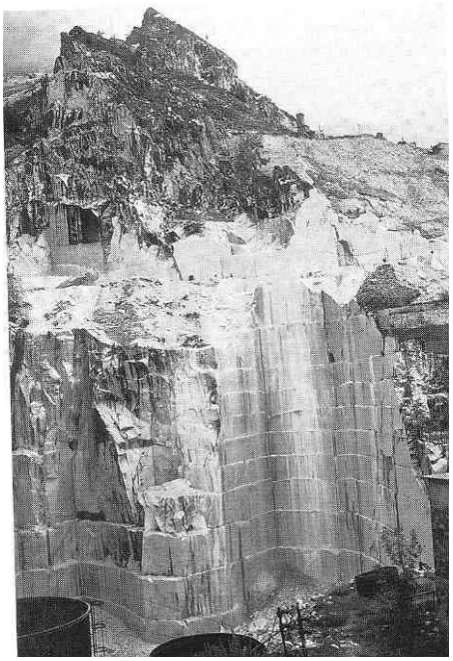

Figure 1 : carrière d'extraction de marbre – roche métamorphique - en Italie (mémento des mines et carrières).

Figure 2 : carrière d'extraction de falun (sable coquillier) en Touraine (LR Blois)

Les sous-produits de carrière résultent quant à eux d'une chaîne d'élaboration, qu'il s'agisse des carrières de granulat, de ballast ou de la fabrication de pierre ornementale, de liant (ciment, chaux…) ou de minéraux.

3.2 - Processus de fabrication

Les étapes ci-dessous résument les différentes phases d'identification et d'élaboration des sous produits de carrière dans la chaîne d'extraction puis d'élaboration des matériaux issus de carrière. On se reportera utilement au schéma en Figure 3 pour comprendre les différents processus d'élaboration des sous-produits jusqu'à un produit fini, ici le granulat.

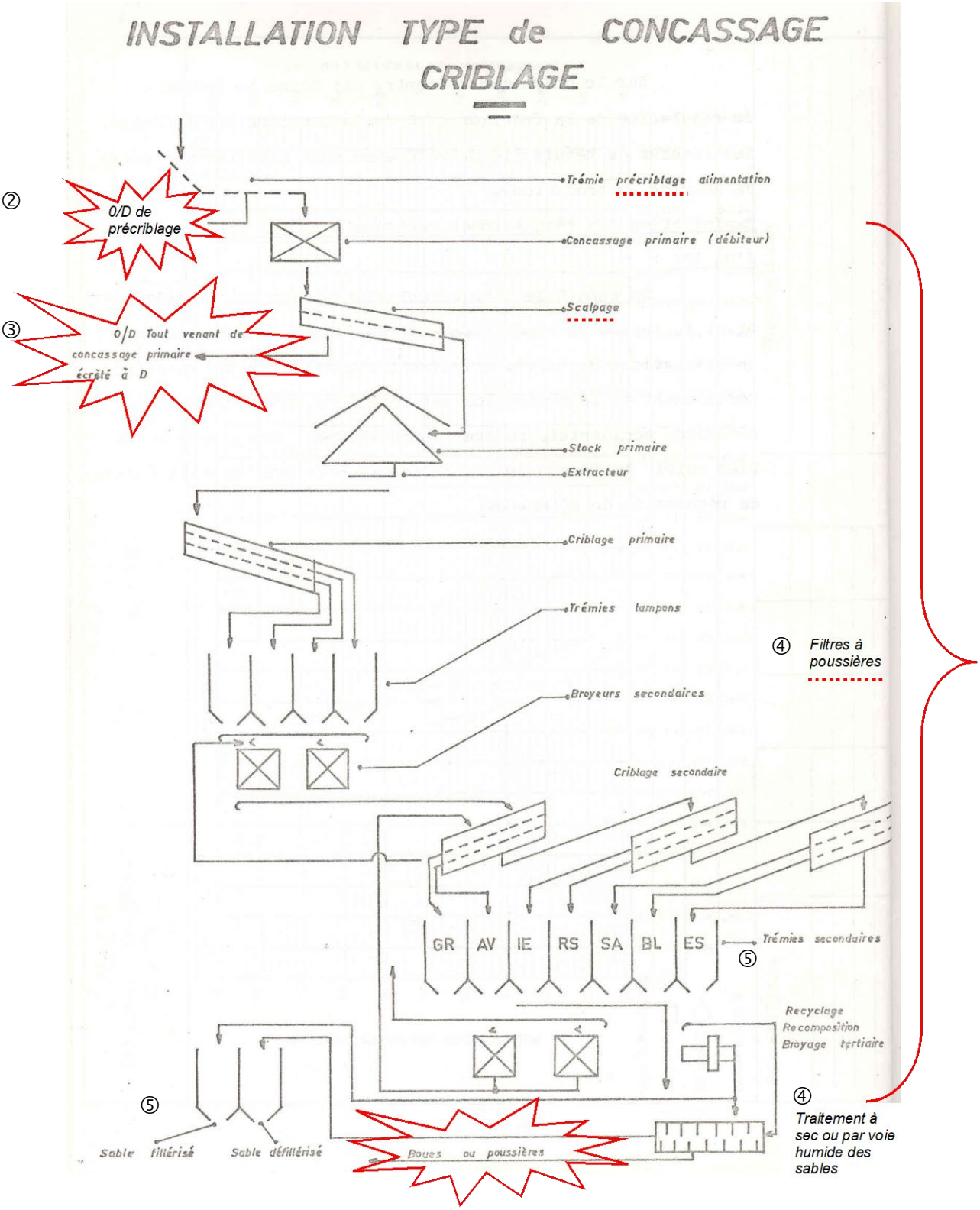

Figure 3 : exemple d'installation et de processus de fabrication des granulats. En rouge, les produits considérés comme des sous-produits.

Etape ① : il s'agit de l'enlèvement de la partie superficielle du gisement qui constitue la « découverte de la carrière. Cette partie du gisement correspond aux morts-terrains, ou encore aux terres non polluées au sens de la directive européenne (figure 4, 5 et 6). Dans la découverte, peuvent se trouver des niveaux de matériaux de « mauvaises » qualité pour l'exploitant principal de la carrière, mais pouvant être exploité pour des utilisations différentes. Certaines carrières sous-traitent l'exploitation de la découverte à d'autres entreprises qui commercialisent ce gisement pour un autre usage.

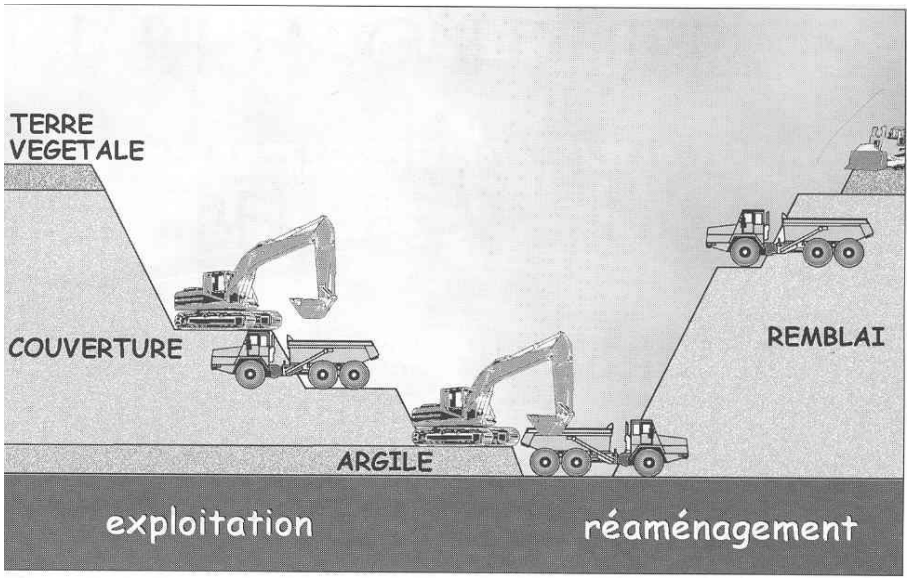

Figure 4: exemple d'extraction de la découverte (ou couverture) dans une carrière d'argile (Mines&Carrières n°81, 1999), réemployée pour le réaménagement du site.

Figure 5 : réalisation de la découverte d'une carrière d'exploitation de calcaire (LR Nancy). Le matériau extrait est composé de calcaire et de limons argileux.

Figure 6 : la découverte de cette carrière se distingue du matériau exploité par sa couleur brune, différente de celle du gisement principal composé de matériaux beaucoup plus clairs (LR Blois).

Etape ② : immédiatement après extraction sur le front de taille, les matériaux extraits peuvent subir une première phase d'élaboration qui permet d'éliminer le gros des matériaux impropres. Pour l'élaboration des granulats (figure 3), les sous-produits principaux sont : le 0/D de pré-criblage (en général 50 < D < 100 mm) résultat de l'élimination de la fraction la moins noble du produit d'abattage (le plus souvent il s'agit d'une grave argileuse) par passage du brut d'abattage sur un crible sommaire ;

Plus rarement, le pré-criblage permet d'éliminer une fraction d/D comme illustré figure 7.

Dans le cas des pierres de taille, les sous-produits sont générés par l'élimination des veines de roches impropres, le tri des blocs, la taille ou la découpe du matériau.

Figure 7 : pré-criblage dans une carrière de falun permettant d'éliminer une fraction 50/D. L'exploitant cherche à valoriser cette fraction pour d'autres usages que celui recherché pour les faluns utilisés comme sable pour remblai de tranché. L'étude de la résistance des blocs permettra d'orienter les solutions de valorisation

Etape ③ : après la première phase d'élaboration d'un granulat (concassage primaire) la fraction granulaire chargée en matières impropres (« fines » et « argiles ») est éliminée par passage sur un ou plusieurs cribles : on crée ainsi un stock de sous-produit 0/D de scalpage (en général 20 < D < 50 mm) ;

Etape ④ : au cours du processus global d'élaboration des granulats, on pourra distinguer plusieurs phases de concassage-criblage. Au cours de ces étapes, les sous-produits qui sont générés peuvent être liés :

- au lavage des granulats : l'eau est utilisée pour éliminer les particules fines argileuses. La gestion du cycle de l'eau nécessite ainsi de récupérer les boues de lavage soit dans des bassins crées à même le sol (figure 9) soit dans des cuves (figure 10).
- à la capture des poussières dans l'air (figure 8)

Figure 8 : exemple de panache de poussière généré par une installation de concassage criblage (photo LRPC Blois)

Etape ⑤ : Gestion des stocks : selon le contexte économique local, certains produits élaborés deviennent des sous-produits lorsqu'ils ne trouvent pas de débouchés. C'est le contexte local qui génère cette situation. Dans le cas des granulats, il est fréquent de trouver des stocks de sables secondaires ou tertiaires qui proviennent de l'élaboration de fractions granulaires de type 2/4mm, 4/6mm ou 0/6mm. Ainsi, les carrières de ballast (granulats spécifiques pour les voies ferrées) génèrent des sous-produits qui sont valorisés dans les structures routières. Les granulats pour la route génèrent eux-mêmes des sous-produits de type sables 0/2mm ou 0/6mm.

Au cours du processus d'extraction - élaboration des produits de carrière, des sous-produits sont générés, tous n'ayant pas la même importance quantitative ou qualitative. Ces sous-produits sont également extrêmement variables d'une carrière à une autre selon les processus de fabrication retenus (Figure 3) et selon la géologie de la carrière.

Les sous-produits obtenus dans une carrière sont décrits plus précisément ci-dessous. La circulaire du 22 août 2011 définit très précisément les sous-produits/déchets par typologie d'extraction, et les contraintes générées en phase de stockage ou en vue d'un réemploi.

Les matériaux de découverte ou mort-terrain

On peut rencontrer comme matériau de découverte :

- une couche de nature géologique différente de celle retenue pour l'exploitation (des argiles de couverture, une couche de sable …),
- des matériaux d'altération (arènes granitiques, calcaires fissurés argileux …) de la formation principale,
- des matériaux dont l'une des caractéristiques techniques ne permet pas leur utilisation (faciès exploité altéré ou fissuré, par exemple).

Il s'agit de dégager les couches géologiques situées en surface d'un terrain, pour accéder au gisement recherché par l'exploitant. Les terres de découvertes, quelquefois dénommées stériles ou mort-terrain sont considérées comme des « terres non polluées » et assimilée à des déchets inertes. Ces matériaux sont normalement destinés à la remise en état du site sans contrainte pour l'exploitant autre que son stockage en évitant toute pollution ou dégradation. La notion de fond géochimique est utilisée pour justifier ces préconisations, le réemploi sur site se faisant globalement sans « perturbation » majeure pour l'environnement, moyennant des précautions concernant l'hydraulique des eaux souterraines ou la phase de gestion des stocks préalablement au remblayage.

A titre d'information, une découverte de l'ordre de cinq mètres de hauteur peut générer, pour une carrière exploitant environ 500 000 tonnes de matériau, de 25 à 30 000 m^3 par an. Il s'agit donc de volumes importants. Une enquête réalisée par le L.R.P.C. de Lille (LRPC Lille, 1980)auprès de huit carrières a donné les ordres de grandeur suivant : en fonction des hauteurs de découverte, les carrières peuvent générer de 12 à 450 000 m^3 de mort-terrain par an ; les stocks disponibles dans le Nord (à l'époque de l'enquête, soit aux environs de 1980) s'échelonnaient de 2 500 m^3 à 6 000 000 m^3. En Lorraine, une estimation (LRPC Nancy) sur les stocks de stériles issus des carrières de calcaire exploitant pour les fours à chaux fait état de stocks de l'ordre de 5 millions de m^3.

Certains exploitants prennent le parti d'exploiter ou font exploiter de manière indépendante la découverte pour d'autres utilisations que celle visée par l'exploitation principale : c'est le cas par exemple de certaines cimenteries (Vernieres et Delaby, 1999).

Les sous-produits provenant de l'élaboration et du traitement des matériaux.

La fraction la moins bonne de la roche ou du sol extrait de la carrière doit être séparée du reste de la production, pour éviter ce que l'on appelle dans le jargon du métier toute « pollution » du matériau final par des matières argileuses (à ne pas confondre avec une pollution chimique ou autre…).

Pour les carrières destinées à la production de granulat, il pourra s'agir des matériaux de pré-criblage (ou aussi de scalpage) ou des boues de lavage, contenant assez souvent des floculants (Figure 9).

Figure 9 : exemple de bassin de décantation des eaux de lavage des gravillons (LR Blois)

Figure10 : cuve de traitement des eaux de lavage (LR Blois)

Pour les carrières exploitant de la pierre ornementale, il pourra s'agir de blocs présentant des défauts, des rebus de sciage ou encore des boues de lavage. Les résidus sont très souvent utilisés en carrière souterraine à même le sol, dans des zones qui ne sont plus exploitées réduisant ainsi l'espace de la cavité, ou derrière des murs en pierre pour combler des parties de la cavité (système des hagues et bourrage) (figure 11 et 12). Ces dispositions permettent de réduire le risque d'effondrement des cavités.

Figure 11 : les chutes de matériau lors de l'extraction de la pierre de taille en carrière souterraine sont stockées dans la cavité (LR Angers).

Figure 12 : le mur en moellon (hague) délimite une partie de cavité comblée par des chutes de matériaux lors de l'extraction (LR Blois).

Figure 13: stock de déchets inertes provenant dans une carrière de pierre de taille (à gauche). Pierre en attente (à droite). LR Blois

En ce qui concerne les matériaux de pré-criblage, la coupure est fonction du degré de « pollution » des matériaux. Le producteur de granulat cherche en effet à éliminer l'argile au cours de la chaîne d'élaboration. L'élimination s'effectue habituellement et suivant les conceptions des chaînes de traitement des granulats, sur des grilles permettant de cribler soit à 20 soit à 40 mm (scalpage). Parfois, en cas de pollution importante ou de conditions climatiques très défavorables (tout-venant très humide), elle peut s'effectuer à 60, 90 voire même à 150 mm (pré-criblage).
Notons que cette séparation s'opère systématiquement sur le tout-venant issu du premier étage de la carrière, à priori le plus « pollué » car le plus proche de la découverte. Elle devient rarissime pour les matériaux provenant des étages inférieurs.

Les excédents
Ce sont des produits finis, généralement conformes ou entrant dans le cadre défini par les normes d'emploi (routier notamment) mais qui ne trouvent pas de débouchés commerciaux dans les conditions du marché du moment. Ils finissent par former des stocks très importants.
Il est fréquent notamment de trouver des excédents de sables 0/2mm, 0/4mm ou 0/6mm dans les carrières.

Les sous-produits résultant de l'amélioration des conditions de travail
Ces sous-produits sont minoritaires quantitativement, et sont imposés soit pour des questions de protection de l'environnement soit pour des questions d'ordre sanitaire.
Les fines de dépoussiérage récupérées par des filtres spécifiques sont captées à proximité des stations de concassage. Cette opération permet l'envol d'ultra-fines et protège les salariés contre les risques de silicose principalement. Les ultra-fines sont véhiculées relativement loin de la carrière et entraîne une pollution visuelle lorsqu'elles se déposent.
Les eaux de lavage des granulats sont gérées à part car elles font souvent l'objet d'un recyclage. Ce recyclage permet de faire des économies de consommation d'eau. Les granulats sont lavés afin d'éliminer les particules fines et argileuses collées à la surface du matériau. Ces fines se retrouvent sous la forme de colloïdes dans l'eau de lavage. Le traitement des eaux de lavage vise à sédimenter les colloïdes dans des cuves ou des bassins. L'adjonction de floculant est quelque fois pratiquée pour augmenter la vitesse de sédimentation. Ces colloïdes s'accumulent sous forme de boue.

Dans les déchets autres de la carrière, certains ne sont pas visés par la présente rubrique. C'est le cas de la base-vie de la carrière ainsi que l'atelier mécanique qui génèrent des déchets particuliers (cf. document technique de l'Unicem (2008) Gestion des DÉCHETS INDUSTRIELS en CARRIÈRES - CONSEILS PRATIQUES).
Les eaux d'exhaure de la carrière véhiculent principalement les fines sur les zones de circulation. Elles entraînent également les particules présentes sur les pistes de circulation (pneumatique, frein, hydrocarbure…). La station de lavage des roues de camion présente dans certaine carrière, génère des déchets : l'eau est chargée en particules fines et autres résidus provenant de la roue des camions et parfois de produits « lavants ».

4. Caractéristiques physico-chimiques

Les sous-produits de carrière sont des matériaux naturels. Leurs caractéristiques physico-chimiques sont donc à rapprocher des caractéristiques géologiques des roches ou des sols desquels ils ont été extraits.
La circulaire du 22 août 2011 reprend très exactement les notions nécessaires permettant de distinguer les déchets dits inertes des autres catégories de déchet.
Sont considérés comme des déchets inertes, les sous-produits répondant, à court terme comme à long terme, à l'ensemble des critères suivants :
a) Les déchets ne sont susceptibles de subir aucune modification significative, notamment désintégration ou dissolution, de nature à produire des effets néfastes sur l'environnement ou la santé humaine ;
b) Les déchets présentent une teneur maximale en soufre sous forme de sulfure de 0,1 %, ou les déchets présentent une teneur maximale en soufre sous forme de sulfure de 1 % et le ratio de neutralisation, défini comme le rapport du potentiel de neutralisation au potentiel de génération d'acide et déterminé au moyen d'un essai statique NF EN 15875, est supérieur à 3 ;
c) Les déchets ne présentent aucun risque d'autocombustion et ne sont pas inflammables ;
d) La teneur des déchets, y compris celle des particules fines isolées, en substances potentiellement dangereuses pour l'environnement ou la santé humaine, et particulièrement en certains composés de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V et Zn, est suffisamment faible pour que le risque soit négligeable pour la santé humaine et pour l'environnement, tant à court terme qu'à long terme. Sont considérées à cet égard comme suffisamment faibles, pour que le risque soit négligeable pour la santé humaine et pour l'environnement, les teneurs ne dépassant pas les seuils fixés pour les sites considérés comme non pollués, ou les niveaux de fond naturels pertinents ;
e) Les déchets sont pratiquement exempts de produits, utilisés pour l'extraction ou pour le traitement, qui sont susceptibles de nuire à l'environnement ou à la santé humaine.

Cette circulaire permet de considérer comme inerte tous les sous-produits issus des industries extractives dès lors que l'exploitant apporte la preuve qu'ils répondent aux 5 critères cités ci-dessous. L'utilisation des tableaux figurant en annexe de la circulaire aide à préciser les définitions et les conditions d'interprétations (voir paragraphe sur les « caractéristiques environnementales »).
Ainsi, il convient notamment d'être vigilant pour des cas particuliers de matériaux issus de carrières situées à proximité de mines, là où des concentrations élevées en certains métaux ou minéraux peuvent générer des impacts une fois mis au contact de l'atmosphère (cf. rubrique « déchets miniers »). D'autres formations sont enrichies en minéraux formés en milieu réduit (pyrite…) qui évoluent ensuite par oxydation. Ces gisements sont facilement identifiés et localisés par consultation de la carte géologique et par la description géologique de la carrière.
Des travaux récents menés dans le sud de la France ont aussi attirés l'attention sur la capacité de certaines roches à libérer de l'amiante (cas des serpentines) ce qui conduit à des conditions d'utilisation très particulières. Néanmoins les exploitations de ces roches et matériaux ne s'effectuent plus tellement en métropole française. Il n'y a guère que les territoires d'outre-mer qui sont concernés par ces cas particuliers.
Enfin, il ne faut pas non plus exclure des actes de malveillance ou de mauvaise gestion sur le site même de la carrière : les stocks de sous-produits peuvent subir des pollutions anthropiques telles que des pollutions d'huiles ou d'hydrocarbure, des dépôts divers….

Le ruissellement sur des stocks constitués de matériaux érodables remet en suspension les fines. Ces fines sont le plus souvent stoppés sur le carreau de la carrière constitué de sols peu perméables, mais sans précaution, les colloïdes peuvent aussi migrer vers les nappes.

Dans la démarche de valorisation des sous-produits de carrière, il appartient au carrier donc de décrire très exactement l'origine géologique des matériaux extraits ainsi que l'historique des stocks. Cette étape est essentielle pour la bonne organisation du processus de valorisation et pour l'identification des risques éventuels sanitaires et environnementaux.

On signalera également que les étapes d'extraction, criblage/concassage, transport et stockage modifient les interactions physico-chimiques du matériau avec l'air et l'eau, pouvant aboutir à des impacts sur le milieu. Les conditions et la durée des stockages sont déterminantes dans le processus. On rappelle dans les paragraphes qui suivent quelques éléments liés à l'exploitation des matériaux ordinaires.

Extraits de la circulaire du 22 août 2011

EXPLOITATION DE CIMENT ET CARBONATES NATURELS
Pour l'industrie du ciment et des carbonates naturels, une attention particulière sera portée aux marnes pyriteuses. Dans ce cas, une analyse de calcimétrie, comparée à la teneur en soufre traduite en acide sulfurique, pourra être demandée à l'exploitant lors de la reconnaissance du site, afin de vérifier que le tamponnage naturel (à partir d'un taux de carbonates de 30 %) est suffisant pour prévenir tout drainage minier acide ou au moyen au moyen de la mise en place de l'essai statique NF EN 15875 « Caractérisation des déchets - Essai statique pour la détermination du potentiel de production acide et du potentiel de neutralisation des déchets sulfurés », pour une valeur du rapport de NP/AP supérieure 3.

EXPLOITATION DE CARRIERES POUR LA PRODUCTION DE GRANULATS ET DE MINERAUX INDUSTRIELS
Dans le cas d'exploitation de gisement dans des roches métamorphiques ou magmatiques et en présence de drainage minier acide, l'expérience montre que les boues issues du traitement des eaux d'exhaure peuvent présenter des concentrations importantes en substances métalliques. Ces boues ne peuvent être considérées, à priori, comme inertes en regard de leur évolution par exposition aux aléas climatiques. Elles doivent donc faire l'objet d'un stockage spécifique afin d'éviter toute dispersion de ces substances dans l'environnement. Les conditions de stockage devront notamment être détaillées dans le plan de gestion des déchets du site, tel que prévu, selon le cas au regard du critère d, par l'article 16 bis de l'arrêté du 22 septembre 1994 ou 5 de l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives. Les déchets contenant des pyrites pourront toutefois être considérés comme inertes s'ils sont compactés et/ou stockés dans des conditions les protégeant de toute oxydation (ex : immersion en bassins présentant toujours une tranche d'eau à leur surface limitant la diffusion de l'oxygène, il en est de même dans des galeries inondées). Ces dispositions doivent être inscrites au plan de gestion des déchets tel que prévu par l'article 16 bis de l'arrêté du 22 septembre 1994.

EXPLOITATION DE CARRIERES POUR LA PRODUCTION DE PLATRE
Les déchets qui contiennent du gypse et de l'anhydrite, ne sauraient être considérés à priori comme des déchets inertes, compte tenu de leur forte teneur en sulfate, qui les rend incompatibles avec le critère a de la décision du 30 avril 2009 précitée. Leur stockage doit donc faire l'objet d'une autorisation au titre de la rubrique 2720 des installations classées. Pour les déchets contenant du gypse et de l'anhydrite remis en remblaiement des masses de gypse et d'anhydrite, des adaptations aux dispositions de l'arrêté de 19 avril 2010 pourront être envisagées compte tenu de l'impact limité de cette pratique.

5. Caractéristiques géotechniques

5.1 - Produit brut

Il est très difficile de donner des caractéristiques géotechniques précises des sous-produits issus de carrière : en effet ceux-ci sont extrêmement variables du fait du processus de fabrication retenu par le carrier, et du contexte géologique de la carrière. Il est important de noter par ailleurs que les caractéristiques géotechniques d'un produit d'une même carrière peuvent également varier dans le temps (évolution des fronts de taille, exploitations différentes, changement dans la géologie…).

Découverte

La nature de la découverte varie énormément avec le contexte géologique. Dans le cas où ces matériaux seraient à valoriser, il sera utile de chercher les caractéristiques correspondant au classement selon la norme NF P11-300 lorsqu'il s'agit de sols (teneur en eau, courbe granulométrique, valeur au bleu des sols ou indice de plasticité, courbe Proctor Normal et Indice portant immédiat). Dans le cas de roches ou de matériaux très charpentés ou semi-rocheux, on s'orientera vers les critères de classement de la norme XP P 18-545 (granularité, propreté des sables ou valeur au bleu des fines, Los Angeles, Micro-Deval en présence d'eau). Cette norme valable sur le territoire français est d'application volontaire depuis le 1er juin 2004 tandis que les normes européennes sont d'application obligatoire. Certaines s'appliquent déjà comme par exemple la NF EN 13-043 « granulats pour mélanges bitumineux et enduits superficiels ».

Dans le cas de stocks déjà élaborés, la caractérisation recherchera également les critères d'homogénéité du gisement. Par exemple, pour des découvertes à dominante limoneuse, des identifications menées par le LR de Lille (enquête dans le cadre de la taxe parafiscale, 1980) ont montré qu'il s'agit essentiellement de sols de type A2-A3 au sens de la norme NF P 11-300, présentant un tamisat à 80µm $\geq$ 35%. Les teneurs en eau naturelles de l'ordre de 13 à 16% en moyenne.

Tout en conservant un fort pourcentage d'éléments fins, le D_{max} de ces matériaux augmente à l'approche d'un gisement de roche dure. Les matériaux sont alors à classer en C2 ou C1. Quelques valeurs issues de l'enquête du LR Lille sont données ci-après, mais il faut garder à l'esprit que les matériaux qui composent les découvertes sont aussi variés qu'il existe de formations géologiques. Il faut donc considérer les exemples d'identifications ci-dessous comme des indications qui ne peuvent pas être généralisées :

D_{max} = 2 à 125 mm
Passant à 80 µm = 9 à 100 %
IP = 8 à 29

Produit de pré-criblage ou de scalpage

Là encore, les caractéristiques de ces matériaux varient énormément selon la géologie et la conduite de l'exploitation. Dans le cas où ces matériaux seraient à valoriser, il sera utile de chercher les caractéristiques correspondant au classement de la norme XP P 18-545 (granularité, propreté des sables ou valeur au bleu des fines, Los Angeles, Micro-Deval humide…) ou éventuellement de la norme NF P11-300 (teneur en eau, courbe granulométrique, *valeur au bleu des sols*, courbe *Proctor* normal et indice portant immédiat, Los Angeles, Micro-Deval humide…).
Nous donnons ci-dessous quelques valeurs issues de l'enquête du LR Lille -enquête dans le cadre de la taxe parafiscale- (LRPC Lille,1980) :

Dmax = 25 à 100 mm
Passant à 80 µm = 5 à 30%
IP = 11 à 16
ES = 9 à 20.

Ils ont pour la plupart leur D_{max} compris entre 25 et 40 mm, avec un taux de fines (passant à 80µm) s'échelonnant entre 5 et 30 %. Ceci classe les matériaux selon leur caractère plus ou moins argileux et d'après la norme NF P 11-300, en B4, C1B4, C2B4, B6, C1B6, C2B6 ou plus rarement en D3.

L'UNICEM Nord Pas de Calais a également réalisé une enquête sur la nature des produits de scalpage des carrières de cette région. Dans ce document de synthèse, les produits de scalpage sont globalement classés B1 à B6 (en moyenne B5) selon la norme NF P 11-300 avec les caractéristiques suivantes :

Dmax compris entre 12 et 40 mm
Passant à 80 µm = 12 à 35 %
VBS < 1.5 g bleu/100g sol

Boues

Les caractéristiques à rechercher sont l'argilosité (indice de plasticité), les teneurs en eau des boues et les références de l'optimum Proctor Normal. Selon leur origine et surtout selon l'endroit de prélèvement dans le bassin de décantation, elles oscillent entre des matériaux de type A2 et B4 au sens de la norme NF P 11-300.
Au départ, les eaux sont chargées de matière en suspension (seuil minimal souvent situé à 20 mg/litre). Après un passage en bassins de décantation (décantation naturelle ou accélérée par l'utilisation de floculants), les boues en sortie sont encore très peu consistantes (150 à 500 g/l, et jusqu'à 750 g/l avec des floculants). Des possibilités de réduction du volume d'eau existent basées sur le principe de compression des boues (vis sans fin, filtres presses, filtres à bandes, centrifugation…).

Les produits à la sortie (800 à 1200 g/litre) peuvent être manipulés comme des boues épaisses ou des sables essorés. Il peut s'agir de boues très épaisses mais encore plastiques ou de petites mottes compactées selon le mode de traitement utilisé.

Quelques caractéristiques issues de l'enquête du LR Lille (dans le cadre de la taxe parafiscale, en 1980) :

Passant à 20µm = 15 à 80 %
Passant à 80µm = 100%
IP = 5 à 25
Matières organiques = 0 à 1,6%

Comme c'est le cas pour tous les sous-produits de carrière, l'inconvénient majeur pour la valorisation des boues est que l'on rassemble des produits très différents tant en granularité qu'en composition minéralogique sous le même vocable. Le tableau 1 récapitule les caractéristiques à rechercher pour les boues à valoriser et quelques valeurs fréquemment observées.

Eléments à renseigner	Commentaire
Nature minéralogique de la roche exploitée :	Alluvions siliceuses, calcaires ou silico-calcaires, sables argileux, calcaires, quartzites, granite, diorite, …
Nature minéralogique des argiles :	Illite, muscovite, kaolinite, montmorillonite, chlorite
Plasticité :	IP = 7 à 68 (sur 8 échantillons)
Granularité :	- D_{max} = 30 à 200 µm - Passant à 1µm = 1 à 12 %
Présence de floculants :	- Sans floculant - Avec floculant (basique, acide ou neutre) – de type polyacrylamide, ou acrylamide
Concentration :	150 à 1200 g/litre

Tableau 1: résumé de caractéristiques fréquemment observée sur des boues.

Fines de dépoussiérage

Les fines de dépoussiérages peuvent être de nature très variable selon la nature du gisement exploité. Dans le cas où ces matériaux seraient à valoriser, il sera utile de chercher les caractéristiques correspondant aux catégories des normes européennes NF EN 13 043 et NF EN 12 620 (granularité, valeur au bleu des fines, indice des vides de Rigden, variation de la température Bille anneau, écart type sur la surface spécifique Blaine) en vu d'un réemploi comme filler pour chaussée ou béton.

Quelques essais réalisés par le LR Clermont-Ferrand en 1987 (dans le cadre d'une recherche sur l'emploi des déchets de carrière en génie civil) sur des fines de dépoussiérage de la carrière de Nohanent située près de Clermont-Ferrand (LRPC Clermont-Ferrand, 1987)exploitant des basaltes ont donné des résultats d'essais suivants (tableau 2) :

Essais réalisés	Valeurs obtenues
Passant à 80µm	84 - 85%
Passant à 40µm	71,1%
Passant à 0,2 mm	98%
Indice des vides de Rigden (I.V.R.)	40%
Pouvoir absorbant (P.A.)	40
Pouvoir rigidifiant (T.B.A.)	15°
Essai au bleu	1,02 g bleu/100g fines
Essai de tenue à l'eau r/R	2,2/3,9 = 0,56
Surface spécifique Blaine	2650 - 2646 cm^2/g
Masse volumique à 20°C	2,81 g/cm^3
Densité apparente	1,47

Tableau 2 : mesures sur des fines de dépoussiérage issues d'une carrière exploitant des basaltes.

5.2- Produit élaboré

Á l'exception d'une utilisation en remblai, les sous-produits de carrière devront souvent subir une élaboration supplémentaire pour pouvoir être valorisés. Cette phase devra vérifier grâce à une étude adéquate, que le produit une fois élaboré répondra aux spécifications recherchées (voir paragraphe « utilisation dans les infrastructures routières »).
Dans le cas de matériaux peu connus, la réalisation de planche de références ou expérimentales pourra utilement compléter les valeurs mécaniques obtenues par l'étude, en précisant notamment les conditions de mises en œuvre, les difficultés rencontrées et les solutions apportées…

6. Caractéristiques environnementales

6.1 - Effets sur les écosystèmes des sous-produits de carrière

Dans le cas d'une durée de stockage suffisamment longue, et dans des conditions humides, des algues peuvent se développer en utilisant le carbone atmosphérique, le phosphate et le nitrate contenus dans l'eau. Sous les algues mortes, des bactéries dénitrifiantes trouvent également un milieu propice à leur développement. De la même manière, des bactéries sulfato-réductrices peuvent contribuer à faire diminuer le taux de sulfates et de phosphates.

Les déchets inertes dans des conditions de stockage de très longue durée sont rapidement colonisés par la faune et la flore. Des biotopes se recréent très facilement sur ces surfaces, même pentues.

Figure 14: exemple de talus colonisé naturellement par les végétaux (à gauche), nids d'hirondelles dans un ancien front d'exploitation de faluns (à droite)

6.2- Acceptabilité environnementale du matériau

La composition des déchets de carrières est liée au contexte géologique. Selon les enjeux environnementaux (présence de milieux sensibles, vulnérables), l'usage de matériaux présentant des compositions physico-chimiques différentes de celle de la zone de réemploi peut avoir un impact :

- L'utilisation de déchets inertes dans des zones humides type tourbière à pH acide, la mise en œuvre de matériaux pouvant modifier le pH à la fois du site et du matériau à l'interface, peut créer des conditions de mise en solution d'éléments solubles.
- La libération de certains éléments chimiques tels que le Fe qui peut ensuite se retrouver dans des cours d'eau sous forme colloïdale et entraîner le colmatage des fonds de rivières, des branchies des poissons, une pollution visuelle.
- En phase chantier, la libération des fines conduit aux mêmes problèmes que précédemment. Ces situations sont gérées dans le cadre du plan assurance environnement de l'entreprise et de l'application des prescriptions imposées par les études loi sur l'eau préalables à la Déclaration d'Utilité Publique d'un chantier et le maintien du bon état écologique des cours d'eau et nappes.
- Le traitement des déchets inertes par l'adjonction de liants (chaux, ciments, liants hydrauliques routiers, cendres volantes…) modifie le pH du matériau en le rendant fortement basique. Ces changements sont susceptibles de mettre en solution des éléments chimiques.

La circulaire du 22 août précise de manière très précise les impacts environnementaux visés par les déchets d'extractions :

Conditions de la circulaire du 22 août 2011 définissant les déchets inertes	Commentaires de la circulaire
« Les déchets ne sont susceptibles de subir aucune désintégration ou dissolution significative, ni aucune autre modification significative, de nature à produire des effets néfastes sur l'environnement ou la santé humaine. »	Les déchets susceptibles de se disperser dans l'eau en donnant des suspensions pouvant être nuisibles à la flore et la faune aquatique (ex : fines de dépoussiérage inertes pouvant générer des colloïdes, …) devront être stockés dans des conditions les protégeant de tout risque d'érosion ou de transport par ruissellement afin de ne pas charger le milieu environnant.

« Les déchets présentent une teneur maximale en soufre sous forme de sulfure de 0,1 %, ou les déchets présentent une teneur maximale en soufre sous forme de sulfure de 1 % et le ratio de neutralisation, défini comme le rapport du potentiel de neutralisation au potentiel de génération d'acide et déterminé au moyen d'un essai statique NF EN 15875, est supérieur à 3. »	Compte tenu de la faible teneur en sulfure des matériaux extraits, pour les roches magmatiques et métamorphiques, l'utilisation de l'essai normalisé peut poser des difficultés techniques, y compris pour vérifier le potentiel de neutralisation. L'évaluation du risque « sulfure » pourra s'effectuer, en substitution au test normalisé, par un autre essai du type « eau oxygénée » (essai de production acide net : Net Acid Production Test) ou « paste test » (essai dit de pâte), ou d'autres essais pouvant s'avérer pertinents, afin de déterminer le potentiel net de neutralisation. Pour les carrières existantes révélant un drainage rocheux acide, je vous demande d'utiliser le critère de décision suivant : si les eaux d'exhaure de la carrière ont un pH inférieur à 5,5 et une conductivité supérieure à 500 µS/cm, les déchets issus du traitement des eaux d'exhaure ne pourront pas être considérés à priori comme inertes. Ils devront être caractérisés (cf. critère d) et éventuellement, leur stockage relèvera de la rubrique 2720.
« Les déchets ne présentent aucun risque d'autocombustion et ne sont pas inflammables »	Les matériaux issus de l'exploitation des carrières ne sont a priori pas concernés.
« La teneur des déchets, y compris celle des particules fines isolées, en substances potentiellement dangereuses pour l'environnement ou la santé humaine, et particulièrement en certains composés de As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V et Zn, est suffisamment faible pour que le risque soit négligeable pour la santé humaine et pour l'environnement, tant à court terme qu'à long terme. Sont considérées à cet égard comme suffisamment faibles pour que le risque soit négligeable pour la santé humaine et pour l'environnement les teneurs ne dépassant pas les seuils fixés au niveau national pour les sites considérés comme non pollués, ou les niveaux de fond naturels nationaux pertinents. »	Les déchets qui ne donneraient pas lieu de par leur procédé de traitement ou de stockage à une augmentation du potentiel de solubilisation et de rejet dans l'environnement de substances potentiellement dangereuses peuvent être considérés inertes. Certaines exploitations sont situées dans des zones présentant des anomalies géochimiques avérées (minéralisation, altérations hydrothermales…). Dans la majorité des cas, les industriels évitent ce type de gisement pour des raisons de conformité de leurs produits à leur usage final. Pour les roches métamorphiques ou magmatiques dans les zones d'anomalies géochimiques précitées, la conformité au critère d sera vérifiée à l'appui d'une expertise géologique (dossier initial pour les exploitations existantes et volet spécifique de l'étude d'impact pour des exploitations sur de nouveaux sites) assortie d'une éventuelle caractérisation des déchets potentiels pour déterminer les teneurs en éléments traces. Elles seront comparées aux niveaux de fonds naturels établis dans les bases de données de l'INRA (teneurs en éléments traces dans les sols - gammes de valeurs ordinaires et d'anomalies naturelles - Denis Baize - RMQS et BDAT). En cas de dépassements des valeurs observées pour les anomalies naturelles, les installations de stockage de déchets, à la fois chargés en substances potentiellement dangereuses et en sulfures risquant de conduire à un drainage minier acide, peuvent alors nécessiter le classement en rubrique 2720.
« Les déchets sont pratiquement exempts de produits, utilisés pour l'extraction ou pour le traitement, qui sont susceptibles de nuire à l'environnement ou à la santé humaine. »	Pour les exploitants qui utilisent des floculants afin d'accélérer la précipitation des fines, il reviendra d'examiner dans le cadre de l'instruction du dossier si ces matériaux présentent des caractéristiques permettant de considérer qu'ils ne sont pas dangereux pour l'environnement et la santé humaine. Pour ce qui concerne les polyacrylamides, l'étude européenne

	sur l'évaluation des risques autour de l'acrylamide et ses composés de l'Institut pour la santé et la protection des consommateurs indique que les polyacrylamides ne se dégradent pas en acrylamide, substance cancérigène et mutagène. Il pourra être considéré que des déchets produits à partir d'un floculant présentant un taux d'acrylamide suffisamment faible (dans les polyacrylamides de base) peuvent être considérés inertes. Un taux inférieur à 0,1% de monomère résiduel dans le polyacrylamide sera jugé acceptable. Il conviendra que les exploitants justifient des caractéristiques du floculant utilisé sur la base des fiches de sécurité des fabricants. Pour les autres réactifs utilisés, les producteurs produiront une évaluation au cas par cas.

6.3 – Condition de fabrication et de mise en œuvre

Les sous-produits issus de carrière et qui ne sont pas réservés pour la réhabilitation de la carrière sont considérés comme des déchets inertes dès lors qu'ils respectent les 5 critères définis au paragraphe « caractéristiques physico-chimiques »

Les sols et roches naturels sont considérés *a priori*, comme inertes, car soit exempts d'éléments polluants, soit contenant des éléments polluants très peu solubilisables. Aucune caractéristique environnementale particulière n'est donc recherchée en routine pour ces produits.
Incorporés dans des infrastructures routières, ils ne présentent pas de risques sanitaires (indirects) suite à une pollution de l'eau et du sol, en particulier pour ce qui concerne les métaux et peuvent donc être valorisés en l'état, sans autre justification que leur nature géologique et sans obligation de suivi dans le temps du matériau au sein de l'ouvrage.
La circulaire du 22 août 2011 relatif à la définition des déchets inertes des industries extractives précise ces notions et les précautions à prendre par type de carrière. Les tableaux ci-dessous sont extraits de cette circulaire. Il suffit de faire référence à ces annexes et au code utilisé pour caractériser le type de sous-produit / déchet et prendre connaissance des restrictions propres à chaque sous-produit / déchet :

La profession s'est structurée et à produit un certain nombre de documents qui sensibilisent au développement durable en carrière. On pourra citer quelques éléments clés dans la démarche de la profession :

- Mise en place en 2004 de la Charte Environnement, démarche **volontaire et active** de la part des entreprises adhérentes à l'UNICEM qui s'engagent à se soumettre à des **audits réguliers** et à atteindre des objectifs déterminés dans un plan d'action.
    - **Catalogue des études de la Charte Environnement qui** présente une centaine d'études réalisées depuis 1992
    - https://www.unicem.fr/2015/10/14/en-un-clic-toutes-les-etudes-environnementales/
    - Publication de plusieurs plaquettes sensibilisant au problème de l'eau, du paysage, de l'environnement, la biodiversité…
- dans la collection hors série de la Société des Industries Minérales : Hors-série n° 1: Dossier triage, Dossier développement durable en carrière,

- dans la collection des ouvrages de la Société des Industries Minérales : Les Bonnes Pratiques environnementales dans l'industrie extractive
- **UNPG, 2011. « Carrières, poussières et environnement » guide paru dans** la collection "Les études de l'UNICEM - Impacts industriels", 90 pages
- **Gérer les déchets pour préserver l'environnement** Ce document synthétique a été établi par L'UNED, Union Nationale des Exploitants du Déchet, qui regroupe des entreprises intervenant dans la gestion des déchets inertes.

Exploitation de carrières pour la production de TUILES, BRIQUES, POTERIES…
Exploitation de carrières pour la production de CHAUX
Exploitation de carrières pour la production de CIMENTS
Exploitation de carrières pour la production de GRANULATS
Exploitation de carrières pour la production de PLATRE
Exploitation de carrières pour la production de CARBONATES NATURELS
Exploitation de carrières pour la production de ROCHES ORNEMENTALES ET DE CONSTRUCTION
Exploitation de carrières pour la production de MINERAUX INDUSTRIELS

6.4 – Suivi environnemental

6.4.1 - Transfert vers l'air

Les ultra-fines sont transportées par l'air, et parfois sur de longues distances, dans le cas de stockages ou transports en milieu sec et exposé aux vents. Cependant, les granulats sont généralement commercialisés sous forme de fractions granulaires, ce qui limite considérablement le phénomène potentiel d'envol de poussières. Plus précisément, les seuls envols susceptibles de se produire concernent les sables et graves au moment de leur fabrication ou du chargement sur le site de la carrière (ou du déchargement), phénomène atténué par la pluie ou par la mise en œuvre de dispositifs de rabattement de la poussière (arrosage, bâchage des camions, lavage des roues…). La mise en place de dispositif de capture des poussières (filtre, capotage des installations… figure 8 et 16) réduit considérablement le phénomène.

6.4.2 - Transfert vers l'eau

La majorité des études réalisées concernant le transfert dans l'eau concerne les particules fines avec en corollaire le colmatage du sol, les effets de barrières pour la bonne circulation des eaux souterraines.
Très peu de bibliographie est disponible sur le sujet des éléments chimiques. Une étude de l'ADEME, (ADEME, 1996), traite du comportement à la lixiviation de matériaux considérés comme inertes et de produits naturellement exposés à l'action de l'eau. Pour ces derniers, qui concernent les matériaux relatifs à différentes sortes de roches présentant ou non à l'état naturel des teneurs non nulles en éléments jugés toxiques, des essais de lixiviation ont été réalisés. Il s'agit de l'essai de lixiviation préconisé par l'ancienne norme NF X31-210, qui permet d'évaluer le potentiel polluant d'un déchet qui a été broyé préalablement à sa mise au contact de l'eau. Il en ressort que pour les différentes roches lixiviées, les fractions solubilisées sont de l'ordre de cent à mille fois plus faibles que les seuils fixés par les arrêtés de 1992, modifiés par ceux du 18/02/1994 pour l'admission des déchets ultimes stabilisés en centre de stockage.

Figure 15: dépôts de fines (à gauche) au pied d'un stock de blocs (à droite)

Des travaux de l'office international de l'eau (Berland, 1998) font état de *fines* facilement entraînées dans les eaux de ruissellement, provoquant une augmentation importante de la turbidité, c'est à dire de la teneur en matières en suspension. Des

éléments tels que le fer et le manganèse, contenus dans ces fines, se dissolvent aisément. En cas de contact avec l'oxygène de l'air, ils peuvent aussi précipiter sous forme d'oxydes, que l'on va ensuite retrouver, après adsorption, dans les sédiments des eaux de surface.
Les études les plus récentes ont été réalisées par le BRGM à la demande du ministère en charge de l'environnement en 2004 et 2008. La problématique des transferts dans l'eau y est clairement exposée.

En tout état de cause, la circulaire du 22 août 2011 préconise des règles de gestion des stocks de sous-produits de carrières contenant des fines, des ultra-fines, ainsi qu'aux stocks de roches ou de sols contenant des éléments solubles (gypse, sel, anhydrite, sulfures, métaux rares…).

7. Aspects sanitaires

Les sols et roches naturels sont considérés généralement comme inertes, car soit exempts d'éléments dangereux, soit contenant des éléments dangereux très peu solubilisables. Lorsqu'ils sont incorporés dans des infrastructures routières, ils ne présentent donc pas de risques sanitaires indirects suite à une exposition via l'eau et le sol, en particulier pour ce qui concerne les métaux lourds.

On notera par ailleurs qu'au niveau de leur composition physico-chimique, les seules caractéristiques susceptibles d'avoir des répercussions sur la santé sont essentiellement :

- les pourcentages de silice dans les poussières,
- la présence très rare de minéraux telles que l'amiante ou des minéraux radioactifs.

On peut signaler que la fabrication des granulats (installations classées surveillées par les DREAL), génère des quantités importantes de poussières (souvent siliceuses). Ces installations tendent de plus en plus à confiner cette nuisance par un capotage *ad hoc* (voir Figure 16) éventuellement en association avec un système de filtration de l'air ou de rabattement par pulvérisation d'eau (pour assurer la protection des travailleurs en application de la réglementation du travail) (Hors-série n° 3 de la collection de la sim : Guide de l'exploitant : empoussiérage, dépoussiérage)
.

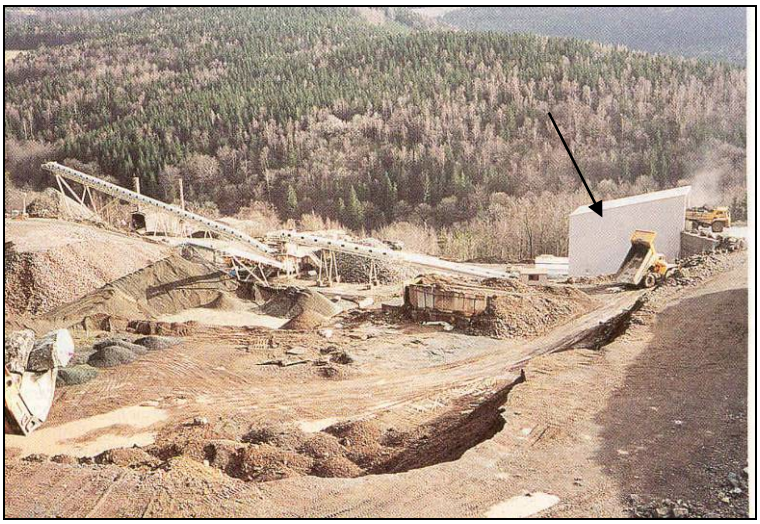

Figure 16 : exemple de dispositif de protection contre la poussière dans une installation de concassage criblage – à droite du capotage blanc, l'alimentation de la trémie par un camion (Photo de Mines&Carrières n°77)

Dans les carrières exploitant des granulats, ainsi que dans les chantiers de travaux publics ou de bâtiment, il n'est pas à ce jour signalé de cas de silicose, risque sanitaire sérieux concernant l'emploi de ces matériaux. Les salariés sont en général suivis pour ce risque sanitaire. Les carrières dégageant de la poussière siliceuse s'équipent de ventilations permettant la capture des poussières, équipement prévu dans le cadre de l'étude d'impact. Dans tous les autres cas de fines non siliceuses, les poussières peuvent constituer une gêne plus ou moins importante mais souvent de manière indirecte pour les riverains et pour l'environnement (dépôts de particules sur la végétation, matière en suspension dans l'eau).

En aval de la carrière, les eaux de lavage de carrière sont traitées, voire recyclées dans l'installation, de sorte que le pH de l'eau qui est rejetée dans le réseau de surface ne soit pas préjudiciable à l'environnement.

8. Usages

8.1 - Utilisation en terrassements

Les sous-produits de carrière sont couramment utilisés en infrastructures dans les domaines suivants :

- remblais de grande masse, remblais contigus aux Ouvrages d'Art (OA), remblais de tranchées d'assainissement
- couches de forme traitée ou non traitée,
- sols, sables ou graves traitées pour assise de chaussée (couche de fondation et plus rarement couche de base).

Les sous-produits de carrière, élaborés ou non, peuvent être très facilement valorisés en technique routière comme présentés ci-dessous

- Utilisation en **remblai** : le matériau devra être classé selon la norme NF P 11-300 en tenant compte des états hydriques du matériau, et les consignes

de compactages seront établies en référence au GTR. L'hétérogénéité du stock sera caractérisée afin de définir les conditions d'emploi les plus générales.

- Utilisation en **remblai contigu à un ouvrage d'art** : le matériau devra être classé selon la norme NF P 11-300 en tenant compte des états hydriques du matériau, et on vérifiera que le matériau est insensible à l'eau et au gel, ne présente pas de risque d'évolution et dispose d'un angle de frottement compatible avec le dimensionnement de l'ouvrage d'art contigu. Il faut cependant prendre en compte que le caractère drainant n'est pas systématique. Il faudra donc mettre en place un parement drainant (ou géotextile drainant) contre l'OA. Certains matériaux peuvent aussi entrer dans les spécifications de remblai en Terre Armée (granulométrie, angle de frottement, teneur en sulfate, pH…)
- Utilisation en **remblai d'assainissement** : le matériau sera classé selon la norme NF P 11-300 en tenant compte des états hydriques du matériau, et les consignes de compactages seront établies en référence au guide remblayage des tranchées.
- Utilisation en **remblai liquide ou remblai autocompactant** : ces pistes sont rarement exploitées comme possibilité de valorisation mais sont tout à fait envisageables. On pourra se référer au guide du CERTU sur les remblais autocompactants ainsi qu'au rapport de recherche sur « le remblayage hydraulique des tranchées d'assainissement » (Havard, 1987),
- Utilisation en couche de forme : le matériau sera classé selon la norme NF P 11-300 puis orienté selon les conditions d'utilisation définies dans le GTR 92. Les études pour matériau traité seront menées selon les recommandations du GTS et la norme NF P 94-102-2.

- Utilisation en purges : certains matériaux de découvertes, généralement peu sensibles à l'eau et avec des caractéristiques pérennes peuvent être valorisés en remblai de purges.

8.2 - Utilisation en couches de chaussées

L'emploi des sous-produits de carrière en couche de chaussée est très rare. En effet, cela suppose que le matériau soit identifié comme suffisamment homogène en vue d'une utilisation particulière et qu'il soit ensuite stocké en vue de son élaboration finale.

- Utilisation en **couche de fondation** ou éventuellement de base : le matériau sera classé selon la norme XP P 18-545 et les normes relatives aux domaines d'emploi comme celles relatives aux sables traités ou aux graves traitées aux liants hydrauliques (pour les matériaux entrant dans les spécifications de ces normes). Pour les matériaux n'entrant pas dans ces spécifications (matériaux hors-normes), il pourra être utilement fait référence aux guides techniques régionaux dans lesquels des cas de dérogations aux normes sont, sous certaines conditions, validés par des chantiers expérimentaux.

8.3 - Autres utilisations

On pourra également citer les domaines d'emplois annexes suivants : les accotements, les matériaux pour trottoirs, les chemins forestiers, l'étanchéïfication de bassin par les boues ou des argiles de découverte…. Il existe d'autres « niches » d'opportunité tel que le comblement de cavités souterraines, les remblais de tranchées.
Il convient également de préciser que les déchets inertes peuvent faire l'objet de traitement à la chaux et/ou aux liants hydrauliques ce qui permet d'apporter des améliorations des caractéristiques mécaniques au matériau de départ (rigidification, insensibilité à l'eau…).
Accotement et trottoirs : en général ce sont des matériaux insensibles au gonflement au gel qui sont recherchés, avec des granulométries limitées à 31,5mm voire 50mm en Dmax.
Chemins forestiers (figure 17) : les matériaux avec une certaine argilosité sont appréciés (ES < 35) car les fines permettent de bien fermées les surfaces. En présence de carbonates, il se forme ensuite une « croûte » qui améliore la traficabilité des véhicules légers. Les produits de scalpage sont très recherchés pour ces emplois.

Figure 17 : chemin forestier en produit de scalpage traité à la chaux, ici recouvert d'un enduit de cure

Etanchéification de bassins : les argiles classées A3 ou A4 sont très recherchées pour imperméabiliser des fossés ou des bassins de lagunage, des bassins de rétention d'eau. Des techniques de compactage particulières sont pratiquées pour faciliter leur mise en œuvre et rechercher une perméabilité la plus faible possible. Ces argiles peuvent provenir des bassins de décantation des eaux de lavage (sans ajout de floculant, ou pour des floculants sans impact pour l'environnement) ou des découvertes.
Comblement de cavité (figure 18) : le principe généralement recherché est de réduire le volume de la cavité par apport de matériau. Selon la « fluidité » du matériau, celui-ci peut être utilisé dans son état naturel pour du comblement gravitaire. Si la « fluidité » n'est pas suffisante ou si le taux de remplissage doit être important, de l'eau ou du coulis peut être ajouté pour améliorer le taux de remplissage. La connaissance de l'angle de frottement du matériau naturel peut aider à définir si des

ajouts d'eau ou de coulis sont nécessaires. Tous les déchets inertes de carrières peuvent convenir pour ces utilisations, avec leurs avantages et inconvénients. La taille du trou d'injection et le taux de remplissage recherché sont en général les deux critères qui permettront de choisir les matériaux qui conviendront. Pour des facilités de circulation via des pompes d'injection, ce sont des sables propres qui seront en général privilégiés.

Figure 18 : cône de comblement d'une cavité avec du gravillon enrichi en ciment.

9. Référence bibliographiques

9.1 - Publications

- Berland J-M., 1998. « Impact sur l'environnement de l'extraction des granulats ». Office international de l'eau, juin 1998, 21 p.

- Boisseuil J.L., Arquié G., 1970. « Les terrassements dans la préparation des granulats », Fascicule VIII les granulats – Traité théorique et pratique – 30 pages – Compagnie Française d'Editions.

- Cuney M., Le Cloirec P., Ollivier J., 1996. « Comportement à la lixiviation de matériaux considérés comme inertes et de produits naturellement exposés à l'action de l'eau ». (Ed)ADEME, France, réf 2641, 24 p.

- Gourdon M-J., 1981. « Etude d'impact des carrières : les poussières » - Carrières et Matériaux n°190 de janvier-février.

- Havard H, 1987. « Mise en œuvre de remblais hydraulique : Application aux constructions routières », Rapport de recherche LCPC. (ED) LCPC, 103 p.

- Mines et Carrière, 1995. « Filtration » - dossier technique du vol. 77 de juillet 1995.

- Mines et Carrière, 1995. « L'exploitation dans son environnement » - dossier technique du vol. 76 de juin 1995.

- Sevagen A., 1999. « Carrière d'argile en milieu rural », Mines et carrières, vol.81, juin 1999, pp 54-56.

- UNICEM Nord de Calais, 2004. « Les scalpages traités », 13 p.

- Vernières R., Delaby M., 1999. « GSM Beaucaire : du granulat dans une carrière de cimenterie », Mines et carrières vol.81, juin 1999, pp 18-22.

- BRGM, 2008. « évaluation des impacts environnementaux des carrières : avancement des travaux, synthèse 2005-2007 » BRGM/RP-56126-FR

- BRGM, 2004. « document d'orientation sur les risques sanitaires liés aux carrières – réflexions sur les composantes sources de dangers et transferts dans les études d'impact, rapport final » BRGM/RP-53246-FR

9.2 - Documents techniques

- CFTR, 2004. « Validation des guides techniques régionaux », CFTR, Note info n°9.

- Gand G, Vecoven J, 1986 « Emploi en génie civil des déchets de carrière », L.R.P.C. Autun, France, dossier F.A.E.R. 1.36.25.3., 20p.

- L.R.P.C. Clermont-ferrand, 1987. « Emploi en génie civil de déchets de carrière » F.A.E.R. 1.36.25.5 – n°dossier 63/85/0643.

- L.R.P.C. Lille, 1980. « Etude de valorisation de déchets résultants des exploitations de carrière », Comité de gestion de la taxe parafiscale sur les granulats.

- L.R.P.C. Autun, 1989. « Utilisation optimale de la production des carrières » ……

- SIM (2008) Le recyclage volume 1 – édition Société de l'Industrie Minérale
- SIM (2011) Le recyclage volume 2 – édition Société de l'Industrie Minérale

9.3 - Autres sources documentaires

De très nombreux ouvrages, revues et documents techniques sont édités par la profession. Ils sont accessibles via les sites internet de la SIM (Société de l'Industrie Minérale), l'UNICEM (union nationale des industries de carrières et matériaux de construction), l'UNPG (union nationale des producteurs de granulats)

http://www.unicem.fr/portrait-des-carrieres-un-univers-etonnant-a-decouvrir/
http://www.lasim.org

http://www.unicem.fr
http://ineris.fr/aida/

10. Auteurs et relecteurs

Auteurs OFRIR1	Yasmina Boussafir (LRPC Blois)
Relecture d'experts OFRIR1	Jean-Claude Auriol (LCPC), Yves Brosseaud (LCPC), François de Larrard (LCPC), Jérémie Domas (INERIS), Guillaume Gay (INERIS), Agnès Jullien (LCPC), Vincent Lédée (LCPC), Michel Legret (LCPC), Patrice Piantone (BRGM),
Relecture comité de pilotage	Daniel Berrebi (FNTP/USIRF), Laurent Château (ADEME), Pierre Dupont (SETRA), Pierre Lemesle (FNTP), Frédéric Leray (Ministère de l'environnement), Alain Millotte (ADP), Jean- Jacques Vecoven (UNPG/HOLCIM),
Auteurs OFRIR2	Yasmina Boussafir (IFSTTAR)
Relecture d'experts OFRIR2	Céline Chouteau (CETE Nord-Picardie), Guillaume Gay (INERIS), Catherine Neel (CETE Lyon)
Relecture bureau	Laurent Château (ADEME), Agnès Jullien (IFSTTAR)
Date de mise en ligne, version finale	4 avril 2013