

Réaménagement des carrières et maîtrise des risques environnementaux de l'industrie des granulats

Deux occasions de créer de nouvelles richesses

Zahoua BEN ABDESSELAM
Ingénieur géologue
Agence nationale des autoroutes
Algérie

Alain MALDONADO
Directeur de recherche
Chargé de mission
auprès du chef de division MSGI
Laboratoire central des Ponts et Chaussées

RÉSUMÉ

Le granulat est le matériau le plus consommé après l'eau. Il est presque essentiellement utilisé dans les constructions du génie civil. Comment les entreprises de ce secteur d'activité se sont-elles appropriées les concepts se rapportant à la prise en compte de l'environnement ? Cet article fait le point sur les réponses apportées par les entreprises devant la transformation du paysage législatif.

Quelles dispositions convient-il de prendre encore pour favoriser cette transformation amorcée de tout un secteur d'activité qui, malheureusement pour le corps social, ne fait pas toujours la preuve de la maîtrise de son processus industriel et qui se retrouve finalement à tort ou à raison mis au banc des entreprises à risques et polluantes ?

Ce document a pour cible les ingénieurs qui souhaitent participer ou contribuer avec la maîtrise d'ouvrage locale à l'élaboration d'une politique de la ressource en granulats soucieuse de la qualité et de l'environnement et destinée aux travaux de génie civil.

- Il informe le lecteur qui entre dans ce domaine d'activité et qui n'a pas toujours été informé de l'évolution de la réglementation qui s'applique aux exploitations de granulats et qu'il convient de respecter.
- Il rapporte des observations effectuées sur la réponse des entreprises confrontées à un environnement réglementaire en pleine mutation.
- Il attire finalement l'attention du lecteur sur la problématique de cette ressource importante pour le génie civil et les travaux publics.

MOTS CLÉS : 15-36 - Granulat - Carrière - Extraction - Pollution - Législation - Prévention - Réaménagement (site) - Environnement - Entreprise.

Introduction

Les matériaux extraits des carrières deviennent, après un traitement mécanique plus ou moins complexe, des granulats. Ces granulats sont en volume le constituant essentiel des ouvrages des travaux publics et du bâtiment. Ils constituent en fait, après l'eau, le matériau le plus consommé au monde. L'activité extractive conserve encore aujourd'hui une place importante au regard des quantités de volumes de granulats à produire. D'après les statistiques de l'Union nationale des producteurs de granulats (UNPG), la consommation annuelle de granulats en France est passée de 50 Mt en 1950, à près de 400 Mt en 1991. Elle atteint en 1999 environ 350 millions de tonnes.

Pour donner des ordres de grandeur :

- un kilomètre d'autoroute nécessite entre 20 000 à 30 000 t de granulats ;
- un kilomètre de ligne de train à grande vitesse (TGV) nécessite 9 000 t de granulats ;
- un logement ou un bureau en consomme de 100 à 300 tonnes ;
- enfin 1 m³ de béton hydraulique **comporte** en moyenne 1,9 t de granulats.

La réglementation, qui s'exerçait essentiellement sur les aspects qualitatifs de la production il y a quelques années, se focalise actuellement beaucoup plus sur le management de l'entreprise et sa façon de respecter l'environnement. *In fine*, l'image de l'entreprise est-elle « verte » ? Suivant la réponse donnée à cette question, la survie à moyen terme de certaines entreprises pourrait être remise en cause. Le corps social n'accepte pas le risque environnemental et réagit d'autant plus vivement qu'il

est d'origine industrielle. Il souhaite que soient mis en application les principes de prévention et de précaution, mais des études sont encore nécessaires pour déterminer et évaluer les conséquences ou les coûts d'une telle volonté.

La présente étude s'adresse aux ingénieurs du réseau des laboratoires des Ponts et Chaussées (LPC), des entreprises mais aussi aux maîtres d'œuvre qui souhaitent participer ou contribuer à l'élaboration d'une politique des granulats destinés aux travaux de génie civil. L'article vise, d'une part, à informer le lecteur novice sur l'évolution de la réglementation applicable à l'exploitation des granulats et, d'autre part, à rapporter des observations effectuées sur la façon dont certaines entreprises répondent à cette évolution de la réglementation.

Le lecteur sera ensuite invité à analyser ces réponses. Sont-elles adaptées ? Répondent-elles aux problèmes posés ? Est-il possible de disposer de référents pour établir une stratégie d'exploitation rassurante ? Que faudrait-il faire pour satisfaire d'éventuels besoins ?

La consommation de granulats

Définition et origines des granulats

Le granulat est défini, dans la norme NF P 18-540 d'octobre 1997, comme un ensemble de grains minéraux de dimensions comprises entre 0 et 125 mm. Il est utilisé à l'état brut pour réaliser le ballast des voies ferrées et les assises routières, pour combler les tranchées de voirie et celles des réseaux divers. Il peut être utilisé avec un liant (ciment, bitume, laitier) pour constituer des bétons. Suivant la dimension des particules qui le constituent, on distingue les familles de granulats suivantes :

- > les fines 0/D avec $D < 2$ mm, avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm,
- > les sablons 0/D avec $D \leq 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm,
- > les sables 0/D avec $1 < D \leq 6,3$ mm,
- > les graves 0/D avec $D > 6,3$ mm,
- > les gravillons d/D avec $d \geq 1$ mm et $D \leq 125$ mm,
- > les ballasts d/D avec $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm.

Par leur formation, leur nature pétrographique et les techniques de production mises en œuvre, les granulats présentent des caractéristiques très différentes. Les granulats peuvent en effet être obtenus à partir :

- **de l'exploitation de dépôts meubles** tels que les gisements alluvionnaires (fig. 1) qui se présentent à l'extraction sous forme de sables, de graviers et de cailloux. En fonction de la situation du gisement, l'exploitation se fera à sec ou dans l'eau. Les granulats alluvionnaires ont généralement de bonnes caractéristiques mécaniques Los Angeles (résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de granulats) et micro-deval (résistance à l'usure par frottement entre les granulats et une charge abrasive)



Fig. 1 - Extraction en présence d'eau, par dragline.

en présence d'eau. Ils sont à l'origine des deux tiers de la production française. Le coût de leur fabrication est généralement inférieur à celui des granulats issus des roches massives du fait de leur nature de dépôt détritique non consolidé. Ils ne nécessitent pas, sauf dans certains cas exceptionnels, d'abattage et de traitements mécaniques primaires des blocs. Les matériaux alluvionnaires sont préférentiellement utilisés pour la confection des mortiers et des bétons hydrauliques compte tenu de leur forme arrondie et des facilités d'approvisionnement des centres urbains, offertes dans certains cas, par les voies d'eau. Mais, d'autres dépôts meubles sont également susceptibles d'être utilisés pour obtenir des granulats. Il s'agit par exemple des arènes, des moraines et des éboulis ;

- **de l'exploitation de roches massives.** Une distinction est faite entre les roches éruptives (granites, basaltes, diorites, quartzites) et les roches massives sédimentaires gréseuses ou calcaires du jurassique ou d'origines lacustres. En effet, non seulement ces roches présentent des propriétés mécaniques différentes mais elles nécessitent des équipements spécifiques lors de leur traitement ultérieur. Lorsque le granulat est obtenu à partir de roches massives, un abattage à l'aide de tirs successifs à l'explosif et un traitement mécanique lourd (concassage, criblage, lavage) sont indispensables.

L'exploitation (usine de traitement et fronts de taille) peut être implantée en plaine, sur un plateau ou en montagne. En fonction de la position du niveau d'exploitation utile, l'exploitation s'effectue à flanc de coteau ou en fosse (fig. 2 et 3). Les granulats issus de roches massives sont préférentiellement utilisés pour les travaux de viabilité. Ils bénéficient généralement d'un important coefficient de frottement inter-granulaire ou avec le pneumatique des véhicules.

L'implantation des exploitations est conditionnée avant tout par la géologie, la qualité du gisement (qualité intrinsèque des matériaux), sa puissance et le volume de découverte. Ces données conditionnent la rentabilité de l'exploitation. La maîtrise du sol a également une grande importance. Enfin, la localisation à proximité des centres de consommation est déterminante en termes de coûts car il est généralement admis



Fig. 2 - Extraction en fosse.

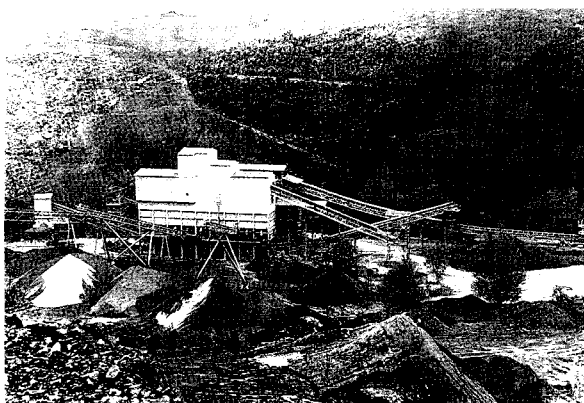


Fig. 3 - Exploitation à flanc de coteau.

qu'un déplacement de quarante kilomètres par route double le prix du granulat.

Tous les pays européens n'ont pas les mêmes ressources à exploiter. Les cartes géologiques en témoignent. En France, les ressources potentiellement utilisables à partir desquelles il est possible d'élaborer des granulats sont abondantes et variées. Pour résumer, elles proviennent essentiellement :

- des matériaux alluvionnaires très hétérogènes (calcaires, silico-calcaires, siliceux) exploités essentiellement dans les terrasses alluviales (Seine, Loire, Rhin, Moselle, Garonne, Aube, Doubs, Rhône, et Saône),
- des roches sédimentaires (calcaires et grès) affleurant dans les bassins sédimentaires, le bassin de Paris (calcaire lacustre, calcaire de Beauce, calcaire de Brie),

le bassin d'Aquitaine et les chaînes de montagne récentes comme les Pyrénées, les Alpes, le Jura,

- des roches magmatiques et métamorphiques qui sont exploitées dans les massifs anciens tels que le Massif armoricain, les Ardennes, les Vosges et le Massif Central.

Évolution de la consommation

Le tableau I (données UNPG) montre l'évolution de la production annuelle française, en millions de tonnes. Une légère baisse de cette production a été enregistrée depuis 1993. Pour certaines régions, cette évolution n'est pas uniquement imputable (aux dires des professionnels) à l'évolution de l'activité du secteur BTP : Elle est aussi le résultat de l'accroissement des contraintes d'exploitation en termes de réglementations techniques, environnementales et financières.

En 1998, la France a consommé environ 350 millions de tonnes de granulats, c'est-à-dire environ 6 tonnes par an et par habitant et un million de tonnes par jour. L'activité « granulat » génère un chiffre d'affaire hors taxes (HT) de 14 milliards de francs. Elle mobilise directement environ 15 000 personnes et compte environ 1 500 exploitations d'inégale importance. Dix groupes sont à l'origine de 50 % de la production nationale.

Le prix de revient d'une tonne de granulats se répartit suivant des charges fixes et des charges proportionnelles à l'activité de production. Pour s'adapter à une demande fluctuante et limiter les charges fixes, les entreprises ont depuis quelques années progressivement confié à des entreprises extérieures la réalisation d'un certain nombre de fonctions.

La mise en place de la réglementation se rapportant à l'environnement a eu des effets sur le coût des granulats. En effet, il a fallu prendre en compte :

- des charges imputables à l'exploitant et occasionnées par la présence de fouilles archéologiques, et par la remise en état des lieux,
- la surenchère du prix du terrain,
- la modification du marché, devenu plus compétitif,
- l'augmentation du coût des transports.

Le prix hors taxes de la tonne au départ de la carrière est en moyenne de 35,30 F pour les granulats calcaires issus de roches massives, de 43,50 F pour les granulats alluvionnaires et de 49,33 F pour les granulats d'origine éruptive.

TABLEAU I
Évolution de la production des granulats en France (données UNPG)

Matériaux	1970	1985	1990	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Alluvionnaires (Mt)	198	178	219	178	186	181	163	165	168
Roches calcaires (Mt)	30	55	87	77	88	90	84	89	92
Roches éruptives (Mt)	48	64	89	90	94	97	90	93	98
Total (Mt)	276	297	395	345	368	368	337	347	358

Les évolutions de la réglementation française

La réglementation relative aux carrières a fortement évolué depuis une trentaine d'années pour inciter les exploitants de carrières à prendre en compte, dès le début du projet d'exploitation, toutes les mesures nécessaires pour :

- mieux valoriser les ressources naturelles et assurer ainsi une gestion rationnelle et optimale des matériaux,
- assurer la protection de l'environnement.

Les grandes étapes de l'évolution de la législation française peuvent se résumer comme suit.

Avant 1970

Avant 1970, la gestion des carrières était régie par la **loi du 21 avril 1810** se rapportant à la réglementation minière. Pour procéder à l'ouverture d'une carrière, il suffisait de soumettre une déclaration à la commune afin de l'informer de l'existence de la carrière. Ceci permettait à l'Administration d'exercer un contrôle sur la sécurité des travailleurs et du public. La dégradation du paysage, les pollutions, l'impact de la carrière sur la qualité des eaux importaient peu et rares étaient les entreprises qui s'en préoccupaient.

À partir de 1970

- La **loi du 2 janvier 1970**, modifiant le code minier, instaure, pour exploiter une carrière, l'obligation d'obtenir une autorisation préalable délivrée par le Préfet. La procédure d'autorisation s'est substituée à la simple déclaration. Elle implique l'existence d'un dossier constitué par l'exploitant. Cette autorisation peut être refusée si l'exploitation n'est pas conforme à une disposition d'intérêt général.
- Le **décret n° 71-792 du 20 septembre 1971** introduit, pour la première fois, la prise en compte de préoccupations environnementales dans la législation. L'exploitant est maintenant tenu de présenter un plan de remise en état des lieux après exploitation.
- La **loi du 19 juillet 1976**, relative à la protection de l'environnement, instaure l'obligation d'effectuer des études d'impact et de constituer des garanties financières destinées à assurer la remise en état des lieux après exploitation. Cette loi prévoit également l'élaboration d'un schéma départemental des carrières, qui a pour but de définir les conditions générales d'implantation des carrières. Elle est à l'origine de la création des commissions départementales des carrières, composées essentiellement de représentants de l'Administration.
- La **loi du 20 décembre 1979** détaille les procédures à suivre pour obtenir les autorisations de mise en exploitation des carrières, les renouvellements d'exploitation et les extensions. Les demandes d'autorisation pour les carrières portant sur une superficie de plus de 5 ha ou ayant une production annuelle projetée supérieure à

150 000 t sont soumises à une étude d'impact et à une enquête publique d'un mois. Ceci permet d'intéresser et d'associer l'ensemble des populations concernées. Pour les autres carrières, moins importantes, il suffisait encore de réaliser une simple notice d'impact.

Cette loi a été également marquée par le souci de développer la concertation autour de l'activité économique représentée par les carrières. Elle institue également les Zones d'exploitation et de réaménagement coordonnés des carrières (ZERC), qui peuvent être créées pour assurer la coordination nécessaire de l'exploitation et de la remise en état des sites, sans s'opposer à la satisfaction des besoins économiques.

À partir de 1992

- La prise en compte, dans tous les projets d'installation, des aspects économiques (adéquation de l'offre et de la demande) et environnementaux a été renforcée. Des modifications importantes ont lieu entre 1992 et 1996 avec la **loi sur l'eau du 3 janvier 1992** et la **loi sur les carrières de janvier 1993**.
 - La **loi sur l'eau** est à l'origine de la création :
 - des Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE), qui fixent, pour chaque bassin ou groupe de bassins, les orientations fondamentales d'une gestion qualitative et quantitative équilibrée de la ressource en eau ;
 - des Schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE), qui fixent les objectifs généraux d'utilisation, de mise en valeur et de protection des ressources en eau et des écosystèmes aquatiques ainsi que la préservation des zones humides.
 - La **loi n° 9-3 du 4 janvier 1993**, et les décrets d'applications de juin et juillet 1994. Cette loi est particulièrement importante pour les exploitants de carrières, car elle opère le transfert des carrières du code minier à la législation des installations classées sous le contrôle du ministère de l'environnement. L'objectif de cette loi est de concilier les impératifs de la protection de l'environnement et les nécessités de la production des matériaux.
 - Le **décret du 9 juin 1994** instaure la généralisation de la demande d'autorisation et l'obligation de la réalisation des études d'impact. Une enquête publique concernant un rayon de 3 km autour de toutes les exploitations est obligatoire. Contrairement à l'application du code minier, dans lequel l'autorisation ne peut être refusée que si l'exploitation est susceptible de faire obstacle à l'application d'une disposition d'intérêt général, dans le cas des installations classées, l'autorisation ne peut être accordée qu'à la condition que puissent être prévenus les dangers et les nuisances. La durée de l'autorisation d'exploitation ne peut excéder trente ans.
- Notons, par ailleurs, que la Commission départementale des carrières a fait dernièrement l'objet d'une modification. Un décret fixe sa composition : elle est prési-

dée par le Préfet et constituée de membres représentant des services administratifs (DRIRE*, DIREN**, DDE***), les élus locaux, la profession (carrières et utilisateurs), les associations de protection de l'environnement et les représentants de la profession agricole. Son rôle est de définir les conditions d'implantation des carrières dans le département et d'examiner les demandes d'autorisation.

Par principe, l'élaboration d'un Schéma départemental des carrières (SDC) a pour but de présenter la synthèse d'une réflexion portant sur l'intérêt économique national, la politique des matériaux du département et sur les impacts de l'activité sur l'environnement. Ce schéma énonce les grandes orientations et obligations qui découlent à la fois de la réglementation et de la concertation. Elles portent en particulier sur les zones sensibles, pour lesquelles le principe général est d'interdire toute exploitation. Elles concernent la prise en compte de certaines contraintes dans des zones particulières et les modalités d'exploitation en termes d'impacts liés au transport et à des aménagements spécifiques. Le SDC est accompagné d'une cartographie au 1/100 000. Les schémas se rapportant aux SAGE et SDAGE doivent être compatibles avec les orientations qui se trouvent dans les schémas directeurs des carrières.

• **L'arrêté ministériel de 22 septembre 1994** contient entre autres les règles techniques applicables aux carrières et aux installations de traitement des matériaux de carrières. Il définit un certain nombre d'obligations auxquelles doivent satisfaire les exploitants, telles que :

- la technique de décapage applicable aux stériles, qui doit être réalisée de façon à ne pas mêler les terres végétales constituant l'horizon humifère ;
- le remblayage des carrières, qui ne doit pas nuire à la qualité et au bon écoulement des eaux. La vérification du caractère inerte des matériaux importés est obligatoire.

En ce qui concerne l'extraction, il est interdit d'effectuer toute extraction dans les lits mineurs des cours d'eau ainsi que dans les plans d'eau traversés par un cours d'eau. Il est interdit également de faire des rabattements de nappes et de faire obstacle à l'écoulement des eaux superficielles. Cet arrêté fixe également la distance séparant les limites de l'extraction du lit mineur des cours d'eau : elle doit être supérieure à 35 m pour un cours d'eau ayant un lit mineur d'au moins 7,5 m de largeur.

Concernant la pollution des eaux, l'arrêté fixe des seuils (teneur en MES < 35 mg/l, Ph compris entre 5,5 à 8,5, T < 30 °C, DCO < 125 mg/l et concentration en hydrocarbure < 10 mg/l) en termes de rejets pour les eaux de lavage. L'exploitant doit prendre toutes les dispositions nécessaires pour éviter l'émission et la propa-

* DRIRE: Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement.

** DIREN: Direction Régionale de l'Environnement.

*** DDE: Direction Départementale de l'Équipement.

gation des poussières. Les émissions captées doivent être canalisées et dépoussiérées. La concentration du rejet doit être inférieure à 30 mg/Nm³. Concernant les carrières de roches massives et les installations de traitement fonctionnant par voie sèche, un réseau approprié de mesure des retombées de poussières dans l'environnement doit être mis en place.

La limitation des nuisances sonores est fixée à 50 dB(A) le jour et à 30 dB(A) la nuit.

Enfin, l'exploitant est tenu d'achever la remise en état du site au plus tard à l'échéance de l'autorisation. Cette remise en état comporte au minimum les dispositions suivantes :

- la mise en sécurité des fronts de taille ;
- le nettoyage et 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.

• **Le décret n° 96-18 du 5 janvier 1996** apporte des précisions sur la constitution des garanties financières pour certaines activités, dont les carrières. L'arrêté du 10 février 1998 relatif à la détermination du montant des garanties financières pour la remise en état des carrières détermine le montant des garanties financières. Ce montant peut être fixé par la méthode forfaitaire, qui se fonde sur des critères adaptés aux conditions de l'exploitation. On prend en compte, par exemple, la longueur des berges ou encore la superficie de la surface en eau. Le montant peut également être établi selon une évaluation détaillée et exhaustive, lorsque le montant obtenu à partir du mode de calcul forfaitaire diffère notablement du montant de la remise en état prévue.

Les évolutions de la production

Introduction

Le graphique de la figure 4 montre comment dans le temps le législateur a pris conscience de la nécessité de réglementer l'extraction de la ressource naturelle. En fonction du développement de cette industrie, des mesures curatives ont d'abord été prises.

Elles ont été suivies par des dispositions se rapportant à l'application de mesures préventives.

L'application récente d'une éco-taxe met, par contre, en application le principe de Pigou (1920) qui veut faire supporter la déséconomie (désavantage sans compensation possible) par l'émetteur.

Les entreprises ont-elles réagi face à cette évolution de la réglementation et comment ? Rappelons qu'il suffisait d'une simple déclaration pour ouvrir une carrière il y a une trentaine d'années. Il faut aujourd'hui pour ouvrir une carrière tenir compte d'une police administrative spéciale, celle des installations classées. L'entrepreneur est alors confronté à des procédures

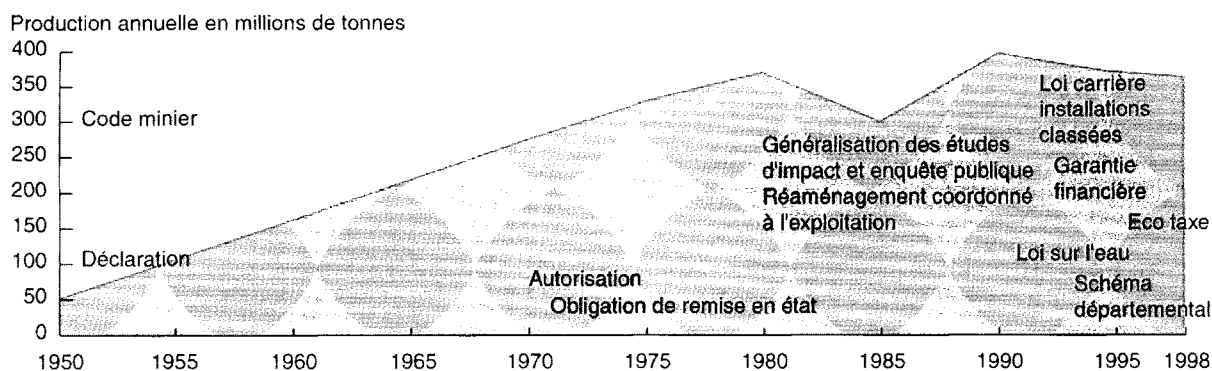


Fig. 4 - Évolution de la réglementation des carrières.

diversifiées. Il doit, dès la constitution du dossier, prendre en considération les contraintes d'urbanisme et intégrer les exigences techniques et réglementaires des études d'impact et de dangers. Il lui faut aussi convaincre, négocier ses garanties financières et défendre son projet en composant avec les critiques des associations, l'avis du tiers expert et la vigilance des juges.

L'installation une fois en fonctionnement, le carrier doit maîtriser l'ensemble des contraintes techniques et juridiques qui s'imposent. Peut-on modifier les plans d'exploitation ? La cessation d'activité n'est plus une simple formalité en raison des obligations de réhabilitation du site. Qui sont les responsables de la remise en état ?

La réaction des entreprises

Comme cela a été signalé dans les lignes précédentes, l'industrie des granulats est une activité de transformation qui mobilise de l'énergie et des ressources de toutes natures. Elle a, par conséquent, ce qui semble naturel, à faire la preuve de la maîtrise d'un processus industriel de transformation. En pratique, le changement de statut des carrières a nécessité une capacité de réaction des entreprises d'autant plus forte qu'elles exerçaient leur activité dans un environnement sensible et urbanisé et qu'elles avaient ou envisageaient des développements sur le long terme.

Les entreprises ont dans un premier temps procédé à la mise en œuvre d'actions curatives, de façon à corriger les effets les plus gênants et les plus visibles de l'exploitation du gisement et du fonctionnement de l'usine d'élaboration. Elles ont ensuite pris des initiatives en menant des actions présentant un caractère préventif, fondées sur les recommandations de l'étude d'impact.

Actions curatives destinées à corriger les effets de l'exploitation des granulats

C'est une évidence, l'implantation d'une carrière dépend avant tout de la présence d'un gisement, de sa qualité, de sa puissance, de sa proximité des lieux de consommation. La géologie du site va conditionner le

mode et les lieux d'exploitation. Le choix des matériels à mettre en œuvre, la conception de l'ingénierie de traitement et finalement le management de l'entreprise en tenant compte des lois du marché et des exigences de l'environnement ont une grande importance. La prise en compte optimale de tous ces paramètres de commande par l'entreprise va conditionner sa compétitivité, sa rentabilité et son aptitude à créer de la valeur ajoutée.

Les carrières alluvionnaires

Le mode d'exploitation des matériaux alluvionnaires dépend de la nature du gisement et, en particulier, de la présence ou de l'absence d'eau. L'objectif principal recherché consiste à supprimer, autant qu'il est possible de le faire, le risque environnemental lié à l'extraction des matériaux. Il s'agit, par exemple, de lutter contre l'instabilité des berges, contre les modifications hydrodynamiques des écoulements, contre l'accroissement du taux des matières en suspension, contre les risques de pollutions résultant de la suppression du filtre naturel. Il faut également tenir compte des risques de contaminations directes accidentelles ou malveillantes des nappes et éviter la transformation des gravières en décharges non contrôlées.

L'exploitation d'un gisement alluvionnaire peut être à l'origine d'effets (fig. 5) de différentes natures :

- lorsque la nappe souterraine est peu profonde, le problème d'inondation lié à la remontée de la nappe en période de hautes eaux peut apparaître. La nappe est également sujette aux risques de pollutions ;
- l'exploitation mécanique du gisement provoque la mise en suspension de particules au moment du dragage ou à l'endroit du rejet des eaux du traitement hydraulique. La décantation des particules fines entraîne le colmatage des fonds de fouilles et celui des berges situées en aval dans le sens de l'écoulement de la nappe. Ceci provoque alors une remontée de la nappe en amont de la zone d'exploitation et un abaissement en aval, d'où la modification du niveau piézométrique ;
- un rabattement important des nappes peut également être à l'origine de l'assèchement de certains captages. Les végétaux risquent de périr en amont de l'exploitation. De même, la suppression de la végéta-

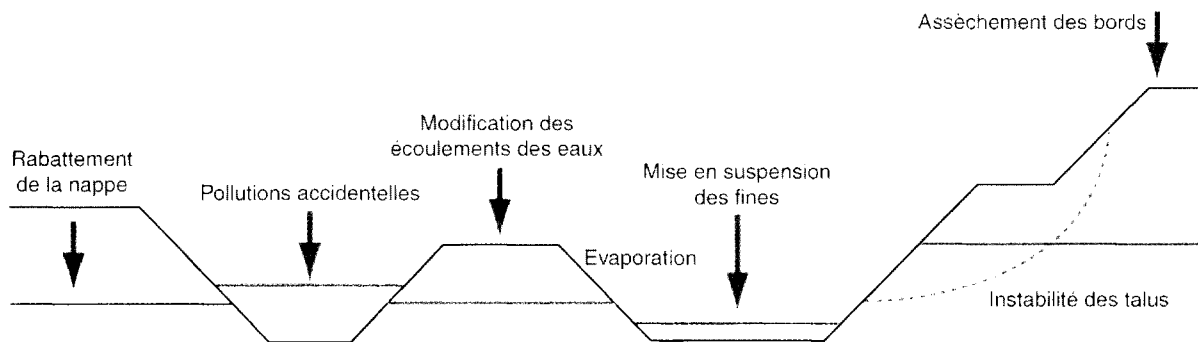


Fig. 5 - Effets à prendre en compte lors de l'exploitation des ressources alluvionnaires.

tion est à l'origine de l'élimination d'une enveloppe protectrice. Ceci peut occasionner le tassement et l'éboulement des terrains asséchés :

- l'exploitation dans le lit mineur d'un cours d'eau entraîne une modification de l'écoulement des eaux. Ceci se traduit par l'abaissement de la ligne d'eau et du niveau piézométrique de la nappe alluviale associée. Le creusement du lit provoque une érosion régressive qui se traduit finalement par un risque de déstabilisation des berges et, éventuellement, l'effondrement des piles de ponts. C'est la raison pour laquelle l'extraction au niveau du lit mineur est proscrite par la réglementation en France depuis quelques années :

- dans les gravières, les modifications hydrodynamique et hydrothermique et l'accroissement des matières en suspension (MES) et de la turbidité provoquent la dégradation de la qualité piscicole et de l'activité photosynthétique.

Les risques de pollution des eaux des gravières sont bien réels. Il convient de ne pas les négliger pour mieux les maîtriser. Souvent, en effet, certaines gravières à l'abandon ont été transformées en décharges sauvages par déversement d'ordures diverses. Des pollutions accidentelles et des actes de malveillance sont toujours possibles. Ils peuvent alors être à l'origine de désordres importants.

Une étude concernant l'hydrogéologie et l'hydrologie avant l'exploitation s'impose. Il faut disposer de toutes les données qui s'y rapportent, telles que les niveaux de la nappe, le débit et la pression d'eau (niveau moyen d'exhaure, glissement de talus), la perméabilité du milieu et la capacité de stockage des eaux. Toutes ces données conditionnent la vitesse d'écoulement des eaux. Ces données permettront de limiter les vitesses d'extraction pour éviter l'effet des pompages et des soutirages et la modification du niveau piézométrique.

Il faut également isoler l'exploitation pour réduire tous les transits vers les bassins collecteurs en réalisant des fosses. Les eaux de lavage doivent être traitées en circuit fermé et il convient de contrôler régulièrement la qualité des eaux. Une étude conséquente permettra ainsi de modéliser les impacts piézométriques prévisibles avant l'exploitation sur l'hydrogéologie.

Les carrières en roches massives

L'exploitation des roches massives s'effectue généralement à flanc de coteau ou en fosse. Il s'agit, dans ce cas, d'une exploitation en dent creuse. Les exploitations en fosse s'exécutent à partir du sommet d'une plate-forme de roche dure. La pénétration dans le massif se fait généralement par paliers successifs. La hauteur des fronts fait l'objet d'une réglementation. Les risques se rapportant à l'exploitation d'un gisement massif concernent surtout la stabilité des fronts de taille. Il s'agit par exemple :

- des chutes de blocs de pierres, qui peuvent rouler sur de longues distances et provoquer des dommages de différentes natures ;
- de la déforestation localisée que peut provoquer l'exploitation. En général, une carrière à flanc de coteau est difficile à réaménager.

Dans certain cas, il arrive que la carrière en fosse se développe à proximité du lit d'une rivière ou d'un plan d'eau. Lorsque cela se produit, le risque d'instabilité des berges ébranlées par les tirs de mines successifs est réel. Rappelons que, généralement, les tirs à l'explosif augmentent la fissuration du massif et sa perméabilité.

Stabilité et mise en sécurité des fronts de taille

Les risques sont liés à la pente des talus, à la stratification des roches, aux écoulements d'eau et, surtout, à la fracturation du massif. Le comportement hydrodynamique d'un massif rocheux dépend essentiellement des propriétés mécaniques et hydrauliques de la matrice rocheuse et de ses discontinuités. L'étude structurale du gisement est d'une grande importance car elle donne les différents contacts géologiques, les diaclases, les plans de stratifications, de foliation et de schistosité, les failles, les directions et le pendage des couches. Elle identifie les différentes familles de plans liés à la fracturation susceptibles de favoriser les éboulements et les glissements. L'étude du gisement permet d'orienter le plan de tir (diamètre des trous, caractéristique du maillage, nombre de rangées, charge spécifique d'explosif par trou) et d'éviter les erreurs de régalage du fond de carrière qui nécessitent des tirs de reprise ou un remblaiement. Il convient de rappeler que les der-

niers tirs doivent être exécutés en fonction de l'aspect final prévu pour la carrière.

Les différentes familles de discontinuités, leur densité, leurs orientations, leurs espacements, leurs ouvertures et la nature du remplissage, peuvent conduire à réaliser des travaux de traitement et de consolidation des parois rocheuses. Ces travaux consistent généralement à purger régulièrement les parties instables des parois rocheuses. Cette opération permet d'éliminer les blocs qui se trouvent en équilibre précaire. Elle se fait manuellement ou à la pelle hydraulique ou bien avec une grue et, également, en utilisant des jets d'eau sous pression dans les gisements homogènes et non argileux.

Les fronts de taille sont remodelés en réalisant des talus à pente douce d'une trentaine de degrés. Ces talus se rapprochent le plus possible de la topographie naturelle. On met également en place des banquettes larges et stabilisées. La largeur de ces plates-formes est fonction de la hauteur du front de taille et de la pente à adopter. La réalisation des talus s'effectue soit à la pelle hydraulique, si la pente est accessible, soit avec un bouteur. La stabilité peut être assurée par un chargement en pied de talus à l'aide de matériaux éboulés ou de matériaux de découverte en constituant des merlons boisés ou non. Ces merlons servent également de pièges à blocs et à cailloux comme le montre la figure 6.

Il est ensuite possible de :

- > placer des grillages de protection contre la paroi rocheuse, quand cela s'avère nécessaire,
- > consolider les zones instables par la technique du béton projeté, à l'aide de treillis soudés, ou en procédant à la consolidation par des ancrages boulonnés (fig. 6) dans la falaise,
- > clôturer tout le périmètre de la carrière où le danger est présent,
- > mettre en place une signalisation indiquant les dangers, les endroits proscrits et les secteurs sensibles.

Quand il s'agit de parois meubles, les possibilités de réaménagement consistent essentiellement à aménager les talus et les fronts de taille, pour lesquels la mise en végétation est parfois suffisante.

Le réaménagement peut également consister à remblayer la carrière pour réaliser un aménagement en parcs de loisirs, en espace vert, en des terrains constructibles ou en zone industrielle. Les dispositions à prendre après exploitation de la carrière concernent la mise en sécurité des fronts de taille, le nettoyage et la suppression de toutes les structures n'ayant pas d'utilité après la remise en état du site et l'insertion satisfaisante de l'espace affecté par l'exploitation dans le paysage compte tenu de la vocation ultérieure du site.

Les nuisances dues à la fabrication

La fabrication des granulats dans les carrières de roches massives peut être à l'origine de nuisances. Il s'agit des nuisances sonores, des vibrations d'origines diverses et de la production de poussières provoquées par les manutentions, la circulation des engins et le stockage de polluants divers.

Les nuisances sonores

Les nuisances sonores dans les carrières peuvent avoir différentes origines. Elles sont généralement dues aux :

- > déplacements des matériels de chantier (camions, engins de manutention),
- > travaux de réduction volumétrique, de triage et criblage (concasseurs, cribles),
- > tirs d'explosifs (bruits impulsionnels),

Le niveau sonore des appareils à la source peut atteindre 100 à 130 dB(A). Les dispositions prises par les carriers pour réduire le niveau de bruit consistent généralement à :

- > mettre en place des capotages sur les appareils les plus bruyants tels que les concasseurs et les cribles et à prendre des dispositions permettant de supprimer le contact direct de la matière sur la tôle,
- > équiper à l'aide de revêtements caoutchoutés les goulottes à l'évacuation des cribles,
- > effectuer le plus possible des manutentions par bandes transporteuses en remplacement des engins à moteurs thermiques,
- > mettre en place aux endroits choisis des écrans tels que des buttes en terres arborées. Ces écrans sont géné-

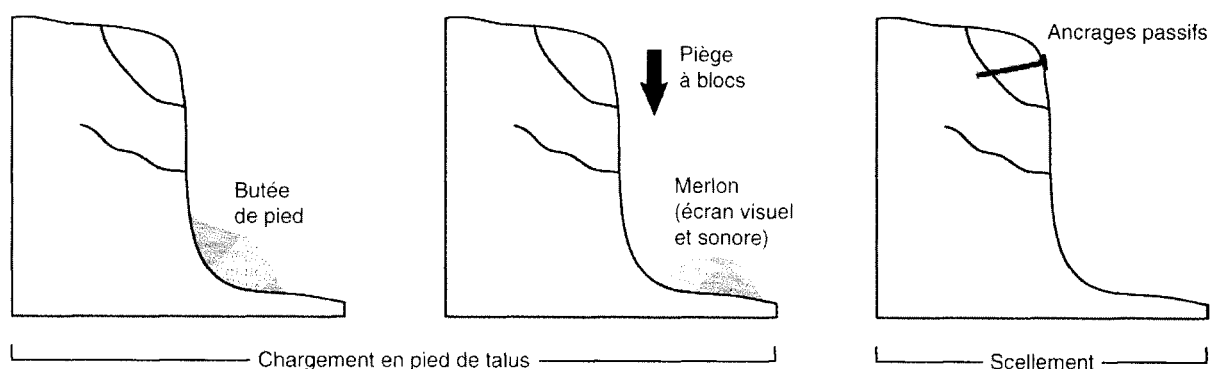


Fig. 6 - Techniques de stabilisation des fronts de taille.

ralement situés en limite de propriété. Les stocks de granulats finis sont également des écrans déflecteurs, bien que leur efficacité puisse varier dans le temps suivant leur importance,

➤ installer le matériel en fond de carrière ou dans la fosse et profiter des dispositions offertes par la topographie des lieux.

Les résultats obtenus permettent généralement de régler le niveau sonore entre 45 et 55 dB(A), niveau acceptable en périphérie du site.

Rappelons que le bruit peut avoir des effets sur l'audition. Il peut provoquer une fatigue auditive qui est un déficit provisoire de l'audition et qui se manifeste à partir de bruits ayant une intensité à la source de 75 à 80 décibels (dB). Les quelques données suivantes ont pour but de donner une idée des ordres de grandeur en termes d'échelle de bruit : Le bruit de fond d'un studio d'enregistrement atteint 10 dB, l'intérieur d'un appartement 45 dB, un trajet domicile travail se réalise dans un bruit de 80 dB, le seuil de la douleur (bruit fait par un moteur d'avion à quelques mètres) est atteint à 120 dB.

Les vibrations

Les vibrations les plus gênantes résultent des tirs d'explosifs utilisés lors de l'exploitation des roches massives. Les effets d'un tir sont fonction de la vitesse de propagation de l'onde de choc et de la distance parcourue par cette onde. Dans certains cas, des dégâts sont occasionnés par un tir. Ces derniers peuvent être à l'origine de fissures dans les habitations environnantes, ou de la détérioration des édifices archéologiques. Dans tous les cas, les tirs d'explosifs provoquent également l'inquiétude des espèces animales. La vitesse de propagation requise en France (limite imposée par la loi) est de 10 mm/s dans la gamme de fréquence 50-80 Hz.

Un tir de mine engendre une onde vibratoire qui se propage dans le sol suivant une loi empirique expérimentale (loi de Chapot) de la forme

$$V = K(D/Q)^{0.5} - 1.8$$

avec

- D = distance tir/ouvrage (m),
- Q = charge unitaire d'explosif (kg),
- K = coefficient lié au terrain K = 500 (terrains meubles) et K = 6 000 (terrains rocheux),
- V = vitesse particulaire de vibration (mm/s).

La maîtrise des tirs de mines pour limiter les secousses et les vibrations suppose de :

- faire le choix d'un plan de tir adapté aux caractéristiques du gisement, c'est-à-dire la nature de la roche, le pendage du gisement, ses joints de stratification, les joints stylolitiques, la présence de failles et de diaclases,
- rechercher les meilleures conditions de tir, ce qui implique le choix de la nature des explosifs, le calcul

des quantités à mettre en œuvre et nécessite l'utilisation de micro-retards. Dans certains cas, il faudra diminuer la hauteur des fronts de taille et moderniser le parc de matériels de perforation.

➤ faire travailler les équipements à pleine charge pour éviter une dissipation énergétique inutile.

Les poussières

La mise en suspension des poussières se fait généralement à la chute des bandes transporteuses, des trémies et dans l'atelier de criblage (fig. 7). La circulation des engins de transport et de manutention soulève également une grande quantité de poussières lorsque les pistes de roulage ne sont pas arrosées ou recouvertes d'un revêtement bitumineux ou bétonné. La propagation des particules de poussières dans l'atmosphère est fonction de leur taille, des conditions climatiques (action des vents, humidité) qui provoquent l'envol et le transport de ces particules et enfin de la topographie des lieux et de la présence d'arbres. Les poussières peuvent nuire aux développements des cultures et sont, pour le personnel, à l'origine de maladies telles que la silicose et la pneumoconiose.

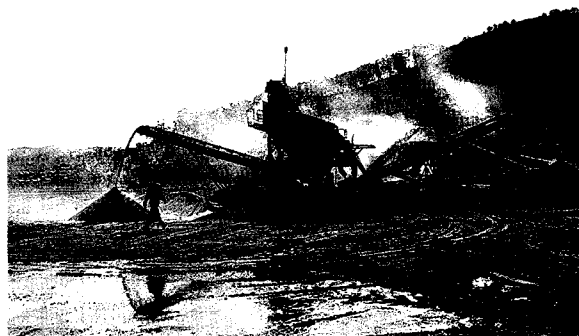


Fig. 7 - Exploitation sans mesure de protection.

La réduction des émissions de poussières peut se faire par :

- pulvérisation d'eau sur les installations, avec ou sans ajout d'un agent tensioactif, et par capotage du matériel ou de l'installation ;
- traitement et humidification des pistes et humidification des pistes grâce à l'épandage d'un agent « antipoussière ».

La mise en suspension des poussières créées à l'occasion des réductions volumétriques successives est favorisée par les transports non liés. Autrement dit, la mise en suspension des poussières s'effectue à la chute des transporteurs au moment du stockage et des chargements sur véhicules. Les secousses imprimées aux matériaux au moment du criblage provoquent également la mise en suspension des particules les plus fines et les maintiennent dans cet état.

Les actions préventives

Face aux risques présentés ci-dessus et qui semblent difficiles à quantifier en termes de probabilité d'apparition dans certains cas (il existe toutefois des données concernant les risques de maladie et d'accident du travail), le législateur a imposé l'application de mesures préventives. Ces mesures sont à l'origine de la mise en œuvre de procédures d'autorisation ou d'interdiction qui ont pour but d'empêcher ou de contrôler les activités des carrières susceptibles de nuire au milieu naturel ou à la santé humaine. Elles permettent également d'effectuer des surveillances, des répressions, des réparations et des restaurations.

Rappelons qu'en matière d'environnement, la répression ne semble pas être la méthode la mieux adaptée. Le caractère irréversible de certaines atteintes à l'environnement rendent souvent dérisoires les sanctions pénales classiques. C'est la raison pour laquelle la diffusion des bonnes pratiques s'impose et qu'un effort particulier de remise en état des lieux est une nécessité.

Les pressions exercées par les autorités publiques sur les exploitations de carrières ont été pour certaines entreprises assez importantes. Ces entreprises ont alors été contraintes de réagir rapidement. Pour certaines, il s'agissait de survie. Leur mise en conformité avec les règles ou prescriptions environnementales a alors constitué un passage obligé pour poursuivre leur activité. Certes, les questions environnementales ont généralement été considérées comme des contraintes supplémentaires induisant des surcoûts préjudiciables à la rentabilité de l'entreprise. L'environnement est, en effet, plus qu'une question de mise en conformité avec les prescriptions légales : il affecte quelquefois l'aptitude de l'entreprise à être compétitive et sa pérennité. Certaines entreprises se sont trouvées face à des choix stratégiques. Fallait-il ignorer les contraintes environnementales et viser les bénéfices à courts termes avec les conséquences économiques et sociales que cela implique ? Ou bien opter pour l'intégration de l'environnement dans la stratégie de l'entreprise avec toutes les implications qui en résultent ?

Au final, certains industriels ayant plus particulièrement les soucis du moyen terme et du long terme ont compris que l'environnement pouvait également être un argument de vente et constituer un atout supplémentaire pour le développement à long terme de l'entreprise. Ils ont, et pour cela, organisé leur stratégie autour de la prise en compte de l'étude d'impact, qui devient le contrat de l'entreprise avec son environnement social.

Un outil privilégié : l'étude d'impact

Depuis 1979, l'ouverture d'une carrière est conditionnée par la réalisation d'une étude d'impact. Cette étude comprend cinq parties.

- **L'analyse de l'état initial.** Il s'agit sous cette rubrique de qualifier l'état initial du site à partir d'une recherche bibliographique et d'enquêtes sur le terrain.

Les informations prises en compte concernent la géographie, la géologie, la géomorphologie, l'hydrologie, l'hydrogéologie, la pédologie, l'écologie, le paysage, le niveau sonore, la qualité de l'air et du sol et aussi les éléments se rapportant à l'activité humaine (habitat, équipement, réseaux de communication, utilisation du sol, valeur du patrimoine commun).

- **L'analyse des effets sur l'environnement.** Il s'agit d'identifier les contraintes et les impacts qui découlent de l'implantation de l'exploitation, à savoir :

- les effets sur le milieu naturel et les activités humaines (faune, flore, microclimat, agriculture, patrimoine culturel, sécurité),
- l'impact sur le paysage,
- l'impact sur la qualité des eaux et des écoulements,
- les impacts provoqués par les poussières, le bruit et les vibrations.

- **Les raisons pour lesquelles le projet a été retenu.** Il s'agit de justifier le choix par des motivations techniques, économiques et concernant l'environnement.

- **Les mesures prévues pour prévenir, supprimer, réduire et, si c'est possible, compenser les conséquences dommageables.** Les coûts des mesures prises sont à présenter.

- **Les mesures prévues pour la remise en état.**

L'évolution du coût d'une étude d'impact est significatif du sérieux ou de l'approfondissement de ces études. Les coûts sont passés de 30 000 à 120 000 francs. Leur réalisation prend plusieurs mois aujourd'hui et ne peuvent être effectuées que par des personnels disposant d'une réelle expertise.

Intégrer le réaménagement dans la stratégie de l'entreprise

Pour une entreprise, la meilleure façon de convaincre ceux qui s'opposeraient à l'ouverture d'une carrière est de leur montrer que l'effort effectué tient compte du moyen et du long terme et que cet effort contribue à la création de nouvelles richesses. Cet effort s'exerce tout particulièrement dans la réalisation du réaménagement (fig. 8) en fin d'exploitation. C'est à ce moment que les fruits d'un long travail peuvent être cueillis.

Le terme « réaménagement » imposé par la réglementation est défini comme l'opération qui vient compléter la remise en état des lieux. Elle comprend la mise en place d'équipements nécessaires pour une nouvelle affectation destinée à présenter un caractère économique, écologique ou socioculturel, bien définie. Son principal objectif est la valorisation des lieux.

Il semble difficile de ne pas évoquer les contraintes rencontrées par l'entreprise lors de l'ouverture, de l'exploitation et du réaménagement final des carrières. Nous avons noté sans être exhaustif.

- **Les contraintes foncières.** L'activité des carrières est en effet basée sur la disponibilité du sol et la maîtrise foncière des terrains. La maîtrise foncière des terrains dans l'emprise de la carrière, quand l'entreprise n'est pas propriétaire, peut être obtenue par l'achat des

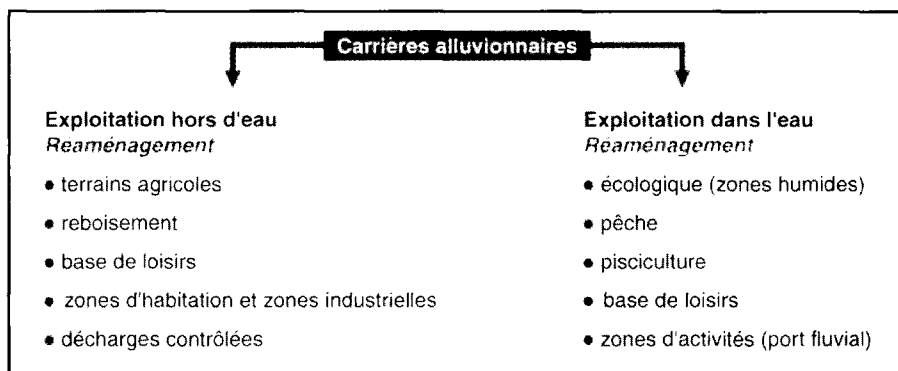


Fig. 8 - Types de réaménagement valorisant une carrière alluvionnaire après exploitation.

parcelles et/ou par contrat de forage (le prix payé par l'exploitant est fonction des volumes extraits) entre le propriétaire et la société exploitante. Dans ce dernier cas, l'exploitant est tenu de restituer au propriétaire, en fin d'exploitation, le terrain remis en état en tenant compte des accords qui ont prévalu. L'opposition d'un seul propriétaire peut retarder ou faire échouer le projet.

Quand l'entreprise est propriétaire du terrain ou quand il y a très peu de propriétaires, un réaménagement cohérent et harmonieux parfaitement intégré dans le paysage peut être avantageusement réalisé. Dans le cas d'un réaménagement à vocation écologique, notons que la continuité de l'aménagement avec les milieux environnants est un élément fondamental.

• **Les contraintes techniques** se rapportant à la nature du gisement, au soubassement, à l'hydrologie et l'hydrogéologie du site. Notons également que les conditions climatiques dans lesquelles va s'exercer l'exploitation ont de l'importance. L'organisation du chantier en termes de choix des phases successives de l'exploitation est déterminante. Ce choix dépend de l'homogénéité du gisement et de l'accessibilité de ses différentes parties. La connaissance fine du gisement est alors indispensable. Il semble alors indispensable de disposer de cartes « d'isoqualité » ou « d'isogranularité ». Nous retiendrons que le plan d'exploitation est parfois modifié pour les raisons suivantes :

- méconnaissance de l'épaisseur des niveaux altérés,
- exigences en matière de granularité du gisement par exemple (matériaux alluvionnaires),
- découvertes archéologiques (fig. 9).
- Les phases d'exploitation sont conditionnées par :
 - la géométrie du gisement,
 - la distribution des matériaux permettant d'avoir la granularité recherchée,
 - la nécessité d'intégrer les travaux de remise en état à l'exploitation.

Dans le cas d'un réaménagement agricole, les principales contraintes techniques concernent :

- la durée de stockage de la terre végétale,
- l'insuffisance des matériaux de découverte pour le remblaiement,

- la nature des matériaux de découverte, formée essentiellement de fines, peu perméables, sont à l'origine des mouillères (fig. 10),
- la profondeur de la nappe.

Pour créer un milieu très diversifié dans un réaménagement à vocation écologique, il faut :

- spécifier et diversifier les milieux, étangs, lacs, bois, bosquets, prairie, grèves, marais,
- conserver des îlots naturels, alterner des berges douces et des micro-falaises (fig. 11),
- favoriser au maximum les substrats de galets et graviers, les îlots ou les îles sans végétation pour favoriser la venue des gravelots, des sternes (fig. 12) et attirer la mouette rieuse,
- créer des hauts fonds.



Fig. 9 - Site archéologique (Carrière de Changis-sur-Marne).



Fig. 10 - Aménagement agricole (Carrière alluvionnaire de Changis-sur-Marne).



Fig. 11 - Aménagement des berges d'un plan d'eau (Carrière de Varennes).



Fig. 12 - Aménagement écologique du plan d'eau avec un couple de sternes (Carrière de Changis-sur-Marne).

• **Les contraintes financières** se rapportent à l'acquisition des terrains, à l'exécution des travaux et à la gestion éventuelle ultérieure du site après exploitation. Les entreprises soucieuses de l'environnement pratiquent des aménagements intégrés à l'exploitation. Le bon résultat économique de l'opération dans son ensemble est à ce prix. Un réaménagement impose donc une estimation la plus exacte possible des travaux liés à l'exploitation, à la remise en état et au réaménagement final. Il sera difficile de distinguer ce qui est spécifique aux réaménagements compte tenu de l'intégration de ces travaux dans les opérations communes d'exploitation. La vocation initiale du site avant exploitation est à prendre en compte. Cette dernière peut être périurbaine ou rurale. Il s'agit en l'occurrence de tenir compte du caractère socio-économique de l'environnement du site et de répondre aux besoins sous-tendus par un réaménagement adapté.

Certaines entreprises ont pris le parti d'apporter de la valeur ajoutée aux sites après leur exploitation. Elles se servent de ce type d'action pour valoriser leur mode de management. Toutefois, une modélisation des dispositions se rapportant à la « création de valeurs » (terme pris dans son sens le plus large et pas seulement dans son sens économique) susceptibles d'être mises en œuvre dans les exploitations de carrières n'a pas, à ce jour, fait l'objet d'études synthétiques. Un inventaire

plus exhaustif est donc à faire pour valoriser les dispositions déjà prises par certaines entreprises. Pourtant, la création de valeurs est bien réelle dans certains cas, comme le montrent les exemples évoqués ci-après.

- **Du retour à l'affectation initiale du site.** Le réaménagement effectué permet au site en fin d'exploitation de retrouver sa vocation initiale (forêts ou cultures). La valeur ajoutée créée par l'exploitation se rapporte à la transformation passée d'un gisement de matières brutes en matériaux élaborés et qualifiés utilisés dans les constructions du génie civil et l'aménagement du cadre de vie. La production annuelle des installations en France, pour les plus industrialisées, est généralement comprise entre 300 000 et 600 000 t suivant la nature des exploitations et l'importance du marché qu'elles desservent. Le prix de la tonne de granulats est généralement compris entre 30 FF et 60 FF HT à la sortie de la carrière et son prix double après un transport d'une cinquantaine de kilomètres par route. Rendu sur les lieux d'utilisation, il dépend finalement du prix concurrentiel du marché et du degré d'élaboration de la fourniture.

- **Création de zones humides.** Les zones humides sont des étendues d'eau de faible profondeur (6 m environ au maximum) se présentant sous forme d'étangs, de lacs peu profonds et de marais dans les plaines alluviales ou littorales. Longtemps considérées comme malsaines, les zones humides apparaissent aujourd'hui d'une richesse biologique extraordinaire au point qu'une convention internationale ratifiée par 83 pays les protège aujourd'hui. La diversité biologique dans les zones humides peut en effet être considérable : bactéries, plantes, insectes, crustacés, mollusques, batraciens, poissons, oiseaux, mammifères s'y côtoient. La faible profondeur et donc la pénétration de la lumière contribuent à cette richesse. Les échanges entre différents milieux que l'on peut rencontrer dans un réaménagement bien conçu (matières minérales, organiques et vivantes) engendrent une productivité considérable.

Les zones humides issues de réaménagement de carrières (fig. 13) présentent un intérêt écologique en termes de flores et de faunes et peuvent être classées en ZNIEFF (Zones naturelles d'intérêt floristiques et fau-



Fig. 13 - Zone humide de la carrière de Varennes (Ile-de-France).

nistiques). Elles bénéficient d'une protection et d'une gestion rationnelle. Elles sont portées à la connaissance des administrations et prises en compte dans les projets d'urbanisme ou d'aménagement. Les carrières en eau, réaménagées en zones humides de substitution, ont un intérêt écologique important dans la préservation de l'équilibre animal et végétal des écosystèmes.

Les zones humides ont également un autre intérêt, qui est d'absorber les crues et de contribuer à la lutte contre les inondations en régularisant le débit des rivières. Elles remplissent également un rôle économique en assurant l'approvisionnement en eau pour des besoins agricoles, sylvicole, pêche, industriels (bassin de stockage) et humains.

- **Création de nurseries et de lieux d'hibernation pour les animaux.** Des poissons pondent des œufs dans les carrières aménagées. Les oiseaux migrateurs peuvent faire une halte et séjourner temporairement (lieux d'escale) sur le chemin qui les mène vers leurs lieux de reproduction. Les carrières peuvent servir également de lieux d'hibernation (cas des canards nordiques) et de lieux d'été pour les hirondelles, fauvelles et autres oiseaux insectivores.

- **Création de bases de loisirs.** Les aménagements en bases de loisirs et de sports dépendent de nombreux critères se rapportant au milieu socio-économique dans lequel se déroule la vie de la carrière. Ils dépendent également de la superficie du site, de l'aspect financier et de la gestion du site. Il peut s'agir également de la création de parcs et de jardins.

Le parc de loisirs de Saint-Cyr, dans la région de Poitiers, est l'une des plus belles réalisations en matière de réaménagement. Il constitue une très bonne réussite pour les entreprises et les collectivités locales qui l'ont conçu. Il est en parfaite harmonie avec le milieu environnant et répond à un besoin local et régional (fig. 14).

- **Élaboration de réserves en eau** comme dans le cas des carrières de la Noubleau dans la vallée du Thouaret ou de Voutré en Mayenne. Les carrières de roches massives exploitées en dent creuse finissent généralement par se remplir d'eau. Une question peut se poser toutefois. Comment évoluent les caractéristiques de ce type de réserves en eau ? (fig. 15).



Fig. 14 - Base de loisirs de Saint-Cyr (Poitiers).

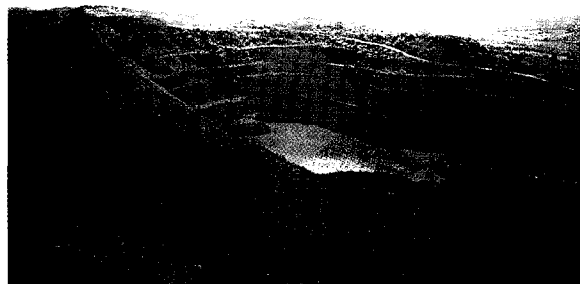


Fig. 15 - Réserve d'eau (Carrière de Voutré).

- **Éducation au respect de l'environnement.** Ni les lois, ni les taxes ne contraindront les citoyens à respecter l'environnement si ce respect ne leur a pas été inculqué par l'éducation. C'est la raison pour laquelle des carrières ont fait le nécessaire pour que le site d'exploitation puisse avoir finalement une vocation pédagogique et culturelle. Des observatoires de la vie animale sont construits. Des parcours portant sur le thème de la géologie sont aménagés dans la carrière de Voutré en Mayenne. Ils permettent l'échantillonnage des minéraux, des reconnaissances botaniques et la découverte du paysage.

- **Dépollution** de certains sites sensibles avant l'exploitation, comme dans le cas de la carrière de Varennes-sur-Seine. Notons également que l'opération de regroupement préalable à l'ouverture de la carrière peut être à l'origine d'une diminution des risques environnementaux en donnant à l'exploitant une maîtrise plus grande sur tout le processus d'exploitation.

Réflexion sur la stratégie verte des carrières

Il faut admettre que, si le management de certaines entreprises semble exemplaire, d'autres carrières constituent, dans certains cas, un objet d'une méfiance justifiée ou non justifiée pour leur environnement socio-professionnel. Dans ce cas, les décideurs ne sont pas toujours convaincus de la pérennité des engagements que l'entreprise se propose de tenir et, tout compte fait, ont des doutes quant à la maîtrise qu'elle peut avoir dans la conduite de son exploitation.

Des questions et des réponses adaptées

Les responsables en entreprises qui élaborent une stratégie verte s'assurent généralement que les points suivants trouvent une réponse dans leurs décisions.

L'entreprise a-t-elle la capacité d'évaluer les impacts environnementaux des procédés mis en œuvre et de ses produits ?

Pour un certain nombre d'impacts, des dispositions curatives ont pu être prises rapidement. Par exemple,

des dispositifs à retardement de mise à feu sont utilisés lors des tirs importants pour diminuer les vibrations provoquées par l'explosion. La stabilité des fronts de taille a pu faire l'objet de mesures de consolidation et de prévention en utilisant du clouage, des grillages et des projections. Pour limiter les risques se rapportant à la fabrication (bruits et poussières) des capotages ont été mis en place et des mesures de protection ont été prises pour isoler les sources de pollutions. Des revêtements caoutchoutés posés sur les zones d'impacts « matériaux sur aciers » ont permis de diminuer le bruit émis par le traitement mécanique des matériaux. Des arrosages systématiques sont effectués sur les pistes de roulage des engins de transport pour diminuer l'envol des poussières. Des études ont été faites pour tenter de chiffrer l'incidence de certaines dispositions prises à l'exploitation sur les risques d'inondation.

Une étude d'impact sérieuse a-t-elle été faite lors de la demande d'autorisation d'exploitation ?

En France, cette étude est imposée par la réglementation mais l'expertise de tous les bureaux d'étude intervenant n'est pas reconnue. Elle est incluse dans le dossier de demande d'ouverture du site. Elle résulte d'un travail alternant phases d'études et phases de consultation. Elle a pour but de donner tous les éléments indispensables aux décideurs pour évaluer les risques sur le milieu naturel (biologique et physique), sur le milieu humain et sur le paysage. Mais attention, en termes de réaménagement final, elle constitue ensuite un engagement pour l'entreprise qui doit abandonner le site d'exploitation. Elle doit permettre de donner tous les éléments indispensables aux décideurs pour évaluer les risques sur le milieu naturel (biologique et physique), sur le milieu humain et sur le paysage. L'étude d'impact permet de juger de la qualité des dispositions prises par l'exploitant pour effectuer la remise en état en fin d'exploitation et d'évaluer la valeur finale du site.

Est-il possible d'anticiper les développements écologiques du site ?

Il s'agit, sous cette rubrique, de caractériser la stratégie de l'entreprise et de la classer suivant des modèles proposés. Citons, par exemple, les modèles de Roome (1992), de Koechlin et Müller (1992) et de Crosbie et Knight (1995). Ces modèles proposent de classer successivement les entreprises suivant : leur niveau de conscience environnemental (les entreprises peuvent passer de la stratégie de la non-conformité à la stratégie de leader), leur réactivité (mise à profit d'une approche environnementale pour diminuer des coûts d'exploitation ou participation à l'élaboration de la législation environnementale) ou autre cas, lorsque l'entreprise adopte une stratégie se situant entre le « ne rien faire » et la stratégie de l'entreprise dans le cadre d'un développement durable. Il est bien évident que suivant les types d'entreprises, des dispositions sont prises sur le

terrain en termes d'enquêtes et de comptages d'espèces animales et végétales.

L'entreprise dispose-t-elle de ressources suffisantes pour assurer le respect de toutes ses obligations ?

La réglementation impose par exemple, aujourd'hui, la remise en état des lieux. Le but est d'effacer les traces de la carrière après exploitation. Ce travail est à la charge de l'exploitant au même titre que, par ailleurs, les frais de recherches archéologiques. Les travaux de réaménagement destinés à valoriser ensuite le site seront à la charge du maître de l'ouvrage. En France, il existe des dispositions professionnelles qui semblent donner satisfaction aux parties concernées. Le calcul de la garantie financière à présenter régulièrement par les carrières prend en compte un certain nombre de données comme le périmètre de la zone exploitée et également le volume des terrassements à effectuer au moment de la remise en état. Ces dispositions semblent favorables à la pratique d'un réaménagement intégré à l'exploitation.

Des matériaux et des produits nocifs pour l'environnement sont-ils utilisés par l'entreprise ?

En général, les carrières utilisent des explosifs (carrières de roches massives), des carburants, des liquides de refroidissement et des lubrifiants pour les moteurs thermiques et les engins de manutention et de transport ou de concassage. Des dispositions sont alors à prendre pour éviter toutes pollutions et pour traiter les déchets résultant de l'exploitation. L'usage de moteurs électriques équipant les dispositifs de manutention et de transport semble être recommandé.

Une priorité est-elle donnée par le personnel aux questions environnementales ? Comment cette prise de conscience est-elle améliorée ?

Cette question se rapporte directement au mode de management de l'entreprise et à son aptitude à créer différents types de valeurs. Elle contribue directement à définir « l'image verte » de l'entreprise et montre comment elle respecte ses engagements.

Quelle est l'influence du prix de l'énergie sur la compétitivité de l'entreprise et quelle est la manière de réduire sa vulnérabilité éventuelle aux prix de l'énergie ?

L'intégration de la variable environnement à la stratégie des entreprises a conduit à privilégier une approche globale des problèmes d'environnement avec pour conséquence la nécessité d'étudier l'impact environnemental d'un produit ou d'une entreprise « du berceau à la tombe ». Il s'agit, dans ce cas, de considérer l'ensemble des étapes de son évolution et de sa transformation depuis l'extraction des matières premières qui entrent dans sa composition jusqu'à sa disparition finale après utilisation. Les analyses de cycle de vie visent à faire apparaître les effets négatifs et positifs

occasionnés par un produit ou un processus dans son déroulement.

S'appuyer sur des référents connus et reconnus

Il semble nécessaire de manager l'exploitation d'une carrière en faisant référence aux normes et aux pratiques soucieuses de l'environnement. Il s'agit pour cela de mettre en œuvre, par exemple, les outils suivants.

- **Les normes ISO 14000**, relatives au système de management environnemental, impliquent l'intégration dans la stratégie de l'entreprise de la dimension environnementale. Elles portent plus particulièrement sur l'élimination et la réduction de la pollution et des risques. La référence aux normes ISO 14000 devrait permettre aux exploitants de carrières de donner des assurances en termes de gestion des risques environnementaux et industriels, pendant et après l'exploitation de la carrière. Ces normes tiennent compte de dispositions se rapportant aux techniques d'exploitation et à la mise en application de dispositions volontaires.

- **La modernisation des techniques d'exploitation des carrières**. La mise en place de dispositifs de pilotage automatique contribue à améliorer les conditions de travail et donne des assurances quant à la maîtrise du fonctionnement du processus de fabrication. L'ensemble de l'installation peut être piloté par un nombre limité de personnes, à distance, à partir d'un poste unique de supervision et de commande. La télécommande, l'utilisation de dispositif de réglages à distance (fig. 16), l'implantation de capteurs ont permis d'éviter les interventions dangereuses et de limiter l'exposition du personnel aux maladies professionnelles telles que la pneumoconiose, la silicose et la surdité. Il faut, toutefois, noter que l'automatisation et la sous-traitance d'un certain nombre de fonction en carrières constituent probablement la cause de la diminution de l'effectif du personnel travaillant directement en carrière. Le nombre de salariés de l'industrie du granulat, en France, est passé de 30 000 à 12 000 personnes en l'espace de quinze ans.



Fig. 16 - Automatisation des installations.

- **L'éducation et l'encadrement**. Pour concilier les nécessités de l'approvisionnement en matériaux et donc pour répondre aux besoins économiques et à la sauvegarde de l'environnement, les pouvoirs publics ont imposé, à l'aide du décret n° 75-327 du 5 mai 1975, une taxe parafiscale de 5 centimes la tonne produite de granulat, à la charge des producteurs. Cette taxe a cessé d'être prélevée fin 1987. À travers le paiement de cette taxe, les producteurs de granulats ont contribué ainsi au financement de travaux de réaménagement d'anciennes carrières de granulats à l'abandon et à la réalisation d'études visant à assurer la continuité des approvisionnements en granulats. Ces études ont porté sur les ressources, la réduction des nuisances, la recherche de matériaux de substitution, l'automatisation des installations, etc.

Les producteurs de granulats, avec l'évolution de la réglementation, et celle des normes environnementales (application de la loi sur les installations classées) et sous la pression sociale incontournable exprimée par les administrations, les élus et les associations écologiques, ont eu un triple souci :

- celui de fabriquer un granulat répondant aux normes et aux spécifications requises pour assurer la pérennité des ouvrages construits,
- celui de minimiser les impacts sur l'environnement au cours de l'exploitation (solutions),
- et celui de laisser après exploitation un site remis en état, réaménagé et réhabilité.

- **Utiliser d'autres outils d'optimisation et de quantification des impacts**. Il semble nécessaire de mettre en œuvre d'autres outils comme l'analyse du cycle de vie (ACV). Il s'agit de mieux quantifier l'utilisation des matières premières, la consommation en énergie, les productions en matériaux et les rejets dans l'environnement. Il s'agit également d'évaluer les améliorations apportées sur le plan environnemental et les créations de valeurs obtenues.

Faire une analyse de cycle de vie (fig. 17) demande la mise en œuvre d'une approche globale qui démarre à l'extraction, prend en compte le traitement et le processus de production, les manutentions, le transport du produit et sa distribution et finalement le processus de réaménagement du site d'exploitation.

L'analyse de cycle de vie s'applique à de nombreux domaines. C'est un instrument de management intégrant des préoccupations économiques écologiques. Dans le cas des carrières, elle devrait permettre la résolution de problèmes de prise de décision dans un contexte de pression environnementale (ouverture d'un nouveau site d'exploitation) sans perdre de vue la réalité financière à laquelle est soumise toute entreprise. L'analyse de cycle de vie est utilisée pour optimiser les procédés de fabrication et identifier des faiblesses du système de gestion de l'entreprise. Généralement à usage interne, ce type d'outil devrait pouvoir, dans le cas de la production des granulats, servir de moyen de communication afin de soutenir certaines décisions

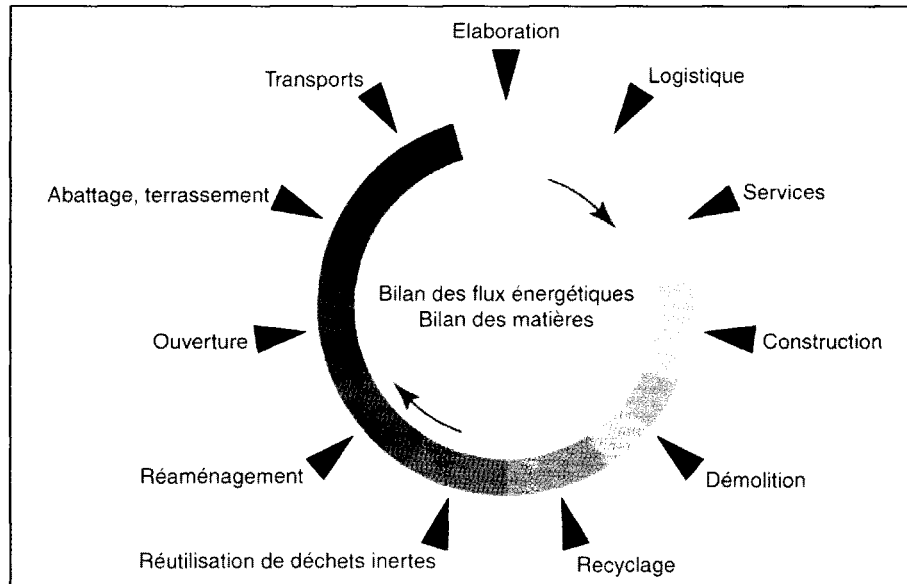


Fig. 17 - Fonctions et services à prendre en compte dans le calcul d'une analyse du cycle de vie.

d'entreprises pouvant avoir des répercussions sur l'environnement.

Une gestion pointue des stocks dans la carrière

Dans les carrières, les stocks (notion entendue dans son sens le plus large) sont omniprésents dans le déroulement du processus de fabrication en carrière. En effet, on peut distinguer les stocks suivants :

- les stocks de matières premières constitués par le gisement qui, par nature, est hétérogène,
- les stocks en cours, qui constituent l'exploitation du moment et les quantités qui circulent dans l'installation,
- les produits finis en dépôts, qui constituent des marchandises pouvant faire l'objet d'une demande externe.

La gestion de la production en carrière consiste à réaliser des arbitrages entre différents objectifs qui peuvent présenter des antagonismes. Il s'agit de définir des pondérations de ces différents éléments pour obtenir un seul objectif à optimiser. L'exploitation du gisement dans ces différentes parties préalablement définies en tenant compte de l'objectif de réaménagement final nécessite une étude approfondie. Cette étude va conditionner la qualité des fournitures produites, la qualité des services offerts et, finalement, la compétitivité de l'entreprise.

Une profession qui doit et qui veut valoriser son image

En 1992, l'Union nationale des producteurs de granulats (UNPG) a mis au point une charte professionnelle de l'industrie des granulats. Les signataires de cette charte s'engagent à respecter un ensemble de règles et de devoirs en matière de respect à l'environnement.

L'entreprise s'engage, par exemple, à limiter au maximum les nuisances provoquées par les installations de production et le transport des matériaux, à avoir une politique de gestion des eaux, à améliorer le milieu et à mettre en œuvre un réaménagement progressif et intégré de l'exploitation.

Parmi les actions menées par les signataires de la charte, notons le développement des connaissances techniques et scientifiques se rapportant au métier de carrier et l'élaboration de guides pratiques utilisables sur le terrain concernant le bruit, poussières, l'eau, le paysage, les déchets et le réaménagement. Des expertises écologiques (dix-sept zones humides des carrières ont été étudiées en 1997) ont été réalisées ou sont en cours de réalisation. Les entreprises qui essaient de mieux valoriser les ressources naturelles, qui assurent une gestion rationnelle et optimale des matériaux sans porter atteinte à l'environnement et qui tiennent compte des intérêts des générations futures s'inscrivent d'ores et déjà dans une politique de développement durable. Leur but est d'établir un lien entre le bien-être économique et la protection de l'environnement.

Un concept dont la mise en application s'impose : le développement durable

L'entreprise est tenue d'intégrer complètement les contraintes et les opportunités environnementales dans les développements technologiques, économiques et sociaux qu'elle met en œuvre. C'est ce qui est proposé par le concept de développement durable.

Le développement durable est un concept (fig. 18) présenté et développé pour les Nations-Unies dans le rapport « notre avenir à tous (1987). Ce rapport a été rédigé par la Commission BRUNTLAND (WCED) sur l'environnement et le développement ». Il exprime l'idée que les ressources vivantes ne doivent pas être

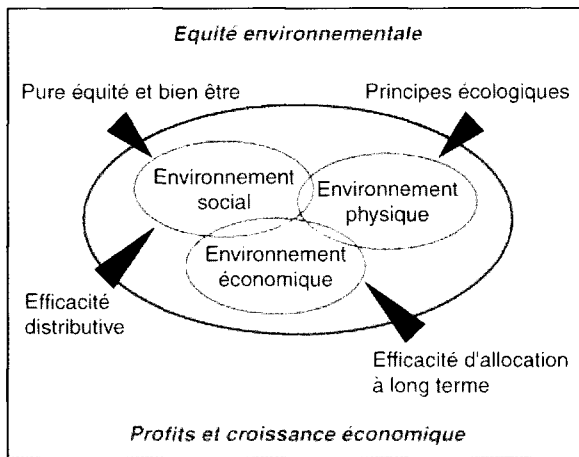


Fig. 18 - Les objectifs pour le développement durable.
Source : Roberto Camagni.

consommées au point de ne pouvoir se renouveler à moyen ou à long terme. Par extension, toute politique actuelle de développement doit donner la garantie qu'elle ne portera pas préjudice aux générations futures et aux ressources (eau, air, sols, espèces et diversités biologiques) communes.

Ce concept, dans de nombreux pays, constitue désormais le fondement de nouvelles politiques industrielles et d'aménagement du territoire. Or il ne peut y avoir d'aménagement du territoire sans l'exploitation ou la transformation de ressources naturelles et la mise en œuvre de dispositions favorables à la vie en société. C'est la raison pour laquelle dans certains pays ont été élaborées des dispositions spécifiques, nationales ou régionales, d'aménagement et de développement du territoire. En France, les schémas départementaux des carrières, qui demandent au moment de leur élaboration l'avis des représentants d'entreprises, des ministères publics, des producteurs et des consommateurs, fixent des orientations en matière d'environnement et de modes d'exploitation, de transformation, de transport et de recyclage des ressources en matériaux pour le génie civil.

Une constatation préalable s'impose : le droit de l'environnement est profondément marqué par sa dépendance étroite avec les sciences et la technologie. Sa connaissance exige un minimum de connaissance scientifique. Toute réflexion critique à son propos impose une approche pluridisciplinaire. Les règles de police en matière de pollutions industrielles sont exprimées sous forme de prescriptions techniques, physiques, chimiques ou acoustiques conduisant à un véritable ordre public technologique. Le dépassement d'un seuil préalablement défini par ces règles est susceptible de déclencher une répression. La nuisance produite par un processus industriel implique une responsabilité. Rappelons que, dans la recherche de responsabilité, le juge a recours à des experts.

Une règle de droit doit finalement contribuer à limiter les atteintes de l'environnement. Quels sont alors les fondements et le champ d'application du droit de

l'environnement ? Faire de l'environnement une valeur à protéger, c'est lui reconnaître juridiquement une place au sein de la hiérarchie complexe des droits et principes fondamentaux qui va de la reconnaissance constitutionnelle au principe jurisprudentiel. L'intérêt général pour la protection de l'environnement a été facilement admis.

La conscience de l'effet irréversible de certaines atteintes à l'environnement a fait surgir de nouvelles valeurs évoquées précédemment, telles que le droit des générations futures, le patrimoine commun et le développement durable. C'est la raison pour laquelle la décision publique ou privée doit aujourd'hui systématiquement prendre en compte les effets directs et indirects qu'elle peut avoir sur l'environnement. Les décideurs devront guider leurs actions sur le long terme par la prise en compte d'un certain nombre d'autres principes. Il s'agit en l'occurrence (fig. 19) des principes suivants.

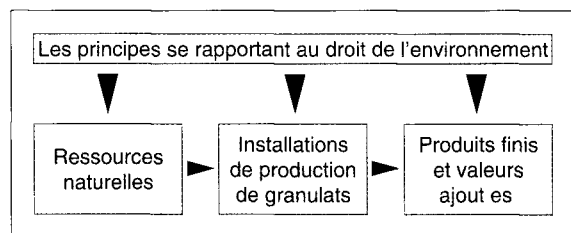


Fig. 19 - Les composantes du processus sur lesquelles s'appliquent les principes.

- **Le principe d'intégration de l'environnement dans toutes les décisions et stratégies publiques et privées.** Ce principe est une exigence fondamentale pour garantir le développement durable. Tous les travaux publics et projets d'aménagement qui nécessitent une autorisation ou une décision d'approbation doivent respecter les préoccupations d'environnement. Les plans d'occupation des sols doivent prendre en considération les risques naturels prévisibles et les risques technologiques. La politique des transports doit tenir compte de la protection de l'environnement. La politique agricole contribue également à la politique d'aménagement du territoire. Ceci explique pourquoi la remise en état des carrières à des fins agricoles a fait très tôt l'objet des préoccupations professionnelles au même titre que la restitution des carrières au milieu naturel et la création de zones écologiques.

- **Le principe de prévention.** L'application de ce principe contribue à empêcher la survenance d'atteintes à l'environnement. L'action préventive est une manifestation de la volonté d'anticiper. Elle est préférée aux mesures *a posteriori* qui n'interviennent qu'après une atteinte avérée à l'environnement. Trois instruments contribuent à la mise en œuvre de ce principe : l'étude d'impact et, plus généralement, l'obligation de prendre en compte l'environnement, l'autorisation préalable concernant les activités polluantes, la lutte à la source pour les biens et les produits. Les carrières qui sont inscrites en France sur la

liste des établissements classés doivent mettre en pratique le principe de prévention dès l'ouverture du site et pendant leur cycle de vie.

• **Le principe de l'information et de la participation des citoyens.** Ce principe dans le cadre de la philosophie attachée à l'environnement implique que les citoyens soient actifs lorsqu'ils se sentent concernés par les problèmes d'environnement. Pour que ce devoir puisse s'exercer, il est nécessaire, en pratique, que les citoyens directement ou par leurs groupements (associations) puissent être informés et puissent participer aux décisions pouvant exercer une influence sur leur environnement. Remarquons que cet élan, donné en termes de participation, fait sortir le citoyen d'un statut passif de bénéficiaire pour lui faire partager des responsabilités dans la gestion des intérêts de toute la collectivité. Le citoyen devient alors, suivant le cas, un auxiliaire de l'administration ou un organe de contrôle.

Les industriels devront alors compter sur le désir de démocratie participative des personnels qui directement ou indirectement se sentent concernés par une opération projetée et présentant un caractère de bien public ou privé. La protection de l'environnement devient l'affaire de tous. On se rend bien compte que la mise en application sur le terrain de ce principe, qui présente de multiples facettes, nécessite une approche intégrée de la part des personnes, des industriels et des administrations. Elle a pour but de rassurer ou simplement de toucher le maximum de personnes ou les associations concernées.

• **Le principe du pollueur-payeur.** Ce principe est inspiré par la théorie économique selon laquelle les coûts sociaux externes qui accompagnent une production industrielle doivent être pris en compte en interne, dans les coûts de production, par les agents économiques. L'application du principe du pollueur-payeur a pour but de faire prendre en charge les dépenses de lutte contre les pollutions par le pollueur. *A contrario*, tout financement de l'état qui aurait pour but de contribuer au développement d'investissements pour lutter contre la pollution serait contraire à ce principe.

Ce principe est favorable à la mise en place de procédés de fabrication sûrs en termes de risques industriels et environnementaux et propres en termes de lutte contre les pollutions. Il implique la souscription de polices d'assurances spécifiques ou l'obtention de garantie de la part de cautions (pour mener à terme des aménagements de carrières en fin d'exploitation) et l'application de normes antipollution. Encore faut-il que ces normes nationales puissent tenir compte des particularismes locaux et des progrès scientifiques réalisés dans les techniques de dépollution. L'application de ce principe explique la mise en application de certaines procédures de fonctionnement en entreprises et la mise en application de la taxe parafiscale sur les granulats en France.

• **Le principe de précaution** est destiné à faire face à l'irréversibilité de certaines atteintes à l'environnement

et à l'incertitude scientifique qui affectent des dossiers complexes. L'ignorance quant aux conséquences exactes à court ou à long terme de certaines actions ne doit pas servir de prétexte pour remettre à plus tard l'adoption de mesures visant à prévenir les dégradations de l'environnement. Autrement dit, en cas d'incertitude ou de controverse scientifique, il convient de prendre des mesures sévères à titre de précaution plutôt que de ne rien faire.

Conclusion

Il est possible de constater finalement que les actions menées par les entreprises permettent de les classer suivant trois grandes attitudes :

- une attitude réservée, qui voit dans l'environnement une contrainte sévère préjudiciable au développement économique ;
- une attitude dominée par l'efficacité économique et son instrument privilégié l'analyse coûts-avantages. Cette conception considère que le marché doit réguler l'exploitation de la ressource ;
- une attitude soucieuse d'intégrer la préoccupation environnementale, avec le souci d'une certaine pérennité de l'entreprise.

Mais ceci ne dispense pas le carrier ou l'exploitant de faire la preuve de la maîtrise de son processus de fabrication. En effet, comme dans toutes les installations de productions industrielles (l'industrie des granulats n'échappe pas à la règle), des risques industriels et environnementaux existent. Les entreprises ont l'obligation ou le devoir de montrer que leur stratégie industrielle intègre les préoccupations environnementales. C'est la raison pour laquelle des démarches de certification de qualité de produits ou d'entreprises de type ISO 9000 semblent se développer de plus en plus. Disposer d'une certification se rapportant à la qualité des produits signifie, suivant les cas, maîtrise d'un procédé ou maîtrise des procédures industrielles. Toutefois, les carrières disposant aujourd'hui d'une certification concernant la qualité de produit et la gestion de l'environnement sont encore peu nombreuses et nous le déplorons.

Identifier, maîtriser, gérer les risques environnementaux et technologiques pour aboutir finalement à un risque résiduel minimal dans le domaine de l'exploitation des granulats impose la mise en application de certaines mesures se rapportant aux risques concernant les individus et la vie en société. Des méthodes d'identification de ces risques, la modélisation des dysfonctionnements des systèmes mis en œuvre en carrières et leur analyse devraient être mis au point. Mieux formaliser et quantifier les risques encourus pour satisfaire les besoins du corps social semble une nécessité. Toutefois, il faudra tenir compte du fait que les personnes, dans les relations qu'elles entretiennent avec l'industrie, se sentent généralement mal à l'aise devant des résultats de nature probabiliste.

Les individus sont généralement plus sensibles à la valeur pédagogique de l'exemple. C'est la raison pour laquelle, il semble que pour réconcilier le milieu professionnel des carrières et son environnement socio-économique, il soit nécessaire de faire savoir que la création de valeurs est dans de nombreux cas, favorable

à la prise en compte de l'environnement et à la diminution des risques environnementaux. Après la collecte des données, la modélisation des savoir-faire et la diffusion des bonnes pratiques développées par certains industriels et certaines associations de défense de l'environnement, s'imposent.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BEN ABDESSELAM Z. (1999), *Réaménagement des carrières, une nécessité, facteurs et valeurs ajoutées*. Mémoire de DESS de géologie-géotechnique, Université Paris VI et CNAM.

Committee for a study on transportation and sustainable environment : Toward a sustainable future. Transportation research board, national research council, national academy press Washinton, D.C., 1997.

DROUET D., SELLELIER D. (1999), *Le développement durable : quels enjeux pour le réseau scientifique et technique du ministère ?* Recherche et développement international, commande n° PSV 02 du 23 mai 1997, juin.

FAUCHEUX S., NOËL J.-F. (1995), *Économie des ressources naturelles et de l'environnement*, Armand Colin.

Journal officiel de la République (1996), *Installations classées pour la protection de l'environnement*.

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement (1999), *Remise en état des carrières. Principes généraux, recommandations techniques et exemples par type d'exploitation*.

MALDONADO A., CLÉMENT M. (1998), *Un contrôle de fabrication intégré en carrière, échantillonnage, études statistiques et cartes de contrôle*. Faculté technique de BRATISLAVA, Stara Lesna, République slovaque, VYROBA KAMENIVA 98, pp. 93-103.

MALDONADO A. (1999), *Contribution à l'analyse des flux d'information concernant les granulats dans le cadre d'un développement durable*. Comptes rendus, Congrès mondial

de la route (AIPCR), Kuala Lumpur, (Malaisie). CD ROM du Congrès.

MALDONADO A. (1998), *Exploitation des ressources destinées au génie civil. Risques industriels et risques environnementaux*. CISC BUZIAS (ROUMANIE), MATERIALE CONFERENCEI NATIONALE (a XII-a editie a schimbului de experienta), octobre, pp. 15-22.

AFNOR (1996), *Management de l'environnement, recueil de normes françaises*.

MORONCINI A. (1998), *Stratégie environnementale des entreprises. Contexte typologique et mise en œuvre*. Presses polytechniques et universitaires romandes, Collection Gérer l'environnement.

UNPG (1983), *L'affectation des sols de carrières de granulats après exploitation*. Collection technique, 2, 79 pages.

UNPG (1997), *Le patrimoine écologique des zones humides issues de l'exploitation des carrières*. Synthèse 17 sites, Collection technique.

PIGOU A.-C. (1920), *Economics of Welfare*, 4th edition Macmillan, London, 1932.

PRIEUR M. (1996), *Droit de l'environnement*, Précis Dalloz.

ROGER P. (1992), *Gestion de production*, Précis Dalloz

VERNIER J. (1995), *L'environnement*, Que sais-je ? Presses universitaires de France.

WCED (BRUNDTLAND Commission) (1987), *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford, England.

ABSTRACT

Landscaping of quarries and the control of environmental risks in the aggregate industry : two opportunities to create new wealth

Z. BEN ABDESSELAM, A. MALDONADO

After water, aggregate is the material consumed in the greatest quantities. It is almost exclusively used in civil engineering construction. How have the companies working in this sector taken on board environmental thinking ? This paper takes stock of the way firms have responded to changes in legislation.

What further measures still need to be taken in order to encourage the transformation of a whole sector of activity which, unfortunately for society, does not always seem able to control its industrial processes and which, rightly or wrongly, ultimately finds itself accused of being hazardous or polluting ?

This paper is intended for engineers who wish, with local project managers, to take part in or assist the development of an aggregate resources policy for civil engineering works which is concerned about quality and the environment.

- It informs readers (as has not always been done) who are entering this sphere of activity about relevant changes in the regulations applying to aggregate extraction.
- It describes the response of firms faced by a rapidly changing regulatory environment.
- Finally, it draws the attention of readers to the problems associated with this important resource for civil engineering and public works.